

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

**Cultivo em campo de *Coffea arabica* L. cv. Obatã a pleno
sol x sombreamento parcial: avaliações bioquímicas, fisiológicas e nutricionais**

Gislei Cristina Gonçalves

**Tese apresentada para obtenção do título de
Doutora em Ciências. Área de concentração:
Fisiologia e Bioquímica de Plantas**

Piracicaba

2007

Gislei Cristina Gonçalves

Bióloga

**Cultivo em campo de *Coffea arabica* L. Cv. Obatã a pleno
sol x sombreamento parcial: avaliações bioquímicas, fisiológicas e nutricionais**

Orientador:

Prof. Dr. LUIZ ANTÔNIO GALLO

**Tese apresentada para obtenção do título de
Doutora em Ciências. Área de concentração:
Fisiologia e Bioquímica de Plantas**

Piracicaba

2007

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

Gonçalves, Gislei Cristina

Cultivo em campo de *Coffea arabica* L. cv. Obatã a pleno sol x sombreamento parcial: avaliações bioquímicas, fisiológicas e nutricionais / Gislei Cristina Gonçalves . - - Piracicaba, 2007.
116 p. : il.

Tese (Doutorado) - - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2007.
Bibliografia.

1. Açúcar redutor 2. Amido 3. Aminoácidos 4. Café 5. Cultivo de plantas
6. Proteínas 7. Sombreamento I. Título

CDD 633.73

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

À DEUS

*“O SENHOR é o meu pastor; nada me faltará.
Deitar me faz em verdes pastos guia-me mansamente a águas
tranqüilas.”*

(Salmos 23.1-2)

Altos e baixos ... chegadas e partidas ... muitas pedras pelo caminho.

Somos o que quisermos ser, somos o que conseguimos ser,

SOMOS O QUE ESCOLHEMOS SER

Não importa o quanto você já andou no caminho errado, você pode recomeçar.

Mais um ciclo se completa, outro está por vir.

ESCOLHA !

Escolha ter um projeto de vida, se você não sabe para onde vai,
qualquer caminho serve.

Escolha *estar no controle* de seu presente e futuro, o passado
é a única coisa que não se pode mudar.

Escolha fazer sua própria sorte, querer transformar possibilidade em realidade.

Escolha preservar sua própria essência, de um jeito ou de outro
a natureza o levará a isso.

Escolha expandir suas capacidades, você ficará mais forte diante da vida.

Escolha divertir-se sempre, essa é a verdadeira fonte da juventude.

Escolha insistir, persistir, ainda que haja tropeços e quedas.

Escolha sonhar com o futuro, visualize-o com certeza e assim será!

Escolha ter coragem e ousadia, boa intenção, nem sempre, é o suficiente.

Escolha o trabalho em equipe, muitas vezes a soma das partes e maior, que o todo.

Escolha estar em sintonia com o seu tempo, tudo muda
e é preciso estar preparado para novas situações.

Escolha descobrir o que você tem de melhor, isso será
seu melhor auxílio diante das adversidades.

Escolha alcançar objetivos estimulantes, insegurança e ceticismo só atrapalham.

Escolha aprender e reaprender todos os dias.

SABEDORIA SE CONQUISTA COM PACIÊNCIA E TEMPO.

Escolha ser estratégico, crie sempre alianças promissoras.

Escolha ser criativo, para isso é preciso experimentar coisas novas.

Escolha ser racional, organizado, chato ..., desde que esteja crescendo com isso.

Escolha crescer sem deixar para trás valores, caso contrário mais cedo ou mais tarde se arrependerá.

ESCOLHA DIZER OBRIGADO, DEMONSTRANDO GRATIDÃO

CONQUISTAMOS ALIADOS.

ESCOLHA TER PAIXÃO E ENTUSIASMO EM TUDO, ISSO FARÁ DE VOCÊ UM SER HUMANO

EXCEPCIONAL.

ESCOLHA CHEGAR AO FIM DE CADA BATALHA COM A CONSCIÊNCIA DO DEVER

CUMPRIDO.

O sentimento de autorealização é a melhor recompensa.

Você é, essencialmente, fruto de suas escolhas. Então escolha.

SER O MELHOR QUE PUDER ! ! ! !

www.cidadedocerebro.com.br

A minha família

**Em especial ao meu pai, que
também se foi cedo demais**

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À DEUS, agradeço pela força, coragem, benignidade e justiça, sem a qual nada eu seria, cujo amor imensurável me levantou todas as vezes que fraquejei e pensei cair.

Aos meus pais, embora hoje ausentes, mas sempre presentes em minha mente e coração os quais foram fundamentais não só para minha existência como também me ensinaram a caminhar e crescer, aos meus irmãos e demais familiares os quais compreenderam a minha ausência e sempre me apoiaram e incentivaram.

Ao Prof. Dr. Luiz Antônio Gallo, que em primeiro lugar demonstrou ser meu amigo, depois meu orientador, pela paciência e serenidade com que lidou com meus altos e baixos, por me ensinar a construir bases sólidas, demonstrando como colher os frutos bons e relevar os ruins, uma vez que ambos nos ensinam a crescer, por acreditar que a inteligência não é monopólio de poucas pessoas, mas algo que se adquire dia a dia passando por todos os tipos de situações, pelo apoio dado em situações nas quais estava ciente de que eu estava errada, pela orientação, no presente trabalho e no decorrer deste curso, atitudes estas sem as quais este trabalho não teria se realizado.

A **UNIMEP**, representada pelas pessoas do Prof. Dr. Davi Ferreira Barros, Prof. Dr. Gustavo Jacques Dias Alvim, a Prof^a. Dr^a. Marilena A. de S. Rosalen, a Prof^a. Dr^a. Ângela Maria Cassavia Jorge Correa, Prof. Dr. Olney Leite Fontes, Prof. Dr. James Rogado, Prof. Dr. Moises Lemes da Silveira, Prof^a. Darci Aparecida L' Torre Monfrinato, pelo incentivo na elaboração deste trabalho.

Ao Laboratório de Biotecnologia de Plantas (CEBTEC), do Departamento de Ciências Biológicas da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ/USP, onde foi realizado o presente trabalho, ao Prof. Dr. Otto Jesu Crocomo, meu amigo, que ainda tem muito a ensinar, pelo auxílio e conselhos passados com sabedoria e paciência, ao Prof. Dr. Murilo de Melo, a Profa. Dra Helaine Carrer, ao MS Enio Tiago de Oliveira e MS Antônio F. de Campos Amaral pela amizade, incentivo e auxílio laboratorial fundamental.

Ao Departamentos de Produção Vegetal da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ/USP, que disponibilizaram as plantas para o experimento, ao Prof. Dr. José

Laércio Favarin, e aos alunos de mestrado Fabiana Taveira de Camargo e André Rodrigues dos Reis pela amizade, incentivo e auxílio.

Ao Departamento de Ciência do Solo da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ/USP, na pessoa do Prof. Dr. Quirino A. de C. Carmello junto com as técnicas Nivanda M. de Moura Ruiz, Ednéia Scevino Mondini e Lúcia H. S. Pavan Forti que colaboraram com as análises dos nutrientes.

Ao Programa de Pós Graduação de Fisiologia e Bioquímica de Plantas na pessoa do antigo coordenador Prof Dr Murilo de Melo, do atual coordenador Prof. Dr. Ricardo Alfredo Kluge, a secretária Maria Solizete Granzioi Silva pela colaboração direta e indireta na realização deste trabalho, e ao Prof. Dr. Fernando Broetto da Unesp de Botucatu pelo auxílio nas análises de clorofila.

Em especial ao Biólogo George Rodrigues Lambais pelos auxílios laboratoriais imprescindíveis sem os quais não seria possível a realização deste trabalho e principalmente por sua amizade e lealdade.

Aos meus amigos (as): Regina Aparecida Spadão Blumer, Claudini Blumer, Iza Maria Aparecida Bernardino, Fernando Marinho Gusmão, Wagner Fernando Ferreira, Regina Célia M. Soave, Aparecido Antonio Polon, Hermínio Zanardo, José Luiz Mazzi, Gilberto José Pitão, Maria Cristina de Almeida Prado Ribeiro, Sandra Helena Nazato Ubices, Soraya Patrícia Frota Clemente Bellucco, Ricardo Narvaes Bellucco, Rosalina Taveira de Camargo, Prof^a MS Silvia Helena Holita Figueiredo, Prof. Dr. Luiz Antônio Rochelle, Prof^a. Dr. Maria Imaculada Montebello, a Bióloga Paula Cendrowicz. Souza Matias, a Bióloga Marlene Aparecida da Silva, Walter Donizete dos Santos, a Bióloga Fabiana Sinicatto, ao Analista de Sistema Lucas Meneses Mardegan, Vanessa Roberta Pompermayer, Flaviane Cristine Montrazzi Gazaffi, ao Doutorando Jales Teixeira Chaves, ao Doutorando Jovan de Jesus pelos auxílios diretos e indiretos.

A todos que oraram por mim.

A todos que novamente me incentivaram ou criticaram, mas que com esta atitude somente me impeliram a caminhar cada vez mais para frente, me estimulando a nunca desistir.

A todos os meus sinceros agradecimentos.

SUMÁRIO

RESUMO	9
ABSTRACT	10
LISTA DE FIGURAS	11
LISTA DE TABELAS	14
LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS	17
1 INTRODUÇÃO	18
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
2.1 Cultura cafeeira	20
2.2 Assimilação do carbono e nitrogênio em cafeeiro Arábica	22
2.2.1 Redutase do Nitrato (NR - EC 1.6.6.1)	26
2.2.2 Atividade enzimática da redutase do nitrato em café	27
2.3 Importância dos minerais na nutrição do cafeeiro	28
2.4 Carbono x nitrogênio em cafeeiro Arábica	31
3 Material e métodos	34
3.1 Material vegetal	34
3.1.1 Características do solo, tipo de irrigação e dados climatológicos	37
3.2 Delineamento estatístico	38
3.3 Determinação da porcentagem de massa de matéria fresca e seca (% MMF e %MMS)	39
3.4 Análise de macro e micronutrientes	39
3.5 Determinação da porcentagem de proteína total solúvel (% PTS)	40
3.6 Determinação da porcentagem de aminoácidos totais (%AA)	40
3.6.1 Obtenção dos extratos para análise qualitativa de aminoácidos	40
3.6.2 Análise qualitativa de aminoácidos	40
3.7 Determinação de carboidratos	41
3.7.1 Determinação da porcentagem de amido (% Amido)	41
3.7.1.1 Obtenção do extrato	41
3.7.1.2 Quantificação da porcentagem de amido (% Amido)	41
3.7.2 Determinação da porcentagem de açúcares redutores (%AR)	41

3.8 Determinação da atividade da redutase do nitrato (NR)	42
3.9 Determinação do teor de pigmentos	42
3.9.1 Leituras SPAD de clorofila total (Leituras indiretas do clorofilômetro SPAD-502)	42
3.9.2 Determinação da quantidade de clorofila <i>a</i>, clorofila <i>b</i>, clorofila total	43
3.9.3 Determinação da quantidade de carotenóides	43
4 Resultados e Discussão	44
4.1 Características climáticas e do solo	44
4.2 Cafeeiro sombreado x cafeeiro a pleno sol: porcentagem de massa de matéria fresca, porcentagem de massa de matéria seca e teores de nutrientes	49
4.3 Cafeeiro sombreado x cafeeiro a pleno sol: análises bioquímicas – porcentagem de proteína total solúvel, porcentagem de aminoácidos totais, porcentagem de amido, porcentagem de açúcares redutores, atividade da redutase do nitrato e quantificação de pigmentos	64
5 CONCLUSÕES	77
REFERÊNCIAS	78
APÊNDICES	102
ANEXOS	105

RESUMO

Cultivo em campo de *Coffea arabica* L. cv. Obatã a pleno sol x sombreamento parcial: avaliações bioquímicas, fisiológicas e nutricionais

Plantas de café Arábicas com 4,5 anos de idade foram comparadas de agosto a dezembro crescendo a pleno sol e sob condições de sombreamento natural. As plantas apresentaram diferenças significativas em termos de crescimento e aspectos fisiológicos e bioquímicos. O fornecimento de nitrogênio no mês de outubro proporcionou um aumento significativo nos teores de aminoácidos totais e na atividade da redutase do nitrato. As folhas de plantas crescendo em condições de sombreamento natural apresentaram maior peso fresco a que pleno sol. O teor de proteínas totais decresceu abruptamente a partir do mês 10 em todas as plantas analisadas, época em coincidiu com o início do enchimento dos grãos. O aumento nos teores de aminoácidos totais também foi acompanhado por um aumento nos dias de chuva, na precipitação e também na radiação global. Não houve efeito significativo com relação à localização da folhas (parte superior x parte inferior) nos aspectos analisados. O fornecimento de nitrogênio no mês 10 não alterou a concentração de clorofila medida pelo clorofilômetro SPAD, e a clorofila total extraída não se alterou significativamente até o mês 11 exceto nas plantas de sol as folhas do parte superior tiveram uma maior síntese no mês 9. No mês 12 houve um aumento nas taxas de clorofila em todos os tratamentos. Os teores de N foliar tiveram correlação positiva com as leituras de clorofila analisadas pelo SPAD, até o mês 11. Tivemos também no período de análise, um aumento significativo na concentração de carotenóides a partir do mês 8, evidenciando seu efeito foto protetor uma vez que houve também um aumento na radiação global no período ao redor de 50%. As folhas em condições de sombreamento natural apresentaram maior peso seco que as de pleno sol. O teor de proteínas totais decresceu abruptamente a partir do mês 11 em todas as plantas, época que coincidiu com o início da produção/enchimento dos grãos. Houve um aumento nos teores de amido após o mês 10 (exceto nas folhas da parte inferior das plantas de sol), vindo a diminuir em função do enchimento dos grãos. Também se observou uma síntese acentuada de açúcares redutores no início, decrescendo em função do início da formação dos grãos. Com relação aos nutrientes nas folhas analisadas, o manganês teve um comportamento significativamente diferente em relação aos demais, onde nas folhas a pleno sol a concentração do elemento foi de 6 a 8 vezes a das folhas sombreadas.

Palavras-chave: *Coffea arabica*; Proteína; Amido; Açúcares redutores; Clorofila; Carbono; Sombreamento; Nitrato; Redutase do nitrato; Aminoácidos

ABSTRACT

Field growth of *Coffea arabica* L. cv. Obatã under full x partial shade: biochemical, physiological and nutritional evaluations

Plants of Arabian coffee with 4,5 years of age, had been compared from August to December growing under full sun and under natural shade conditions. The plants presented significant differences in growth terms and physiological and biochemical's aspects. The nitrogen supply in the October month provided a significant increase on levels of amino acid totals and the activity of nitrate reductase. The leaves of plants growing under natural shade presented greater fresh weight than full sun. The total protein levels abruptly decreased from the month 10 in all analyzed plants, time in coincidence with the beginning of filling up the grains. The increase on levels of total amino acids also was followed by an increase in the days of rain, the precipitation and also the global radiation. Didn't have significant effect with relation of localization of leaves (upper part X inferior part) within analyzed aspects. The nitrogen supply in month 10 did not modify the concentration of chlorophyll measured by chlorophyll meter SPAD, and chlorophyll total extracted did not change significantly until month 11 except in the sunny plants leaves of upper part that had a bigger synthesis in month 9. In month 12 had an increase on the levels of chlorophyll in all the treatments. The levels of foliar N had had positive correlation with the readings of chlorophyll analyzed by the SPAD, until month 11. We had also in the period of analyzes, a significant increase on the concentration of carotenoids from month 8, evidencing its photo protective effect. During this time also we had an increase in the global radiation in the period around 50%. The leaves in conditions of natural shade had presented greater dry weight that of full sun. The total protein levels abruptly decreased from the month 11 in all plants, time coincident with the beginning of the production/filling up of the grains. The Month 10 also had an increase in starch levels (except in leaves of third inferior of the sunny plants), decreasing in function of the filling up of the grains. Also an increased synthesis of reducing sugars was observed at the beginning and a decrease during the beginning of the formation of the grains. With regard to the nutrients in analyzed leaves, the manganese had a behavior significantly different in relation to others, where in leaves at the full sun the concentration of the element was 6 to 8 times higher than shaded leaves.

Keywords: *Coffea arabica*; Protein; Starch; Sugars; Carbon; Chlorophyll; Nitrate reductase; Amino acids; shade; Nitrate

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Planta adulta de <i>Coffea arabica</i> indicando parte superior e parte inferior onde às folhas foram coletadas para análises	35
Figura 2 –	Plantas adultas de <i>Coffea arabica</i> cv. Obatã pertencentes a cultura que estava submetida a pleno sol (A) em comparação as folhas pertencentes a cultura que estava submetida a sombreamento parcial de outra cultura (B)	36
Figura 3 –	Folhas das plantas adultas de <i>Coffea arabica</i> cv. Obatã indicando as diferenças morfológicas entre as plantas pertencentes a cultura que estava submetida a pleno sol com 11 cm (A) em comparação as folhas pertencentes a cultura que estava submetida a sombreamento parcial com 17 cm (B)	37
Figura 4 -	Irrigação por gotejamento sob a qual o experimento conduzido junto às plantas de <i>Coffea arabica</i> cv. Obatã nos dois ambientes, a pleno sol e sob sombreamento parcial	38
Figura 5 –	Ramos de <i>Coffea arabica</i> cv. Obatã com frutos a pleno sol (A) e sob sombreamento parcial (B)	48
Figura 6 –	Dados referentes à porcentagem de massa de matéria fresca de 10 folhas (média de 8 plantas com 4,5 anos de idade) de <i>Coffea arabica</i> cv. Obatã expostas a pleno sol e sombreamento parcial durante agosto a dezembro de 2006, coletadas folhas da parte superior e da parte inferior de cada planta. Barras verticais representam o desvio padrão	51
Figura 7 -	Dados referentes à porcentagem de massa de matéria seca de 10 folhas (média de 8 plantas com 4,5 anos de idade) de <i>Coffea arabica</i> cv. Obatã expostas a pleno sol e sombreamento parcial durante agosto a dezembro de 2006, coletadas folhas da parte superior e da parte inferior de cada planta. Barras verticais representam o desvio padrão	52
Figura 8 –	Dados referentes aos teores de nitrogênio em folhas de <i>Coffea arabica</i> cv. Obatã (média de 8 plantas com 4,5 anos de idade) expostas a pleno sol e sombreamento parcial durante agosto a dezembro de 2006, coletadas folhas da parte superior e da parte inferior de cada planta. Barras verticais representam o desvio padrão	54

- Figura 9 - Dados referentes aos teores de fósforo (**I**), potássio (**II**), cálcio (**III**) e magnésio (**IV**) em folhas de *Coffea arabica* cv. Obatã (média de 8 plantas com 4,5 anos de idade) expostas a pleno sol e sombreamento parcial durante agosto a dezembro de 2006, coletadas folhas da parte superior e da parte inferior de cada planta. Barras verticais representam o desvio padrão **59**
- Figura 10 – Dados referentes aos teores de cobre (**I**), ferro (**II**), manganês (**III**), zinco (**IV**) em folhas de *Coffea arabica* cv. Obatã (média de 8 plantas com 4,5 anos de idade) expostas a pleno sol e sombreamento parcial durante agosto a dezembro de 2006, coletadas folhas da parte superior e da parte inferior de cada planta. Barras verticais representam o desvio padrão **63**
- Figura 11 – Dados referentes à porcentagem de proteína total solúvel em folhas de *Coffea arabica* cv. Obatã (média de 8 plantas com 4,5 anos de idade) expostas a pleno sol e sombreamento parcial durante agosto a dezembro de 2006, coletadas folhas da parte superior e da parte inferior de cada planta. Barras verticais representam o desvio padrão **65**
- Figura 12 – Dados referentes à porcentagem de aminoácidos totais em folhas de *Coffea arabica* cv. Obatã (média de 8 plantas com 4,5 anos de idade) expostas a pleno sol e sombreamento parcial durante agosto a dezembro de 2006, coletadas folhas da parte superior e da parte inferior de cada planta. Barras verticais representam o desvio padrão **67**
- Figura 13 – Dados referentes à porcentagem de amido em folhas de *Coffea arabica* cv. Obatã (média de 8 plantas com 4,5 anos de idade) expostas a pleno sol e sombreamento parcial durante agosto a dezembro de 2006, coletadas folhas da parte superior e da parte inferior de cada planta. Barras verticais representam o desvio padrão **69**
- Figura 14 – Dados referentes à porcentagem de açúcares redutores em folhas de *Coffea arabica* cv. Obatã (média de 8 plantas com 4,5 anos de idade) expostas a pleno sol e sombreamento parcial durante agosto a dezembro de 2006, coletadas folhas da parte superior e da parte inferior de cada planta. Barras verticais representam o desvio padrão **69**

Figura 15 –	Atividade da redutase do nitrato em folhas frescas de <i>Coffea arabica</i> cv. Obatã (media de 8 plantas com 4,5 anos de idade) expostas a pleno sol e sombreamento parcial durante agosto a dezembro de 2006, coletadas folhas da parte superior e da parte inferior de cada planta. Barras verticais representam o desvio padrão	71
Figura 16 –	Dados referentes à quantidade de clorofila total (<i>I</i> –SPAD, <i>II</i> – extrato), clorofila a (<i>III</i>), clorofila b (<i>IV</i>) de 10 folhas frescas (media de 8 plantas com 4,5 anos de idade) de <i>Coffea arabica</i> cv. Obatã expostas a pleno sol e sombreamento parcial durante agosto a dezembro de 2006, coletadas folhas da parte superior e da parte inferior de cada planta. Barras verticais representam o desvio padrão	74
Figura 17 –	Dados referentes à quantidade de carotenóides em folhas frescas de <i>Coffea arabica</i> cv. Obatã (media de 8 plantas com 4,5 anos de idade) expostas a pleno sol e sombreamento parcial durante agosto a dezembro de 2006, coletadas folhas da parte superior e da parte inferior de cada planta. Barras verticais representam o desvio padrão	76
Figura 18 -	Ramos de <i>Coffea arabica</i> cv. Obatã do mês 10 do experimento, início da floração e aparecimento de chumbinhos e grãos, (<i>A</i>) plantas a pleno sol (<i>B</i>) plantas sob sombreamento parcial	103
Figura 19 -	Ramos de <i>Coffea arabica</i> cv. Obatã do mês 11 do experimento, floração, aparecimento e início do enchimento dos grãos. Plantas a pleno sol (<i>A</i> e <i>B</i>) plantas sob sombreamento parcial (<i>C</i> e <i>D</i>)	103
Figura 20 -	Ramos de <i>Coffea arabica</i> cv. Obatã do mês 12 do experimento, enchimento dos grãos, (<i>A</i>) plantas a pleno sol (<i>B</i>) plantas sob sombreamento parcial	104
Figura 21 -	Fluxo da informação genética e sua relação com o metabolismo do carbono e do nitrogênio em cafeeiro	104

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Cálculos utilizados para determinar a quantidade de Clorofila <i>a</i> , Clorofila <i>b</i> e Clorofila total de cada amostra	43
Tabela 2 -	Dados referentes a amostras de solo coletadas no mês de setembro de 2006	45
Tabela 3 -	Dados referentes a amostras de solo coletadas no mês de dezembro de 2006	45
Tabela 4 -	Quantidade de macronutrientes disponível no solo sombreado e a pleno sol no mês de setembro de 2006	45
Tabela 5 -	Quantidade de macronutrientes disponível no solo sombreado e a pleno sol no mês de dezembro de 2006	46
Tabela 6 -	Dados meteorológicos coletados da estação automática instalada no interior do cafezal da unidade de experimentação do Departamento de Agricultura ESALQ, de agosto a dezembro de 2006	48
Tabela 7 -	Medianas referentes à porcentagem de peso fresco em folhas de <i>Coffea arabica</i> cv. Obatã, resultados da análise estatística segundo ANOVA, teste de Friedman/Rank com $\alpha= 5\%$ e teste de Mann – Whitney (p valor)	106
Tabela 8 -	Medianas referentes à porcentagem de peso seco em folhas de <i>Coffea arabica</i> cv. Obatã, resultados da análise estatística segundo ANOVA, teste de Friedman/Rank com $\alpha= 5\%$ e teste de Mann – Whitney (p valor)	106
Tabela 9 -	Medianas referentes ao teor de nitrogênio em folhas de <i>Coffea arabica</i> cv. Obatã, resultados da análise estatística segundo ANOVA, teste de Friedman/Rank com $\alpha= 5\%$ e teste de Mann – Whitney (p valor)	107
Tabela 10 -	Medianas referentes ao teor de fósforo em folhas de <i>Coffea arabica</i> cv. Obatã, resultados da análise estatística segundo ANOVA, teste de Friedman/Rank com $\alpha= 5\%$ e teste de Mann – Whitney (p valor)	107
Tabela 11 -	Medianas referentes ao teor de potássio em folhas de <i>Coffea arabica</i> cv. Obatã, resultados da análise estatística segundo ANOVA, teste de Friedman/Rank com $\alpha= 5\%$ e teste de Mann – Whitney (p valor)	108

Tabela 12 -	Medianas referentes ao teor de cálcio em folhas de <i>Coffea arabica</i> cv. Obatã, resultados da análise estatística segundo ANOVA, teste de Friedman/Rank com $\alpha= 5\%$ e teste de Mann – Whitney (p valor)	108
Tabela 13 -	Medianas referentes ao teor de magnésio em folhas de <i>Coffea arabica</i> cv. Obatã, resultados da análise estatística segundo ANOVA, teste de Friedman/Rank com $\alpha= 5\%$ e teste de Mann – Whitney (p valor)	109
Tabela 14 -	Medianas referentes ao teor de cobre em folhas de <i>Coffea arabica</i> cv. Obatã, resultados da análise estatística segundo ANOVA, teste de Friedman/Rank com $\alpha= 5\%$ e teste de Mann – Whitney (p valor)	109
Tabela 15 -	Medianas referentes ao teor de ferro em folhas de <i>Coffea arabica</i> cv. Obatã, resultados da análise estatística segundo ANOVA, teste de Friedman/Rank com $\alpha= 5\%$ e teste de Mann – Whitney (p valor)	110
Tabela 16 -	Medianas referentes ao teor de manganês em folhas de <i>Coffea arabica</i> cv. Obatã, resultados da análise estatística segundo ANOVA, teste de Friedman/Rank com $\alpha= 5\%$ e teste de Mann – Whitney (p valor)	110
Tabela 17 -	Medianas referentes ao teor de zinco em folhas de <i>Coffea arabica</i> cv. Obatã, resultados da análise estatística segundo ANOVA, teste de Friedman/Rank com $\alpha= 5\%$ e teste de Mann – Whitney (p valor)	111
Tabela 18 -	Medianas referentes à porcentagem de proteína total solúvel em folhas de <i>Coffea arabica</i> cv. Obatã, resultados da análise estatística segundo ANOVA, teste de Friedman/Rank com $\alpha= 5\%$ e teste de Mann – Whitney (p valor)	111
Tabela 19 -	Medianas referentes à porcentagem de aminoácidos totais em folhas de <i>Coffea arabica</i> cv. Obatã, resultados da análise estatística segundo ANOVA, teste de Friedman/Rank com $\alpha= 5\%$ e teste de Mann – Whitney (p valor)	112
Tabela 20 -	Medianas referentes à porcentagem de amido em folhas de <i>Coffea arabica</i> cv. Obatã, resultados da análise estatística segundo ANOVA, teste de Friedman/Rank com $\alpha= 5\%$ e teste de Mann – Whitney (p valor)	112
Tabela 21 -	Medianas referentes à porcentagem de açúcares redutores em folhas de <i>Coffea arabica</i> cv. Obatã, resultados da análise estatística segundo ANOVA, teste de Friedman/Rank com $\alpha= 5\%$ e teste de Mann – Whitney (p valor)	113

Tabela 22 -	Medianas referentes à atividade da nitrato redutase em folhas de <i>Coffea arabica</i> cv. Obatã, resultados da análise estatística segundo ANOVA, teste de Friedman/Rank com $\alpha= 5\%$ e teste de Mann – Whitney (p valor)	113
Tabela 23 -	Medianas referentes à quantidade de clorofila total lida com aparelho SPAD em folhas de <i>Coffea arabica</i> cv. Obatã, resultados da análise estatística segundo ANOVA, teste de Friedman/Rank com $\alpha= 5\%$ e teste de Mann – Whitney (p valor)	114
Tabela 24 -	Medianas referentes à quantidade de clorofila total em folhas de <i>Coffea arabica</i> cv. Obatã, resultados da análise estatística segundo ANOVA, teste de Friedman/Rank com $\alpha= 5\%$ e teste de Mann – Whitney (p valor)	
Tabela 25 -	Medianas referentes à quantidade de clorofila <i>a</i> em folhas de <i>Coffea arabica</i> cv. Obatã, resultados da análise estatística segundo ANOVA, teste de Friedman/Rank com $\alpha= 5\%$ e teste de Mann – Whitney (p valor)	114
Tabela 26 -	Medianas referentes à quantidade de clorofila <i>b</i> em folhas de <i>Coffea arabica</i> cv. Obatã, resultados da análise estatística segundo ANOVA, teste de Friedman/Rank com $\alpha= 5\%$ e teste de Mann – Whitney (p valor)	115
Tabela 27 -	Medianas referentes à quantidade de carotenóides em folhas de <i>Coffea arabica</i> cv. Obatã, resultados da análise estatística segundo ANOVA, teste de Friedman/Rank com $\alpha= 5\%$ e teste de Mann – Whitney (p valor)	116

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

% AA	Porcentagem de amino ácidos
% AR	Porcentagem de açúcares redutores
% PTS	Porcentagem de proteína total solúvel
%MMF	Porcentagem da massa de matéria seca
%MMS	Porcentagem de massa de matéria fresca
ABS	Absorbância
Chlor A	Clorofila <i>a</i>
Chlor B	Clorofila <i>b</i>
Chlor total	Clorofila total
GDH	Glutamato desidrogenase
GOGAT	Sintase de glutamato
GS-GOGAT: GS	Sintetase de Glutamina: L-glutamato: amônia ligase
M.O	Matéria orgânica
MoCo	Molibdênio cofator
RN	Redutase do nitrato
RNi	Redutase de nitrito
S.B	Soma de bases
SPAD	Soil plant analysis development
SPSS	Statistical program for sciences
T	Capacidade de troca catiônica
V	Saturação por bases

1 INTRODUÇÃO

Atualmente o Brasil é considerado o maior produtor mundial de café, seguido pela Colômbia, Vietnã, México e Indonésia, além de ser o maior exportador mundial deste produto produzindo anualmente 28,9 milhões de sacas beneficiadas de 60 Kg, cultivadas correspondentemente em uma área de 1,98 milhões de hectares, sendo que ainda possuímos uma área de café em formação de 0,296 milhões de hectares .

No Brasil a espécie *Coffea arabica* L. cv. Obatã é tradicionalmente cultivada a pleno sol, ocorrendo também plantações associadas com outras espécies, com culturas anuais e perenes que atuam como quebra-vento e formadoras de sombra, durante as fases juvenil e produtiva. Adaptações anatômicas, fisiológicas e bioquímicas ocorreram no cafeeiro cultivado a pleno sol, para suportar as fortes intensidades de radiações luminosas, uma vez que o cafeeiro é original de ambiente com baixa luminosidade. Estas adaptações provocam modificações bioquímicas que irão refletir na fisiologia e que por sua vez afetarão a produtividade e a qualidade do grão do cafeeiro. A produtividade agrícola é função dos parâmetros genéticos da planta, que por sua vez regulam os aspectos fisiológicos e bioquímicos, e cuja expressão é afetada por variáveis ambientais, como fertilidade e adubação do solo, disponibilidade de água para o transporte destes nutrientes, temperaturas medias durante o ciclo fenológico, umidade relativa do ar e transpiração estomática entre outras (Figura 21).

Os objetivos deste trabalho foram estudar as diferenças fisiológica, bioquímicas e nutricionais dos cafeeiros (*Coffea arabica* L. cv. Obatã) com 4,5 anos de idade, cultivados a pleno sol e sob sombreamento natural de seringueira. Foram analisados ramos da parte superior e inferior das plantas em ambos os ambientes, pelo período de 5 meses que coincidiu com a pos colheita dos frutos, a emissão de flores até o enchimento parcial dos grãos. As plantas fazem parte de um experimento instalado no Campo Experimental de Café do Departamento de Produção Vegetal da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ/USP em Piracicaba/SP, localizado nas coordenadas geográficas latitude Sul a 22°42'30" e 47°38'00" de latitude Oeste a uma altitude de aproximadamente 556 m.

As análises fisiológicas e bioquímicas foram realizadas no Laboratório de Biotecnologia Agrícola (CEBTEC) do Departamento de Ciências Biológicas, e as análises de macro e micronutrientes do solo e das plantas no Departamento de Ciência do Solo no laboratório de

Nutrição Mineral de Plantas, ambos da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ/USP em Piracicaba/SP.

Foram analisados os teores de macro e micro nutrientes, parâmetros fisiológicos como o peso fresco e seco de 10 folhas de 08 plantas crescendo a pleno sol e sob sombreamento parcial, coletando-se ramos da parte superior e da parte inferior de cada planta. Também foram analisadas as atividades da redutase do nitrato, porcentagem de amido, porcentagem de açúcares redutores, porcentagem de proteínas totais solúveis, porcentagem de aminoácidos, quantidade de clorofila total, clorofila *a* e *b*, e quantidades de carotenóides em cinco épocas do ciclo fenológico do cafeeiro (de agosto a dezembro de 2006).

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Cultura cafeeira

Os cafeeiros são agrupados segundo as classificações taxonômicas mais recentes, sendo considerado dois gêneros: a) gênero *Psilanthus* que é dividido nos subgêneros *Psilanthus* e *Afrocoffea*, e b) gênero *Coffea* que compreende os subgêneros: *Coffea*, que abriga 80 espécies sendo aproximadamente 25 oriundas da África Continental e 55 da região de Madagascar e o subgênero *Baracoffea* que é representado por 7 espécies (GUERREIRO-FILHO, 2001).

Dentro do subgênero *Coffea* da família das *Rubiaceae*, temos a espécie *Coffea arabica* que é uma planta originária do continente africano, das regiões altas da Etiópia (Cafa e Enária) onde ocorre espontaneamente como planta de sub-bosque (MENDES; GUIMARÃES, 1997).

No mercado internacional do café as espécies *Coffea arabica* L. (Café Arábica) e *Coffea canephora* Pierre (Café Robusta) são consideradas as mais importantes (CARDOSO, 1994), sendo que a *Coffea arabica* é considerada uma espécie nobre que produz café de boa qualidade representando cerca de 70% do mercado mundial, já em *Coffea canephora* observa-se uma grande variabilidade, representa cerca de 30% do mercado mundial, possui acentuada resistência as principais moléstias e pragas e apresenta um teor de cafeína e sólidos solúveis superior aos encontrados na *Coffea arabica* (CONSELHO INTERNACIONAL DO CAFÉ, 1997; GUERREIRO-FILHO, 2001; MATIELLO et al., 2002).

Atualmente o Brasil é considerado o maior produtor mundial, seguido pela Colômbia, Vietnã, México e Indonésia, além de ser o maior exportador mundial deste produto (FNP, 2005), produzindo anualmente 28,9 milhões de sacas beneficiadas de 60 Kg, cultivadas correspondentemente em uma área de 1,98 milhões de hectares, sendo que ainda possuímos uma área de café em formação de 0,296 milhões de hectares (ITEM, 2000).

No Brasil a espécie *Coffea arabica* é tradicionalmente cultivada a pleno sol, ocorrendo também plantações associadas com outras espécies, com culturas anuais e perenes que atuam como quebra-vento e formadoras de sombra, durante as fases juvenil e produtiva (SOARES et al, 2004).

Segundo Beer (1987), no Brasil embora se tenha o predomínio do cultivo do café a pleno sol, cada vez mais os cafeicultores estão aderindo ao cultivo sombreado, em razão da redução de

custos de produção, aumento da renda do agricultor, melhoria da qualidade da bebida, preservação do ecossistema e melhoria das condições edafoclimáticas. Este sombreamento pode ser obtido através do plantio de uma segunda cultura, como leguminosa, ou árvores. A presença de árvores altera os níveis de radiação, a temperatura do ar bem como o comportamento dos ventos, causando mudanças no microclima que afetam diretamente a energia disponível, alterando por consequência a utilização da água, na produtividade e no ciclo das plantas submetidas a estas condições (MONTEITH et al., 1991; BRENER, 1996).

A intensidade de radiação solar que incide sobre a cultura influencia a estrutura do aparelho fotossintético, uma vez que a estrutura foliar pode se modificar conforme a intensidade luminosa a qual é submetida quando a mesma está em sua fase de desenvolvimento. Esaú (1977) constatou que quanto mais luz disponível as folhas sofriam aumento em sua espessura, por consequência aumento em sua massa foliar específica, além de desenvolvimento da epiderme demonstrando um parênquima desenvolvido e aumento no número total de células das folhas. Em folhas de café jovens Fahl (1989), observou que culturas cultivadas a pleno sol apresentavam folhas com células de maior densidade e espessura, e que segundo Righi (2000), este seria um mecanismo adaptativo que ocorre em outras plantas.

Alguns autores relatam que a radiação solar bem como a temperatura do solo influem diretamente na cultura. O cafeeiro possui uma saturação de irradiância na faixa de 300 a 600 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Também é conhecido que as altas intensidades luminosas provocam a saturação do aparelho fotossintético da planta tendo como consequência a fotoinibição deste (KUMAR; TIESZEN, 1980 a, b; FAHL et al., 1994; NUNES et al., 1993). Fahl et al. (1994), observaram que os cafeeiros sombreados apresentavam plantas mais altas com folhas maiores e mais finas o que permitia a melhor captação da energia solar disponível. Entretanto Kumar e Tieszen (1980 a, b), observaram que cafeeiros cultivados sob moderada irradiância (1.200 e 1.300 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) não apresentavam perdas na atividade fotossintética, em contrapartida Nunes et al. (1993), observaram que radiações acima de 2.200 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, que são comuns em condições de dias ensolarados nas regiões subtropicais podem induzir a fotoinibição.

Com relação à temperatura do solo temos que o ideal compreende a faixa de 24 a 27 °C, temperaturas acima desta faixa comprometem a cultura, observando-se que acima de 33 °C podem produzir flores anormais (MATIELLO et al., 2002; RENA; MAESTRI, 1986).

Fernandes (1986) observou que a cultura do cafeeiro sombreada em virtude da arborização apresentou plantas com internódios mais longos, e com uma redução do número de folhas, entretanto estas apresentavam maior tamanho, produziavam frutos maiores que se mostravam mais moles e maior teor de açúcares, ocorrendo uma melhoria no aspecto vegetativos das plantas e culturas mais produtivas.

Comparando-se plantas de *Coffea arabica* plantadas a pleno sol e à sombra, observou-se que a taxa da fotossíntese líquida e a condutância estomática demonstraram ser altas nas plantas cultivadas na sombra (ALVIM, 1960).

As folhas sombreadas apresentam maior eficiência na assimilação do CO₂, em consequência do fato que nos ambientes tropicais a radiação solar ultrapassa de 3-5 vezes o valor da saturação luminosa, desta forma a temperatura foliar pode elevar-se de 5-20 °C da temperatura ótima, com este aumento podem ocorrer danos fisiológicos e físicos nas estruturas foliares (NUTMAN, 1941; HERNANDEZ et al., 1989; MARIN et al., 2003).

Os níveis de radiação e temperatura sobre os cafeeiros, bem como a água e nutrientes disponíveis para a planta, são considerados fatores importantes na regulação da atividade fotossintética, sendo assim o efeito do sombreamento sobre a fisiologia do cafeeiro se tornou importante para se determinar níveis ótimos de radiação e temperatura o que implica diretamente no melhor desenvolvimento e aproveitamento da cultura (VOLTAN et al., 1992; MORAIS et al., 2003).

2.2 Assimilação do carbono e nitrogênio em cafeeiro Arábica

O nitrogênio é considerado um macronutriente, que atua em processos vitais para as plantas desde a síntese de proteínas até a utilização em demais compostos orgânicos, razão esta dele ser alvo de vários estudos. O nitrogênio normalmente é suplementado na forma de íons nitrato e amônio, estes íons podem ser adquiridos via decomposição de matéria orgânica disponível no solo ou mesmo gerados na fixação. Independente da forma como são adquiridos ocorre uma intensa competição entre os microorganismos presentes no solo e as plantas que desta forma necessitam desenvolver mecanismos enzimáticos eficientes para conseguir capturar rapidamente estes íons disponíveis no solo ou suplementados (GREY et al., 1987; HAVLIN et al., 1999).

As plantas assimilam os íons nitrato disponíveis no solo, sendo este considerado a melhor fonte de nitrogênio. A redução do nitrato a nitrito sofre influência de fatores bióticos e abióticos decorrente da sazonalidade e da variação da concentração dos íons nitrato no solo, desta forma observou-se que na primavera os solos apresentavam uma concentração inicialmente alta de íons nitrato vindo a sofrer uma diminuição gradativa a partir do momento em que as plantas aumentavam a absorção deste, sendo assim as flutuações sazonais na temperatura e nos fatores edáficos influenciam as plantas no consumo de nitrato (HAYNES, 1986; CRAWFORD; GLASS, 1998 citados por GALLO, 2001).

O cafeeiro como outras perenes tem seu ciclo reprodutivo anual, cujo final é a produção de grãos, que são posteriormente colhidos e representam importante produto agrícola para o Brasil. Com a remoção dos grãos, parte da matéria seca é removida, o que representa a produção da cultura. Esta matéria seca é constituída de carbono, nitrogênio e outros macros e micros nutrientes. Para se entender a regulação da produção, (CARR; STEFENS, 1992) é necessário se entender o que determina a produção de matéria seca.

A produtividade líquida depende da assimilação do carbono (Rubisco) (isto é fotossíntese menos respiração) e uma porção de nutrientes minerais durante um período reprodutivo. A acumulação de matéria seca depende da taxa fotossintética por unidade de área foliar. Esta por sua vez depende do potencial para a formação de botões foliares das condições ambientais e da capacidade de assimilar nutrientes para seu crescimento e também da disponibilidade de água e nutrientes na época em que ocorre a formação da folha (MOHOTTI; LAWLOR, 2002).

A área foliar depende das características da planta, incluindo a maquinaria fotossintética e das condições ambientais tais como irradiância, disponibilidade de água, temperatura, e suprimento nutricional. Assim, a produtividade é uma complexa função dependente das características da planta e do ambiente (LAWLOR, 2001 a, b).

A fotossíntese em cafeeiro é considerada baixa (similar ao chá) (NUNES et al., 1993; RAMALHO et al., 1997). Em cafeeiro crescendo a pleno sol a fotossíntese é diminuída sendo que o sombreamento poderia beneficiar a produção. Em radiação solar intensa, ocorre o fenômeno da fotoinibição (SMITH et al., 1993), que diminui o índice de área foliar. A fotoinibição é causada por danos ao aparelho fotossintético como consequência do excesso de energia que ocasiona um excesso de componentes fotossintéticos reduzidos. O excesso de energia é determinado pelo

balanço entre a energia capturada pelo aparelho fotossintético e usada na assimilação do CO₂ e fotorrespiração (atividades da Rubisco), ou dissipada pelo ciclo da xantofila (BAKER; BOWYER, 1994; LAWLOR, 2001 a, b).

Em geral a capacidade fotossintética do cafeeiro é maior sob sombreamento do que a pleno sol, embora as causas e mecanismos para este aumento á sombra não seja muito claro. Provavelmente temperaturas amenas, umidade do ar, correlacionados com o decréscimo da radiação, estejam ligados com o aumento do índice de área foliar na sombra.

De uma forma geral a maioria das espécies vegetais é eficiente na absorção e assimilação do nitrogênio seja este proveniente dos íons nitrato ou amônio, da uréia ou mesmo dos aminoácidos, uma vez que se observou que a via preferencial variava de espécie para espécie (CRAWFORD; GLASS, 1998 citados por GALLO, 2001), entretanto Forde (2000) relatou que o nitrato seria a fonte de nitrogênio mais importante que atuaria no crescimento das plantas.

Segundo Crawford e Glass (1998), citados por Gallo (2001), existem dois mecanismos que auxiliam a absorção do nitrato, um considerado de alta afinidade que possui uma cinética (Michaelis-Menten), sendo saturado entre 0,2-0,5 mM de nitrato, com Km típico de 10-100 µM, podendo ser representado em sua forma constitutiva ou indutiva, e o outro de baixa afinidade, o mais observado para as concentrações de 0,5 mM, em virtude destes dois sistemas as plantas podem regular a absorção do íon independente da concentração de nitrato disponível no solo, sem exibir os eventuais sintomas de deficiência ou toxidez aguda.

Uma vez que o nitrogênio é vital, e seu processo de assimilação via nitrato utiliza a enzima redutase do nitrato (NR) para convertê-lo a nitrito, sendo este utilizado diretamente pela planta ou armazenado no vacúolo para posterior utilização, uma vez que o mesmo não é tóxico para as plantas (CRAWFORD, 1995; LEA et al., 1992). Vários autores demonstraram inicialmente, que a formação do nitrito era fundamental, sendo assim foram feitos experimentos desde a incubação de plantas com nitrato e glicose (ECKERSON, 1924) até o estudo dos tecidos de plantas deficientes, incubadas com o nitrato (HAMMER, 1936). Outros autores verificaram a influência da luz neste processo (BURSTRON, 1943; ECKERSON, 1932). Segundo Tischiner (2000), após a redução dos íons nitrato, os íons nitrito são transferidos para os cloroplastos ou plastídeos das raízes sendo em seguida reduzido a íons amônio pela enzima redutase do nitrito (NRi). Com base nestes e outros trabalhos verificou-se que o nitrito atua como um íon intermediário deste processo de assimilação do nitrogênio, sendo o mesmo de caráter enzimático.

Em 1953 Evans e Nason purificaram a Redutase de Nitrato (NR), onde o NADPH é usado como cofator preferencial, sendo esta uma flavoproteína tendo FAD como grupo prostético, sensível a metais pesados, necessitando de nitrato e luz para sua ativação. Hageman e Flescher (1960) observaram em uma série de experimentos com luz e variação dos níveis de nitrato, ambos necessários para sua ativação, propondo que a regulação e o controle da atividade seriam um segundo mecanismo para evitar a intoxicação da planta por amônia. Segundo Ritenour et al. (1967), redutase de nitrato e nitrito têm diferentes localizações, a NR está localizada no citoplasma formando o nitrito fora do cloroplasto, enquanto que a NiR localiza-se dentro sendo que o nitrito passa através da membrana do plasto. O Ca^{+2} é essencial para a integridade da membrana e sua deficiência provoca um desarranjo impedindo a entrada do nitrito nos cloroplastos, outra explicação seria o acúmulo do nitrito, uma vez que a quantidade de nitrato reduzido excede a quantidade necessária para um pequeno crescimento.

Kessler (1964) descreve a hipótese mais aceita na época, a assimilação do nitrato, iniciaria no transporte de elétrons do NADPH_2 via FAD^+ e no nitrato, sendo que NADH_2 também atua como doador de nitrogênio (elétrons), o componente flavínico geralmente é o FAD^+ , porém o FMN pode em alguns casos também funcionar. Em alguns casos a enzima tem caráter adaptativo e é induzida por nitrato ou por nitrito, sendo a amônia um repressor da síntese da NR e a luz é indispensável, sendo que a redução do nitrato também está ligada à respiração, fotossíntese e hidrogenase. Assim a amônia é incorporada em compostos orgânicos, via Ciclo da GS-GOGAT: GS - Sintetase de Glutamina: L-glutamato: amônia ligase, formadora de ADP (E.C. 6.3.1.2), GOGAT: Sintetase de Glutamato: glutamina: 2-oxoglutarato amino transferase (E.C. 1.4.7.1.), após a redução do nitrato a nitrito pela Redutase do Nitrato (E.C. 1.6.6.1.) e de nitrito a amônia pela Redutase do Nitrito (E.C. 1.6.6.4), sendo que a localização intracelular destas enzimas é bem conhecidas (MIFLIN e LEA, 1976).

Já Ruiz et al. (1998), elucidaram que a ativação da assimilação do NO_3^- , mais especificamente a redução do NO_3^- para NO_2^- pela NR pode alterar ou mesmo diminuir em função do efeito negativo causado pela acumulação deste íon na planta, onde está necessitaria de grandes quantidades de nitrogênio para seu crescimento. A assimilação do NO_3^- nas plantas requer a absorção deste, sua redução e conversão para NH_4^+ , e a incorporação deste nos compostos orgânicos (MIGGE; BECKER, 1996; SIVASANKAR; OAKS, 1996). Sendo que a disponibilidade do nitrato, os reguladores de crescimento, a luz, os produtos da assimilação do

nitrato, e outros parâmetros fisiológicos e ambientais são todos os fatores envolvidos na assimilação do nitrato (CAMPBELL, 1988 e 1989; LILLO, 1984; CRAWFORD, 1995; PADGETT; LEONARD, 1996; SIVASANKAR; OAKS, 1996).

2.2.1 Redutase do Nitrato (NR - EC 1.6.6.1)

A Redutase do Nitrato, faz uso do NADPH e como cofator preferencial o NADH, sendo uma flavoproteína que possui o FAD como seu grupo prostético, demonstrando ser sensível a metais pesados, sua ativação era dependente da presença do nitrato e da luz (EVANS; NASON, 1953). Posteriormente verificou-se que a regulação da enzima nas plantas era influenciada por fatores tais como quantidade de nitrato, luz e carboidratos disponíveis os quais atuam ao nível de transcrição e tradução, até mesmo por uma modulação pós transcricional (TAIZ; ZEIGER, 2004; KAISER; HUBER, 2001).

A redutase de nitrato (NR - EC 1.6.6.1) catalisa o primeiro passo enzimático na assimilação do nitrato em plantas superiores, a redução de nitrato a nitrito (YANEVA et al., 2000).



A enzima é uma flavoproteína, formando um complexo com o Heme-Fe e molibdênio, uma pterina ou molibdopterina. É um homodímero, composto de duas subunidades idênticas de ~100 U, cada uma contendo três cofatores - FAD, heme-Fe e molibdênio cofator MoCo – que fornecem o centro redox que facilita a cadeia de reações de transferência de elétrons do NAD(P)H para o nitrato, reduzindo-o a nitrito. A RN possui cerca de 917 resíduos de aminoácidos em cada subunidade, cada um deles contendo todos os cofatores (CAMPBELL, 1999). A maioria das formas da RN na planta utiliza NADH como redutor, o qual é produzido no citossol e não NADPH, produzido no cloroplasto (SOLOMONSON; BARBER, 1990). Entretanto Crawford et al. (2000), citam que algumas formas de RN possuem dupla especificidade, utilizando tanto NADPH quanto NADH.

A enzima RN, tanto nas folhas quanto nas raízes, é induzida pelo substrato (GALANGAU et al., 1988; VINCENTZ et al., 1993). A atividade da RN em tecidos fotossintéticos parece estar sob controle metabólico, isto é, induzida em resposta ao nitrato ou ausência de amônia e reprimida pela amônia ou seus metabólitos (SOLOMONSON; BARBER, 1990).

A atividade da enzima sofre uma variação diária, possuindo baixa atividade no escuro (STITT, 1987). Segundo Kaiser e Huber (1994), um estado típico de ativação em condições de luminosidade seria de 70-90%, o qual é reduzido no escuro para 10-30%. Porém Kaiser e Huber (2001) citam que a luz não é um sinal direto para ativar a RN. Mesmo em luz forte contínua, a RN se torna inativa quando CO₂ está ausente, indicando que a fotossíntese é requerida para a ativação da RN. Muito provavelmente, assimilados exportados para fora do cloroplasto funcionam como sinalizadores.

2.2.2 Atividade enzimática da redutase do nitrato em café

Alguns autores observaram que no processo de redução do nitrato as folhas e raízes contribuíam significativamente tendo variações em função da hora do dia, uma vez que a atividade da redutase do nitrato em ambos os órgãos ocorria em intensidades diferentes tanto na luz quanto no escuro (ASLAM et al., 1979; RUFTY et al., 1982; CLAUSSEN, 1986). Também foi observado por Carelli e Fahl (1991) e Queiroz et al. (1993 a, b), que as plantas de café são capazes de reduzir o nitrato tanto nas folhas quanto nas raízes.

Segundo Cordeiro et al. (1984) e Alves et al. (1985), nos cafeeiros jovens a atividade da redutase do nitrato apresentou maiores níveis nas folhas durante o período de escuro em comparação ao de luz, possivelmente esse aumento da atividade enzimática observado logo após o período de luz poderia ter ocorrido em função da maior disponibilidade de ATP e NAD(P)H no citoplasma decorrentes da fotossíntese, entretanto o decréscimo da atividade da enzima ainda no período luminoso parece não estar correlacionado com a fotossíntese corrente. Também Da Matta et al. (1999), encontraram variação rítmica em cafeeiros na atividade da redutase do nitrato em relação ao suprimento nutricional. A atividade da redutase do nitrato aumentou no período noturno em café, diminuindo no período luminoso (MENDES, 1986; ALVES, 1985; NETTO, 2005). Plantas de café assimilam o nitrato tanto pelas raízes como pelas folhas (QUEIROZ et al., 1991; CARELLI; FAHL, 1991).

Queiroz et al. (1993 a, b) e Netto (2005), estudaram a atividade da redutase do nitrato durante um ciclo diário encontraram que a atividade da enzima decresceu durante o período luminoso, vindo a aumentar nas primeiras horas de escuro, estabilizando á noite.

Amaral (1991) observou que em cafeeiro a retomada do crescimento após o inverno se iniciou em setembro com a elevação da temperatura e luminosidade. Nos meses de inverno a

atividade da redutase do nitrato foi nula. A atividade da enzima também variou com a presença de frutos. Em plantas sem frutos, a atividade foi baixa, e alta naquelas com frutos. Os teores de aminoácidos também aumentaram nas folhas com a ausência de frutos.

Carelli et al. (1989, 1990), também em plântulas de café encontram maior atividade da redutase do nitrato em plantas crescendo a pleno sol e a 50% de luz solar nas plantas suplementadas com nitrato. Para plantas cultivadas em um mesmo nível de nitrogênio, as plantas de sol tiveram menos atividade da enzima que as plantas de sombra. Durante o ciclo reprodutivo encontraram maiores valores da enzima no período que antecedia a antese e no final da expansão dos frutos, período coincidente com a intensa demanda por metabólitos pelas flores e frutos. A remoção das flores resultou em um decréscimo na atividade da enzima e no teor de nitrato nas folhas.

Em cafeeiros submetidos á deficiência hídrica, Rodrigues (1988), encontrou uma redução de 50% na atividade da redutase do nitrato em plantas submetidas a -1,5 MPa, e um aumento nos teores de prolina quando as plantas foram submetidas a um déficit hídrico maior.

2.3 Importância dos minerais na nutrição do cafeeiro

No solo encontramos diversos nutrientes classificados em macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) os quais são exigidos em maiores concentrações e micronutrientes (B, Cl, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, e Zn) que são exigidos em pequena quantidade, os quais podem mover-se para a superfície da raiz por fluxo contínuo ou difusão, sendo carregados pela água movendo-se através do solo até as raízes. A taxa de assimilação depende do fluxo de água através do solo até a planta, que por sua vez é influenciada pelas taxas de transpiração e concentração de nutriente na solução do solo, já no fluxo obtido pela difusão os nutrientes movem-se através de gradientes de concentração, ou seja, de uma região de maior para outra de menor concentração em volta da raiz (KERBAUY, 2004).

Segundo Costa (2001), a nutrição mineral atualmente vem sendo abordada como prioridade em uma visão inovadora do equilíbrio nutricional, uma vez que os diferentes mecanismos de absorção dos nutrientes bem como suas diversificadas funções na planta são fatores que podem alterar a produtividade e qualidade da cultura. No caso do cafeeiro este responde positivamente as este quesitos, tendo um conjunto de fatores agindo coordenadamente, ou seja, a luminosidade, temperatura, características do solo, taxa de CO₂, água e nutrientes disponíveis definem e garantem as taxas de crescimento, produtividade e qualidade desta cultura.

A adubação é um dos principais fatores que influenciam na produção das culturas, sendo o nitrogênio o nutriente exigido em maior quantidade e em estádios definidos do desenvolvimento vegetativo e reprodutivo das culturas, além do risco de perda por lixiviação. Existem várias recomendações para se fazer uma adubação nitrogenada, que se mal manejada causa problemas para a cultura e para o ambiente.

As primeiras investigações sobre nutrição mineral realizadas com cafeeiro datam de 1913, quando Ansted e Pittock, citados por Chaves (1982), observaram a absorção bem como a variação da quantidade de nutrientes nos frutos durante a fase de desenvolvimento da cultura, posteriormente Samuels (1957) e Loué (1958) ambos citados por Chaves (1982), verificaram que o cafeeiro necessitava absorver os nutrientes em duas fases bem distintas, uma para o seu crescimento e outro para o desenvolvimento do fruto, que mais tarde verificou-se a existência dos drenos preferenciais, a localização das fontes pode mudar no decorrer da ontogênese da planta.

Deficiências em macro e micro nutrientes afetam a produtividade do cafeeiro. Devido à expansão da cultura para áreas de cerrado, inúmeros problemas surgiram com a cultura, associados com a baixa fertilidade do solo. Entre outras, a deficiência de Boro foi relatado por Batley (1971) citados por Furlani Junior e Lazarini (2005) e Mascarenhas et al., (1988) ocorre em solos alcalinos e elevado teor de matéria orgânica. Segundo Malavolta (1986), a deficiência de micronutrientes pode provocar diminuição da produção de até 30%.

Outro elemento importante na nutrição do cafeeiro, o Zn participa na síntese do triptofano que é precursor do regulador vegetal AIA. (MALTA et al., 2002). Segundo Ramaiah et al. (1964) e Domingo et al. (1992), cafeeiros deficientes em Zn, acumulam triptofano entre outros aminoácidos. O Zn está estreitamente relacionado ao metabolismo do nitrogênio em plantas, e conseqüentemente com a síntese de proteínas. (MALAVOLTA, 1980). Há uma estreita correlação entre o fornecimento de Zn e a atividade da Redutase do Nitrato e desta com o conteúdo de proteínas e o crescimento da planta (MARSCHNER, 1995 a).

Carvajal et al. (1969) citado por Chaves (1982), observaram em plantas de *Coffea arabica* var. Bourbon que a absorção líquida dos macronutrientes com exceção do enxofre durante um ciclo vegetativo e reprodutor completo. Estas observações indicaram claramente que o nitrogênio é o elemento quantitativamente mais importante na nutrição do café seguido pelo potássio, observando também que cada nutriente está sujeito a um padrão de absorção específico durante o ano.

Experimentos realizados em cafeeiros no Kenya por Cannel e Kimeu (1971) também citados por Chaves (1982), observaram que com relação à absorção e distribuição dos macronutrientes, a circulação destes nutrientes acontecia de forma a seguir a ordem dos: folhas > ramos > raízes > tronco.

Plantas de café tem grande necessidade de N e K (MALAVOLTA et al., 1963), existindo uma correlação positiva entre o fornecimento do N e o número de folhas e botões florais. Segundo Malavolta (2000), os teores ideais nas folhas do cafeeiro são: N (27-32), P (1,6-2,0), K (19-24) Ca (10-14), Mg (3,1 -3,6), S (1,5-2,0) g/kg e Zn (8-16), B (59-80), Cu (8-16), Mn (120-210), Fe (190-180) mg/kg.

O requerimento por N no cafeeiro aumenta por ocasião da produção de grãos. Se não houver limitação no seu fornecimento, N ira estimular um rápido desenvolvimento de ramos plagiotrópicos, número de folhas, numero de botões florais e flores por nó (NAZARENO et al., 2003).

Segundo Mitchell (1988), a quantidade de K exportado pela colheita, excede a do N, o que ajuda explicar por que em poucos anos se torna limitante no solo (LIMA FILHO; MALAVOLTA, 2003).

Em cafeeiro, o K de reserva comparado ao N de reserva foi utilizado em maior proporção pelos frutos e demais órgãos da planta. A exportação pelos órgãos de reserva foi ao redor de 52% pelas folhas, 20% pelos ramos e gemas, e 21% pelas raízes (LIMA FILHO; MALAVOLTA, 2003).

Estudando a repatriação de nutrientes em ramos, folhas e flores do cafeeiro, Malavolta et al. (2002), encontraram que as flores representaram um forte dreno de nutrientes, principalmente de Mg, e sugerem que a adubação do cafezal deve ser feita antes de se iniciar o florescimento. Moyses (1988), também estudando a absorção dos nutrientes em cafeeiro e verificou que a adubação nitrogenada elevou os teores de N e baixou o conteúdo de K, Ca e Mg na folha, e aumentou o teor de Mn, diminuindo de Fe, Cu e Mo, em plantas em solução nutritiva. A aplicação de Zn em solução nutritiva aumentou os teores de Ca e Fe nos ramos de cafeeiro e de enxofre na planta toda; e reduziu o teor de K nos ramos.

2.4 Carbono x nitrogênio em cafeeiro Arábica

O cafeeiro apresenta quando cultivado a pleno sol características de aclimatação às altas irradiâncias, como a redução de área foliar, aumento da espessura da cutícula (FAHL et al., 1994; VOLTAN et al., 1992), aumento da densidade estomática, aumento da Rubisco (RAMALHO et al., 1999) e reversão da fotoinibição (Da MATTA; MAESTRI, 1997).

Como muitas outras plantas lenhosas o cafeeiro possui taxa de assimilação líquida do C situando-se na faixa de 7 a 12 $\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ (SILVA et al., 2004), uma vez que a planta evoluiu em ambientes de baixa luminosidade (sombreamento natural). Crescendo a plena luz a irradiância interceptada pode facilmente exceder 600 $\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, um valor saturante para as folhas (Da MATTA, 2004). O cafeeiro nestas condições apresenta mecanismos fotoprotetores eficientes que mesmo em folhas expostas a fotooxidação se manifesta esporadicamente (CHAVES, 2005).

A taxa de assimilação líquida a plena luz foi relativamente baixa mesmo nas folhas superiores, indicando que outras limitações além da luz estão relacionadas à baixa taxa fotossintética no cafeeiro (ARAÚJO, 2006). A fotossíntese em plantas sombreadas foi substancialmente maior que as plantas crescendo a pleno sol, onde a temperatura foi ao redor de 25 °C (KUMAR; TIESZEN, 1980 a, b).

Um dos mecanismos de fotoproteção envolve os carotenóides, que são pigmentos intimamente associados com a antena e o centro de reação fotoquímica, atuando como pigmento acessório da fotossíntese, transferindo a energia da luz absorvida para a clorofila *b* (TAIZ; ZEIGER, 1998).

As membranas fotossintéticas podem ser facilmente danificadas pela grande quantidade de energia absorvida pelos pigmentos, energia esta que não pode ser armazenada pela fotoquímica. Se o estado excitado da clorofila não é rapidamente extinguido, pela transferência da excitação ou pela fotoquímica, ela pode reagir com O_2 para originar a forma excitada “singlet” $^1\text{O}_2^*$ que é extremamente reativa e reage rapidamente danificando componentes celulares especialmente os lipídeos. Os carotenóides tem poder de extinguir o estado excitado da clorofila (TAIZ; ZEIGER, 1998). O estado excitado do carotenóide não possui energia suficiente para formar o oxigênio “singlet” e assim ele decai para o seu estado normal de energia perdendo o excesso como calor.

A capacidade fotossintética das folhas depende das características e quantidades dos componentes da maquinaria fotossintética (MOHOTTI; LAWLOR, 2002). O nitrogênio é particularmente importante por que é requerido para a síntese de inúmeros componentes celulares, incluindo clorofilas e proteínas como a Rubisco, responsável pela fixação do C em plantas de cafeeiro (planta C₃). Deficiências de N diminuem a capacidade das fontes e dreno, diminuindo a formação dos componentes fotossintéticos e encurtando a vida média das folhas e o índice de área foliar. Decresce também o número e tamanho de organelas, limitando a capacidade dos drenos pela utilização de carboidratos acumulados, o que pode levar por mecanismo de *feedback*, a uma inibição da fotoinibição e do aumento da área foliar. Em cafeeiro, um suprimento adequado de N aumentou o crescimento, a fotossíntese e o conteúdo de pigmentos fotoprotetores, e diminuiu o dano causado pela alta irradiância (NUNES et al., 1993; RAMALHO et al., 1997).

Deficiência em N tem grande impacto no tamanho, composição e função dos cloroplastos. A deficiência também afeta a quantidade de Rubisco e de proteínas solúveis nas folhas. Rubisco a enzima responsável pela fixação do CO₂ em plantas C₃, é encontrada em alta concentração na folha (perto de 30% em algumas plantas), porém tem baixa atividade. Assim sendo a mesma tem sido considerada como uma proteína de reserva, pois é remobilizada das folhas mais velhas e contribui em grande parte com o acúmulo de proteínas em folhas mais novas e grãos (LAWLOR, 2002). A disponibilidade de nitrogênio afeta em primeiro grau a atividade da redutase do nitrato que é induzida pelo íon (CRAWFORD et al, 1992). As flutuações diárias e sazonais afetam sua atividade, o que em última análise irá refletir na disponibilidade do íon para a parte aérea, e a na formação de proteínas, e coenzimas nucleotídeos e principalmente as clorofilas.

Como resultado da assimilação líquida do carbono, temos a formação do amido principal substância de reserva das plantas. Durante as horas de sol a planta acumula amido (MACHADO et al., 1989; ARAÚJO, 2006; CARVALHO, 1985) e posteriormente o transforma em sacarose para o transporte para novas partes em crescimento, para a produção de flores, e para o enchimento dos grãos, onde será novamente acumulado. Em soja, o amido acumulado durante o dia pode chegar a 10 e 20% do peso da folha seca (SILVIUS et al., 1978). Segundo Wormer e Ebagole (1956 a, b) e Wormer (1965) citados por Carvalho (1985), observaram que o amido do caule das plantas de café era encontrado principalmente na medula e no parênquima radial, sendo que seu consumo iniciava-se no centro da medula passando em seguida para a parte externa e

finalmente passando para os raios medulares, sendo observado que o período de maior consumo do amido estava entre a sétima e décima sétima semana após o florescimento das plantas.

Carvalho (1985) cita ainda vários autores que relatam que ocorre um decréscimo no teor de amido dos ramos e das folhas, sendo cada vez mais intenso conforme a produção vindo a esgotar-se totalmente antes do amadurecimento dos frutos, nas plantas que sofreram secas de ramos, ainda observou-se que os ramos sem a presença de frutos apresentam maior teor de amido do que os ramos contendo frutos, desta forma presumiram que a seca de ramos oriunda da superprodução de frutos seria um sintoma da deficiência de carboidratos nas plantas.

O conhecimento dos efeitos do sombreamento e da intensa irradiância sobre a fisiologia do cafeeiro, é importante para se determinar os níveis ótimos de radiação, temperatura e adubação, já que nestes aspectos residem as causas das diferentes atividades fotossintéticas. Assim as respostas fisiológicas, bioquímica e de crescimento do cafeeiro irão determinar a melhor combinação de elementos de manejo de sombras em sistemas agroflorestais, que irão refletir em aumentos da produtividade e o que é muito importante na qualidade final da bebida.

3 Material e métodos

O presente trabalho foi desenvolvido na Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, no Laboratório de Biotecnologia Agrícola (CEBTEC), do Departamento de Ciências Biológicas e no campo experimental do Departamento de Produção Vegetal da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Campus ESALQ/USP.

3.1 Material vegetal

As amostras analisadas foram folhas retiradas de plantas de *Coffea arabica* L. cv Obatã (IAC 1669-20), provenientes da plantação instalada no campo experimental do Departamento de Produção Vegetal da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ/USP em Piracicaba/SP, localizado nas coordenadas geográficas latitude Sul a 22°42’30” e 47°38’00” de latitude Oeste a uma altitude de aproximadamente 556 m.

Segundo a classificação de Köppen o clima desta área é considerado sub-tropical úmido, sendo chuvoso no verão e seco no inverno, desta forma sendo identificado como mesotérmico Cwa, apresentando uma precipitação média anual de 1.278 mm, distribuídos na faixa de 1000 mm no mês de outubro a março e 278 mm nos meses de abril e setembro, com uma temperatura média anual de 21,4 °C (SENTELHAS et al., 1998; RIGHI, 2005; LUNZ, 2006). O experimento foi realizado no período de agosto a dezembro de 2006 apresentando temperaturas médias mensais 20,7 a 24,98 °C.

Foram coletadas para análises fisiológicas e bioquímicas do cafeeiro as folhas da parte superior e inferior conforme mostra a **Figura 1** e **Figura 3** das plantas de *Coffea arabica* cv. Obatã plantadas em janeiro de 2002, portanto com 4 anos de idade sob um espaçamento de 0,9 x 3,4 m, submetidas a dois ambientes (**Figura 2**), a pleno sol e a sombreamento parcial por seringueira do clone PB 235 (*Hevea brasiliensis* Müll. Arg.), plantadas em dezembro de 1991, tendo assim 15 anos de idade distribuídas em um espaçamento de 8,0 x 2,5 m, sendo que a área total ocupada pelas culturas do cafeeiro e da seringueira totalizam 4,5 ha.



Figura 1 - Planta adulta de *Coffea arabica* indicando parte superior e parte inferior onde às folhas foram coletadas para análises



Figura 2 – Plantas adultas de *Coffea arabica* cv. Obatã pertencentes a cultura que estava submetida a pleno sol (A) em comparação as folhas pertencentes a cultura que estava submetida a sombreamento parcial de outra cultura (B)

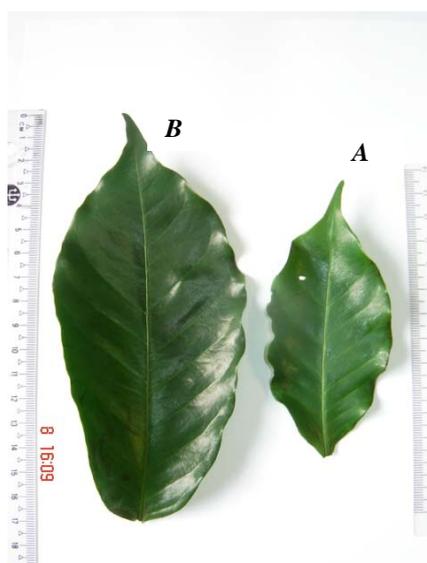


Figura 3 – Folhas das plantas adulta de *Coffea arabica* cv. Obatã indicando as diferenças morfológicas entre as plantas pertencentes a cultura que estava submetida a pleno sol com 11 cm (A) em comparação as folhas pertencentes a cultura que estava submetida a sombreamento parcial com 17 cm (B)

3.1.1 Características do solo, tipo de irrigação e dados climatológicos

A cultura de *Coffea arabica* cv. Obatã está localizada num terreno considerado plano com ondulamento considerado leve apresentando uma declividade moderada de 1,5%, sendo que o solo é classificado como sendo Nitossolo vermelho eutroférico, ou seja terra roxa estruturada, segundo dados da Embrapa (1999), eutotrófico, horizonte A moderado e textura argilosa segundo a classificação americana Kandiualfic Eutrodox (RIGHI, 2005).

Em experimento já instalado (JESUS, 2006) no mesmo campo experimental do Departamento de Produção Vegetal da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ/USP em Piracicaba/SP no local de coleta das amostras nas entrelinhas do cafeeiro sombreado e entrelinha do cafeeiro a pleno sol, foram colocados para coletar as amostras anéis de 5,5 cm de diâmetro e 5 cm de altura onde de cada repetição, foi enviada uma amostra composta, formada por duas amostras simples (dois anéis), contendo 04 repetições, sendo que as mesmas foram processadas junto ao laboratório de solos e nutrição de plantas do Departamento de Ciência do Solo da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ/USP, as análises identificaram as quantidades de macronutrientes, bem como o pH do solo, matéria orgânica, e capacidade de troca catiônica saturação por bases e alumínio.

O sistema de irrigação utilizado é o gotejamento constante (**Figura 4**), sendo a evapotranspiração estimada com o uso de um tanque Classe A, da estação Meteorológica

Principal do Departamento de Ciências Exatas da ESALQ/USP, localizada ao lado do experimento, sendo que as lâminas de irrigação foram calculadas de acordo com o método proposto por Villa Nova e Sentelhas (1999).



Figura 4 – Irrigação por gotejamento sob a qual o experimento conduzido junto às plantas de *Coffea arabica* cv. Obatã nos dois ambientes, a pleno sol e sobre sombreamento parcial

Foram utilizados os dados climatológicos do experimento já instalado pelo Departamento de Física/Meteorologia no local. Trata-se de uma estação micro-meteorológica a qual mede continuamente a radiação global (piranômetro, CM3, Eijkelkamp), a coleta de dados climáticos visou à utilização dos resultados experimentais em modelo matemático para extrapolação dos resultados do estudo. Segundo Lunz (2006), a radiação solar disponível nos cafeeiros mensurada através de tubos solarímetros (TS-UM3, Eijkelkamp), que foram instalados acima da copa dos cafeeiros sendo em seguida conectados a estação automática de coleta de dados do tipo Delta-T Device Inc., cujo equipamento instalado por Riggi (2005), o qual conduziu experimento na mesma área.

3.2 Delineamento estatístico

Foram coletadas amostras (folhas) de 8 plantas do cultivar *Coffea arabica* L. cv. Obatã expostas ao sol e crescendo a +/- 70% de luminosidade onde foram analisadas folhas da parte superior e inferior para cada unidade amostral.

Para comparar os resultados obtidos nas diferentes condições experimentais inicialmente foram realizadas análises exploratórias (médias, medianas, desvio e teste de normalidade), e a

seguir foi verificada a homogeneidade das variâncias. Foram empregados testes não paramétricos, optando-se pelo teste de Friedman seguido do teste de Rank, adotando-se o nível mínimo de significância de 5% para processamento das análises exploratórias será utilizado o programa SPSS 7.5 e para processar a análise comparativa foi utilizado o programa Bioestat 4.1 (AYRES et al.,2005).

3.3 Determinação da porcentagem de massa de matéria fresca e seca (% MMF e %MMS)

Dez folhas de cafeeiro de 8 plantas na parte superior e inferior de cada planta foram coletadas de agosto a dezembro e pesadas para se calcular a massa de matéria fresca. Posteriormente a pesagem, as folhas foram acondicionadas em sacos de papel colocadas em estufa a 55 °C (+/- 1 °C) até peso constante. Em seguida as folhas secas foram pesadas para se determinar a massa de matéria seca (MMS) das 10 folhas.

3.4 Análise de macro e micronutrientes

As folhas secas obtidas no experimento anterior foram moídas em moinho e pulverizadas obtendo-se um fino pó. Este pó seco foi empregado para as análises de macro e micronutrientes usando-se os seguintes métodos (SARRUGE; HAAG, 1974):

a) Nitrogênio total, através do método semi-micro Kjeldahl, em extrato de digestão sulfúrica, em 100 mg de massa de matéria seca;

b) em extrato nitro-perclórico (500 mg) de massa de matéria seca determinado o fósforo através do método colorimétrico do metavanadato; o potássio através da fotometria de chama de emissão; o enxofre por turbidimetria; cálcio, magnésio, cobre, ferro, manganês e zinco por espectrofotometria de absorção atômica (MALAVOLTA et al., 1989, 1997).

3.5 Determinação da porcentagem de proteína total solúvel (% PTS)

Inicialmente 0,5 g de cada amostra seca foi submetida a uma extração com 10mL de acetona gelada sendo em seguida centrifugada a 4000 g durante 5 min. a 4 °C. O sobrenadante foi descartado sendo repetida a extração mais uma vez, e o precipitado resultante foi seco em chapa aquecedora a 90° C.

Após a secagem foi adicionado 5mL de NaOH 0,1 N o material foi homogeneizado com bastão de vidro e agitação mecânica por 15 min. e centrifugado a 4000 g durante 10 min. a 25 °C.

O sobrenadante foi coletado e armazenado em outro tubo, repetiu-se o processo mais uma vez os sobrenadantes foram combinados e, a mistura foi homogeneizada por 15 min. sob agitação mecânica.

Para a determinação de proteínas foi utilizado o método de Bradford (1976) modificado, coletou-se 0,1mL dos extratos obtidos juntamente com 0,1mL de HCl 0,01 N e 0,3mL de água destilada acrescentando-se 2,5mL do reagente de Bradford, que dão origem a uma mistura cuja intensidade de coloração foi lida em espectrofotômetro Hitachi modelo U-3210 a 595 nm.

O teor de proteína das amostras foi calculado tomando-se por base os dados de uma curva padrão obtida com albumina de soro bovino (BSA).

3.6 Determinação da porcentagem de aminoácidos totais (%AA)

3.6.1 Obtenção dos extratos para análise qualitativa de aminoácidos

Baseado na metodologia de Bielinski e Turner (1966) modificada. Em 0,5 g do material vegetal seco (pó), adicionou-se 5mL de uma solução metanol/água (1:1) + 3mL de clorofórmio. O material foi homogeneizado com bastão de vidro seguido de agitação mecânica por 15 min., e em seguida centrifugado a 4000 g durante 1 min. a 4 °C, coletando-se o sobrenadante e armazenando-o. Ao precipitado foram novamente adicionados os mesmos reagentes iniciais seguindo-se o mesmo procedimento para a obtenção do segundo sobrenadante.

Para a análise dos aminoácidos os dois sobrenadantes foram reunidos ficando em repouso por 30 min. a temperatura ambiente. Após a separação das fases, tomou-se a fase superior para a análise.

3.6.2 Análise qualitativa de aminoácidos

Análise dos extratos obtidos no item anterior foi baseada na metodologia modificada de Yemm e Cocking (1955) onde 0,1mL foi acrescentado a 4,9mL de água destilada + 2mL de solução alcoólica de ninidrina 5% Após a homogeneização mecânica, as amostras foram submetidas a banho maria a 90 °C durante 15 min. e em seguida resfriadas para leitura espectrofotômetro Hitachi modelo U-3210 a 570 nm.

A concentração de aminoácidos totais das amostras foi calculada tomando-se por base os dados de uma curva padrão obtida com Leucina.

3.7 Determinação de carboidratos

3.7.1 Determinação da porcentagem de amido (% Amido)

3.7.1.1 Obtenção do extrato

Inicialmente 0,5 g de cada amostra seca foi submetida a uma extração com 2mL de uma solução clorofórmio/éter (1:1) sendo em seguida centrifugada a 4000 g durante 15 min. a 4 °C, o sobrenadante foi descartado sendo repetida a extração mais uma vez. Ao precipitado resultante da segunda extração foi adicionado 2mL de éter, homogeneizado mecanicamente e em seguida centrifugado a 4000 g durante 15 min. a 4 °C. O sobrenadante foi descartado e o precipitado foi seco em chapa aquecedora a 90 °C.

Após a secagem foi adicionado 5mL de NaOH 0,1 N sendo o material homogeneizado com bastão de vidro e agitação mecânica por 15 min., sendo em seguida incubado em banho maria a 100 °C durante 15 min. Após o resfriamento as amostras foram centrifugadas a 4000 g durante 15 min. a 4 °C. O sobrenadante foi utilizado para a dosagem de amido.

3.7.1.2 Quantificação da porcentagem de amido (% Amido)

Análise dos extratos obtidos no item anterior foi baseada na metodologia modificada de Allen et al. (1974) e Dubois et al. (1956), onde em 0,2mL da amostra foi acrescentado 9,8mL de água destilada.

Uma alíquota de 1mL das amostras diluídas foram acrescidas de 0,5mL de uma solução de fenol 5% + 2,5mL de ácido sulfúrico concentrado (H₂SO₄) colocado diretamente sobre as mesmas. A mistura ficou em repouso por 10 min., sendo homogeneizada mecanicamente por 15 min., em seguida as amostras foram submetidas a banho maria 30 °C durante 25 min., após resfriamento as amostras foram lidas no espectrofotômetro Hitachi modelo U-3210 a 485 nm.

A concentração de amido das amostras foi calculada tomando-se por base os dados de uma curva padrão obtida com amido solúvel.

3.7.2 Determinação da porcentagem de açúcares redutores (%AR)

A análise foi baseada na metodologia modificada de Nelson (1944). Para cada tratamento foram analisados 0,1 g das amostras de folhas secas do cultivar *Coffea arabica* L. cv. Obatã. A esse material foi adicionado água destilada até completar 5mL, sendo em seguida aquecido em banho-maria a 60 °C por 30 min.

O material foi filtrado em papel filtro Whatman nº 3, e as amostras foram diluídas na proporção de 0,1mL de amostra / 4,9mL de água destilada. Em seguida a 1mL das amostras foram adicionados 1mL de água destilada + 1mL da solução de Somoghy, aquecendo-se em água fervente por 10 min e resfriadas, logo após acrescentou-se 1mL da solução de Nelson + 7mL de água destilada. A intensidade de coloração foi lida em espectrofotômetro Hitachi modelo U-3210, à 450 nm, contra branco contendo 1mL de água destilada + 1mL da solução de Somoghy, submetidos a fervura por 10 min., resfriadas e acrescentado mais 1mL da solução de Nelson + 7mL de água destilada.

A concentração de açúcares redutores das amostras foi calculada tomando-se por base os dados de uma curva padrão obtida com glicose.

3.8 Determinação da atividade da redutase do nitrato (NR)

A análise foi baseada no método adaptado de Streeter e Bosler (1972). Discos das folhas do cultivar *Coffea arabica* L. cv. Obatã pesando 0,2 g foram incubados em tampão fosfato 5 mM pH 7,0 e KNO₃ 0,1 M. Os tubos de ensaio foram tamponados com rolhas de vinil e submetidos a vácuo por 1 min., sendo incubados em banho maria a 33 °C durante 60 min. e posteriormente filtrados. Após a filtração, em 1mL das amostras foi adicionado 1mL de sulfanilamida 1% em HCl (1,5 N) para paralisar a reação em seguida adicionar 1mL de cloreto de naftil 0,02%, a solução permaneceu em repouso durante 10 min.

A intensidade de coloração foi lida em espectrofotômetro Hitachi modelo U-3210, a 540 nm. A atividade da enzima nas amostras foi calculada tomando-se por base os dados de uma curva padrão obtida com nitrito.

3.9 Determinação do teor de pigmentos

3.9.1 Leituras SPAD de clorofila total (Leituras indiretas do clorofilômetro SPAD-502)

As leituras SPAD foram determinadas em oito diferentes posições nos ramos superior e inferior das plantas, sendo: ápice, terço médio e base de ramos do cafeeiro submetido às condições de pleno sol e parcialmente sombreados, utilizando-se o clorofilômetro portátil SPAD-502, desenvolvido por Minolta (1989).

3.9.2 Determinação da quantidade de clorofila *a*, clorofila *b*, clorofila total

A análise foi baseada na metodologia modificada de Lee et al. (1987) e Moran (1982). Foram analisados 10 discos foliares totalizando 0,1 g de material vegetal fresco de cada amostra. Estes discos foliares foram incubados a temperatura ambiente em eppendorf contendo 1mL de N,N-Dimetilformamida durante 72 hs, permanecendo no escuro. Após este período os pigmentos diluído na solução foram lidos em espectrofotômetro Hitachi modelo U-3210, à 480, 646,8 e 663,8 nm, sendo utilizado os cálculos contidos na **Tabela 1** para determinar a quantidade de Clorofila *a*, Clorofila *b* e Clorofila Total de cada amostra.

Tabela 1 – Cálculos utilizados para determinar a quantidade de Clorofila *a*, Clorofila *b* e Clorofila Total de cada amostra

Comprimento de onda (nm)		Quantidade de pigmento (g/L)
480	Clorofila A	$0,0127*ABS\ 663 - 0,00269*ABS\ 645$
646,8	Clorofila B	$0,0229*ABS\ 645 - 0,00468*ABS\ 663$
663,8	Clorofila Total	Chlor total: chlorof a+b

3.9.3 Determinação da quantidade de carotenóides

Análise baseou-se na metodologia modificada de Lee et al. (1987) e Moran (1982). Foram analisados 10 discos foliares totalizando 0,1 g de material vegetal fresco de cada amostra.

Estes discos foliares foram incubados a temperatura ambiente em eppendorf contendo 1mL de N,N-Dimetilformamida + HCl durante 72 hs, permanecendo no escuro, após este período os pigmentos diluído na solução foram lidos em espectrofotômetro Hitachi modelo U-3210, à 480 nm, sendo utilizado os cálculos $(1000*ABS\ 480 - 1,12*Chlor\ A - 34,07*Chlor\ B / 245)$ para se determinar a quantidade de carotenóides.

4 Resultados e discussão

O cafeeiro Arábica originalmente uma planta de sombra, foi adaptado para ser cultivado a pleno sol. Modificações anatômicas, fisiológicas e bioquímicas ocorreram na plantas durante o processo de aclimação da espécie a pleno sol. Entre as adaptações se destacam a redução no crescimento em altura, da área foliar e intensidade fotossintética, maior produtividade, maior espessamento foliar, massa foliar e numero de estômatos (VOLTAN et al., 1992).

Foram feitas análises nutricionais, fisiológicas e bioquímicas do cafeeiro *Coffea arabica* L. cv. Obatã, cultivado a pleno sol, e sob sombreamento parcial, entre agosto e dezembro de 2006, em folhas da parte superior e da parte inferior das plantas.

4.1 Características climáticas e do solo

As análises do solo conforme a **Tabela 2** demonstram que o solo nos dois ambientes possui um pH considerado ácido Alguns autores consideram que este potencial ácido é de suma importância para a determinação da necessidade de se efetuar uma calagem pelo método da saturação das bases (FARNEZI et al., 2006). Em novembro de 2006 foi realizado uma adubação, sendo aplicado 100 Kg de N/ha, na forma do adubo Super-N da Fertiar (45%), utilizado a eficiência de 80%, resultando na aplicação de 280 Kg/ha, sendo utilizado a medida de um copo de aproximadamente 150 mL calculados para cada pé de café tanto a pleno sol quanto a sombreamento parcial.

Após esta pratica podemos observar na **Tabela 3** que o pH no solo proveniente a exposição ao pleno sol subiu sendo que o solo sombreado praticamente não teve alteração. Entretanto também se pode observar que a capacidade de troca catiônica (**T**), a soma de bases (**S.B**), a saturação por bases (**V**) e a quantidade de matéria orgânica (**M.O**) disponível no solo diferem nos dois tratamentos sendo maior no solo sombreado (**Tabela 2**). Posteriormente ao período de adubação a matéria orgânica (**M.O**), a soma de bases (**S.B**), a capacidade de troca catiônica (**T**) e a saturação por bases (**V**) do solo proveniente da parcela sombreada caiu drasticamente.

Desta forma podemos inferir que as plantas que estão cultivadas no sistema sombreado são favorecidas quanto à obtenção de nutrientes proveniente do solo com exceção do potássio que possui maior valor no solo a pleno sol (**Tabela 4**), uma vez que as seringueiras as quais são responsáveis pelo sombreamento da cultura promovem um a deposição de matéria orgânica que

protege o solo de perdas hídricas drásticas, propiciando um ambiente ideal á proliferação de microorganismos que melhoram a fertilidade do solo e promovem um melhor desenvolvimento dos sistemas radiculares das plantas. Já no período posterior a adubação (**Tabela 5**) o teor de cálcio e magnésio aumentaram no solo a pleno sol, sendo que os demais nutrientes permaneceram maiores no solo sombreado, onde a troca catiônica e a saturação por bases também apresentaram índices maiores.

Tabela 2 – Dados referentes a amostras de solo coletadas no mês de setembro de 2006*

Análises do solo	Proveniente do pleno sol	Proveniente da sombra
Índice de pH (CaCl ²)	5,25	5,47
Matéria Orgânica - M.O (g dm ⁻³)	38,75	45,25
Soma de Bases - SB (mmol dm ⁻³)	76,67	104,12
Capacidade de Troca Catiônica - T (mmol dm ⁻³)	107,92	132,12
Saturação por bases - V (%)	71	78,25
Saturação por alumínio – m (%)	0	0

Tabela 3 – Dados referentes a amostras de solo coletadas no mês de dezembro de 2006*

Análises do solo	Proveniente do pleno sol	Proveniente da sombra
Índice de pH (CaCl ²)	5,67	5,45
Matéria Orgânica - M.O (g dm ⁻³)	38,25	36
Soma de Bases - SB (mmol dm ⁻³)	97,17	72,22
Capacidade de Troca Catiônica - T (mmol dm ⁻³)	122,67	105,47
Saturação por bases - V (%)	78,5	68,25
Saturação por alumínio – m (%)	0	0

Tabela 4 – Quantidade de macronutrientes disponível no solo sombreado e a pleno sol mês de setembro de 2006*

Nutrientes no solo	Proveniente do pleno sol	Proveniente da sombra
Fósforo (P - mg dm ⁻³)	57,25	79,5
Enxofre (S - mg dm ⁻³)	7,75	14,5
Potássio (K - mmolc dm ⁻³)	12,67	7,87
Cálcio (Ca - mmolc dm ⁻³)	45,75	74
Magnésio (Mg - mmolc dm ⁻³)	18,25	22,5
Alumínio (Al - mmolc dm ⁻³)	0	0
Hidrogênio + Alumínio (H+Al - mmolc dm ⁻³)	31,25	28

*JESUS, J. Análises do solo em experimento no campo no cafezal do Departamento de Produção Vegetal da Escola Superior de Agricultura, ESALQ/USP, Piracicaba/SP, **dados não publicados**, 2006.

Tabela 5 – Quantidade de macronutrientes disponível no solo sombreado e a pleno sol mês de dezembro de 2006*

Nutrientes no solo	Proveniente do pleno sol	Proveniente da sombra
Fósforo (P - mg dm ⁻³)	54,75	56,25
Enxofre (S - mg dm ⁻³)	5,5	8
Potássio (K - mmolc dm ⁻³)	6,17	7,47
Cálcio (Ca - mmolc dm ⁻³)	68,5	45,5
Magnésio (Mg - mmolc dm ⁻³)	22,5	19,25
Alumínio (Al - mmolc dm ⁻³)	0	0
Hidrogênio + Alumínio (H+Al - mmolc dm ⁻³)	61,25	68,25

Dentre os fatores climáticos que apresentam maior importância para o cafeeiro temos as condições de precipitação, temperatura, umidade do ar, luminosidade e fotoperiodismo, sendo que se observa que em muitas regiões estas condições climáticas desfavorecem o cafeeiro, vindo por diversas vezes afetar consideravelmente seu desenvolvimento e produção (MORAES, 1963).

Quanto à disponibilidade de água no ambiente, Lazzarini (1952), citado por Moraes (1963), observou temos um prejuízo na produção do café quando a precipitação durante os cinco meses mais secos do ano que normalmente vão de maio a setembro, são incapazes de atingir um total de 200 mm, também constatando que em outros anos quando esta mesma precipitação era inferior a 100 mm no mesmo período, provocava uma drástica redução da produção inclusive nos anos subsequentes.

Sabe-se que a umidade relativa do ar baixa sensivelmente durante o período do verão, todavia isto não propicia prejuízos drásticos a cultura, e a ocorrência de invernos secos com baixa umidade do ar podem favorecer a colheita, propiciando um produto de melhor qualidade.

Independente do sistema de irrigação a distribuição uniforme de água para a cultura consiste num parâmetro de grande importância uma vez que a não há uniformidade da lâmina aplicada conduz a resultados insatisfatórios quando ao desenvolvimento e produção da cultura.

Quanto ao sistema de irrigação por gotejamento (**Figura 4**) este não é considerado o ideal, uma vez que as mangueiras que propiciam tal sistema nem sempre incidem o gotejamento no mesmo local em cada indivíduo, isto tende a ocasionar respostas fisiológicas e bioquímicas diversificadas pois cada indivíduo estará submetido a um microclima diferenciado, propiciando uma competição entre as raízes pela água disponível.

*JESUS, J. Análises do solo em experimento no campo no cafezal do Departamento de Produção Vegetal da Escola Superior de Agricultura, ESALQ/USP, Piracicaba/SP, **dados não publicados**, 2006.

Segundo Carr (2001) como os cafeeiros são plantas sempre verdes e que formam suas folhas ao longo de todo o ano estas se tornam dependentes da disponibilidade de água no solo e da temperatura do ar.

Conforme observamos na **Tabela 6** as taxas de precipitação foram aumentando do mês 8 até o mês 12. O mesmo ocorreu com a umidade relativa do ar que no mês 8 era de 18% sofreu uma leve estabilização no mês 10 e 11 (21%) chegando a aumentar no mês 12 em 23%, o mesmo ocorre com a evaporação que tem resposta linear do mês 8 ao mês 12, pois se comparando com os dias de chuva temos baixa incidência nos meses 8 e 9 e um grande aumento nos meses subsequentes (**Tabela 6**).

No período dos meses 8 e 9 as plantas estão se recuperando de uma seca drástica ocorrida entre março e junho. Em julho de 2006 foi feita a colheita dos frutos (**Figura 5**). No mês 10 observou-se um aumento na disponibilidade de água com o aumento do número de dias de chuva. As plantas interromperam seu período de crescimento e iniciaram um leve período de floração. Como nos meses subsequentes do experimento os dias de chuva e a temperatura aumentaram, as plantas intensificaram a floração nos dois ambientes (sol e sombra) vindo a desenvolver os frutos no mês 12 e iniciando o enchimento dos grãos tornando-os “drenos preferenciais” (CHAVES, 1982; CAMARGO, 1985 a, b; CAMARGO; CAMARGO, 2001). Observa se também um aumento da radiação global no período que passou de 10792 cal.cm².d para 15172 cal.cm².d. Também houve uma aumento da umidade relativa e na precipitação, que passou de 17,4 mm em agosto para 251,7 mm em dezembro.

Tabela 6 – Dados meteorológicos coletados da estação automática instalada no interior do cafezal da unidade de experimentação do Departamento de Agricultura ESALQ, de agosto a dezembro de 2006

TEMPO	R.GLOBAL cal/cm ² .d	INSOLAÇÃO h/d	PRECIPITAÇÃO mm	UMIDADE RELAT %	DIAS DE CHUVA
MÊS 8	10792	228,5	17,4	69,77	2
MÊS 9	11089	187,7	54,7	67,07	7
MÊS 10	14026	204,5	80,3	79,9	10
MÊS 11	14344	194,6	200,2	80,4	15
MÊS 12	15172	184,7	251,7	88,81	18
TEMPO	VENTO MEDIO Km/h	TEMP. MAX. grau C	TEMP. MIN. grau C	TEMP. MEDIA grau C	EVAPORAÇ ÃO
MÊS 8	223,1	29,38	11,93	20,65	133,08
MÊS 9	258,2	28,28	13,48	20,88	136,67
MÊS 10	252	29,61	16,98	23,3	150,15
MÊS 11	272,6	30,37	17,79	24,08	137,2
MÊS 12	223,5	30,14	19,81	24,98	117,9



A



B

Figura 5 – Ramos de *Coffea arabica* cv. Obatã com frutos a pleno sol (A) e sob sombreamento parcial (B)

Dados comparativos referente ao balanço hídrico de diversas regiões produtoras de *Coffea arabica* no Brasil indicam que este cultivar suporta deficiências hídricas anuais de até 150 mm, principalmente quando a seca atua no período de maturação e colheita, corroborando com o que fisiologicamente sabemos, ou seja, o dreno preferencial são os frutos, pois quando a deficiência hídrica anual é inferior a 100 mm e ocorre no período de frutificação, levando a um declínio na sua produtividade (CAMARGO, 1985 a, b).

Uma vez que a radiação solar age diretamente nas respostas fisiológicas e bioquímicas não só das culturas bem como de todos os seres vivos, torna-se imprescindível observar e acompanhar a disponibilidade de radiação solar no ambiente verifica-se que cada cultura reage de uma forma específica a radiação disponível sua falta e/ou excesso pode tornar-se fatal (FOX JR. et al., 1992; VOLPE, 1992), sendo que já se é conhecido que seu balanço determina a quantidade de energia que as diferentes culturas irão necessitar para que possam dar continuidade a processos vitais tais como fotossíntese, evapotranspiração, fotoproteção entre outros (ROSEMBERG, 1974; PEZZOPANE, 2004).

Matiello (1991) observou que cafeeiros jovens necessitam de temperaturas ótimas principalmente em seu primeiro ano fenológico de 30 °C nos períodos claros e durante a noite necessitam de por volta de 23 °C, sendo observado ainda que estes parâmetros caíam com a idade avançada da cultura, ou seja, à medida que a planta se desenvolve, após aproximadamente um ano e meio estes parâmetros situam-se em torno de 23 a 17 °C. Segundo Camargo (1985 a, b), as regiões que apresentam temperaturas superiores a 30 °C por um período prolongado freqüentemente apresentam danos na folhagem e se acaso as temperaturas elevadas se derem na fase de florescimento podem provocar o aborto dos botões florais, que por conseqüência reduz sua sobrevivência não produzindo frutos, uma vez que se relata que a 24 °C ocorre à máxima taxa de fotossíntese, obtendo-se um decréscimo de 10% desta taxa a cada grau de temperatura que se eleve a 24 °C (LIMA, 2006)

4.2 Cafeeiro sombreado x cafeeiro a pleno sol: porcentagem de massa de matéria fresca, porcentagem de matéria seca e os teores de nutrientes

No geral o desenvolvimento/crescimento das plantas é o resultado das interações entre os diversos carboidratos, hormônios, água e minerais, sendo que fisiologicamente a fotossíntese considerada como um dos principais processos que regulam o crescimento, uma vez que é a fonte da matéria primária para que as plantas possam se desenvolver desta forma mecanismos regulatórios como armazenamento, conversão e redistribuição dos assimilados interagindo com a irradiância disponível, propiciam um aumento da produção de matéria, sendo que a matéria seca permite que avaliemos o quanto a cultura se desenvolveu (ENGEL, 1989; PAIVA et al., 2003).

Desta forma temos que plantas de cafeeiro crescendo a pleno sol tiveram uma redução significativa em relação ao peso fresco e seco das folhas (**Figura 6 e 7**) quando comparados com

plantas crescendo sob sombreamento natural independente da posição das folhas na planta, já na **Tabela 7 e 8** estatisticamente observou-se que a porcentagem de peso fresco e seco apresentarem-se significativamente maiores nas plantas de sombra em sua parte superior. Observou-se também um aumento gradativo no período, do peso fresco e seco das folhas sombreadas, devido provavelmente a uma maior retenção de água e nutrientes pelo ambiente sombreado que apresentou maior cobertura morta. De agosto a dezembro houve um aumento gradual nos dias de chuva e na precipitação que passou de 17,4 mm em agosto para 251,7 mm em dezembro (**Tabela 1**). Durante todo o período analisado houve um aumento na temperatura média de 4,5 °C, e também da radiação global que passou de 10792 cal.cm⁻².d⁻¹ para 15172 cal.cm⁻².d⁻¹.

Pode-se também observar pela **Figura 7**, que houve um incremento na massa seca das folhas na parte superior das plantas de sombra logo após a adubação nitrogenada resultado este que corroboram com os dados estatísticos da **Tabela 8** onde verificamos que ocorreu aumento significativo nos meses 11 e 12, o que pode ser explicado pela expansão da área foliar nestas plantas, que por estarem nas condições de baixa luminosidade necessitam ter maior área foliar para aumentar a absorção de luz (ENGEL, 1989; BOARDMAN, 1977; FERREIRA, 1977), e somente em sua parte inferior do mês 12 ocorreu uma queda significativa, podendo ser uma resposta fisiológica a mudança do dreno preferencial passando da folha para o fruto (**Tabela 8**).

Nas plantas de sol embora tenha ocorrido aumento na massa de matéria seca das folhas na parte superior, no mês 12 houve uma queda na massa seca, devido justamente ao processo de enchimento dos grãos (CHAVES, 1982; CAMARGO, 1985 a, b; CAMARGO; CAMARGO, 2001) provavelmente causado pela maior translocação do amido e proteínas das folhas para os grãos, resultados este que quando analisados estatisticamente (**Tabela 8**), mostram que as variações das porcentagens de peso seco em comparação com as plantas de sombra são menores, mas que a parte superior das plantas de sol não demonstram ter variações significativas, entretanto as folhas localizadas na sua parte inferior apresentaram uma queda estatisticamente significativa do início ao fim do experimento.

Apesar destas oscilações temos que nas plantas de sombra, após o mês 11 nas folhas da parte superior houve um aumento no peso fresco e seco, porém ocorreu um decréscimo no peso fresco e seco nas folhas da parte inferior destas plantas. O que pode ter ocorrido, provavelmente foi uma migração de carboidratos e proteínas em maior quantidade destas folhas, devido à

proximidade da floração, pois nas plantas de sombra, como houve um maior crescimento em altura, e a floração foi menor nestes ramos (dados não divulgados).

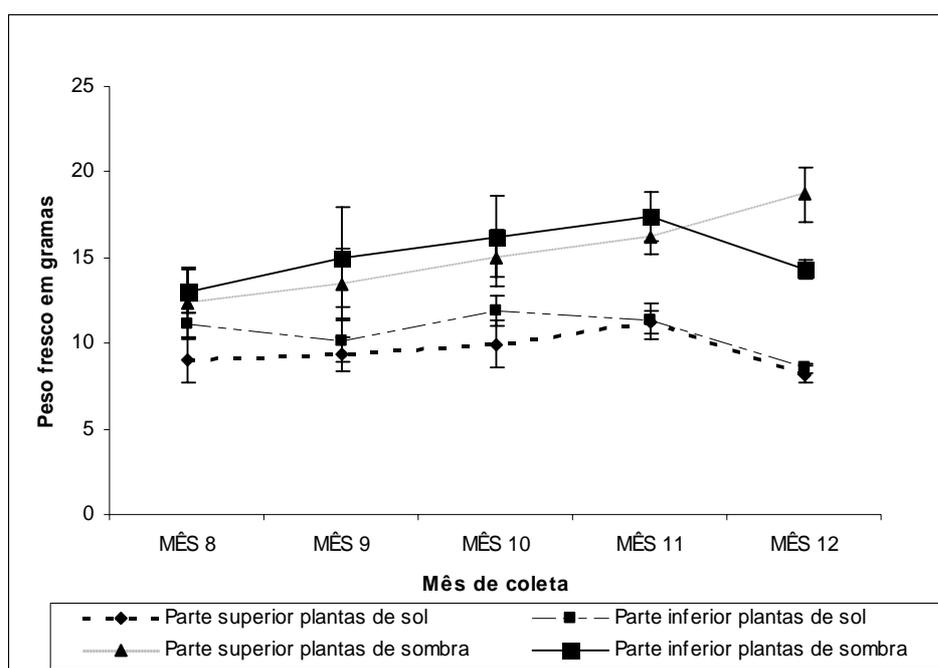


Figura 6 - Dados referentes à porcentagem de massa de matéria fresca de 10 folhas (média de 8 plantas com 4,5 anos de idade) de *Coffea arabica* cv. Obatã expostas a pleno sol e sombreamento parcial durante agosto a dezembro de 2006, coletadas folhas da parte superior e da parte inferior de cada planta. Barras verticais representam o desvio padrão

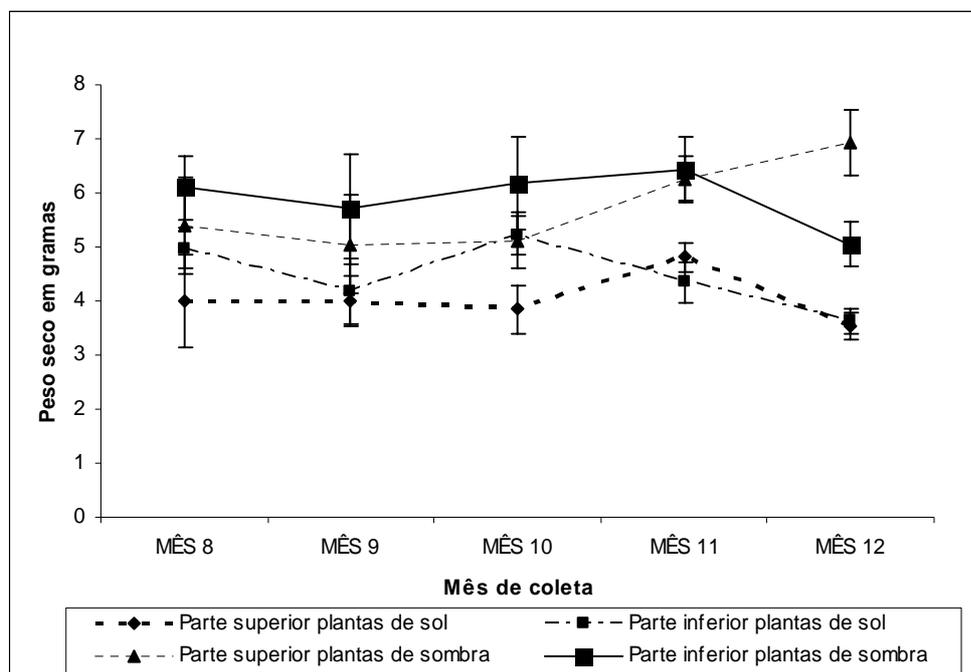


Figura 7 – Dados referentes à porcentagem de massa de matéria seca de 10 folhas (média de 8 plantas com 4,5 anos de idade) de *Coffea arabica* cv. Obatã expostas a pleno sol e sombreamento parcial durante agosto a dezembro de 2006, coletadas folhas da parte superior e da parte inferior de cada planta. Barras verticais representam o desvio padrão

Uma análise geral sobre o comportamento dos macros e micronutrientes em folhas do cafeeiro, revela que ocorreram variações sazonais dos elementos em função do ambiente e em função da posição da folha na planta. Com exceção do manganês onde houve uma evidente diferenciação entre plantas crescendo a pleno sol e com sombreamento natural, todos os demais elementos tiveram variações sazonais. Na literatura existem centenas de trabalhos sobre nutrição mineral do café abordando os mais diferentes aspectos. As análises realizadas durante os meses de agosto a dezembro nas folhas de cafeeiros crescendo sombreados e a pleno sol, foram realizadas para auxiliar nas interpretações dos resultados obtidos nas análises fisiológicas e bioquímicas, sem pretensão de ser um estudo exaustivo sobre o assunto. Assim será discutido o resultado das análises em função das variações bioquímicas e fisiológicas ao longo do ensaio.

Existe uma dinâmica fisiológica e bioquímica entre a assimilação, ciclagem e partição dos nutrientes, quer seja para armazenamento ou redistribuição, variações ambientais tais como níveis diferentes de irradiância, disponibilidade hídrica, variações de temperatura, entre outros fatores que afetam diretamente estes processos (CAMPANHA, 2001; ARRUDA; GRANDE, 2003; MARSCHNER, 1995 b).

Desta forma o requerimento por N no cafeeiro aumenta por ocasião da produção de grãos. Se não houver limitação no seu fornecimento o N irá estimular um rápido desenvolvimento de mais ramos plagiotrópicos, maior número de folhas, número de botões florais e mais flores por nó (DIERENDONCK, 1959). O teor de nutrientes nas folhas não é apenas função da fertilidade do solo, ou doses de fertilizantes utilizados, mas também é função da idade da folha, da planta, época de amostragem, clima, tratos culturais, disponibilidade hídricas entre outros. Durante o período amostral, podemos observar pela **Figura 8** que não houve diferenças significativas de uma forma geral entre as plantas de sol e sombreadas quanto ao teor de N.

Segundo os dados estatísticos apresentados na **Tabela 9** comprovamos que realmente os teores de N são maiores nas plantas de sol nas folhas localizadas na parte superior nos meses 8, 9 e 11, quando então tivemos a adubação nitrogenada do cafezal, quando comparadas com as folhas das plantas sombreadas também localizadas na parte superior onde observamos um aumento do teor de N somente nos meses 10 e 12. Analisando-se as folhas localizadas na parte inferior das plantas de sombra temos estatisticamente um aumento significativo no teor de N nos meses 10, 11 e 12 quando comparadas as folhas da parte inferior das plantas de sol que por sua vez demonstraram aumento significativo nos meses 8 e 9.

Após a adubação os teores de N se elevaram em todas as folhas observadas, exceto para as folhas da planta de sol parte inferior que se manteve inalterada ao longo do período de observação com pequenas oscilações.

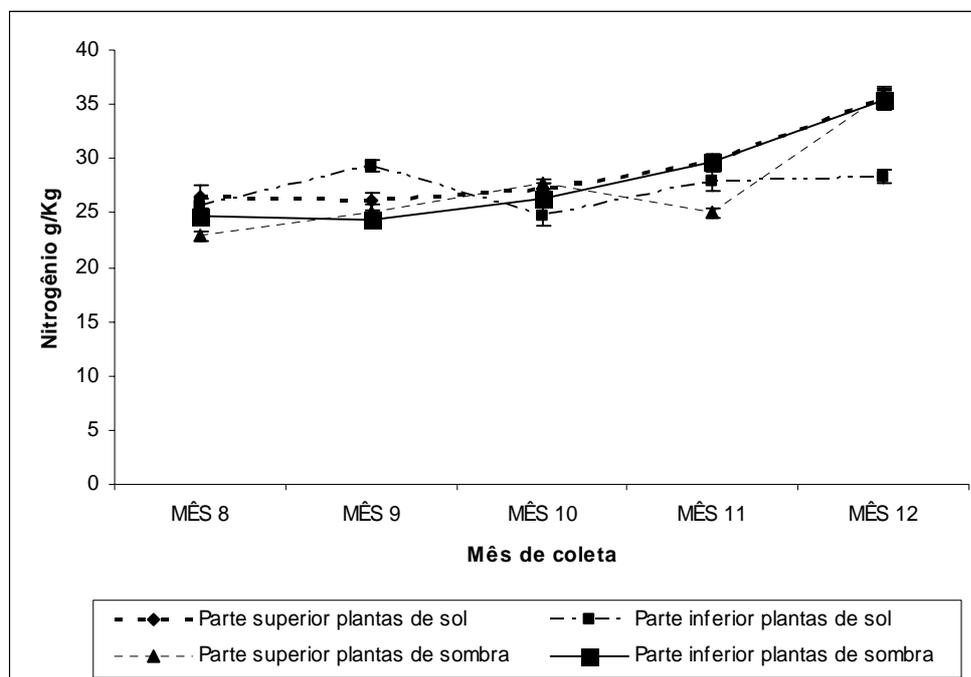


Figura 8 - Dados referentes aos teores de nitrogênio em folhas de *Coffea arabica* cv. Obatã (média de 8 plantas com 4,5 anos de idade) expostas a pleno sol e sombreamento parcial durante agosto a dezembro de 2006, coletadas folhas da parte superior e da parte inferior de cada planta. Barras verticais representam o desvio padrão

Diferente do nitrogênio e nitrato, enxofre e sulfato, e outros anions, o fósforo do fosfato não passa por trocas de valência em seus inúmeros papéis na planta. Possui várias funções importantes, segundo Frausto da Silva e Williams (1991), a saber: faz parte de nucleotídeos fosfato como o ATP, NADPH, participa de reações celulares envolvendo energia, modifica proteínas, é constituinte de lipídeos e proteínas de membrana entre outras. Segundo Chaves (1982), os teores de fósforo em folhas com frutos diminuíram linearmente em relação à época de amostragem. Catani e Moraes (1958) citados por Chaves, 1982, encontraram teores elevados de fósforo nas folhas na época de formação dos frutos, enquanto que Silva et al., 1975 citados por Chaves 1982, encontraram teores constantes de fósforo à medida do desenvolvimento dos frutos.

No caso do cafeeiro bem como acontece nas plantas lenhosas, à cultura exige teores relativamente pequenos deste nutriente tanto para o crescimento bem como para a formação dos frutos, sua absorção segue a mesma tendência observada no nitrogênio, sofrendo impactos de

aumento e diminuição de seu teor conforme as alterações climáticas e o período de desenvolvimento da cultura (MALAVOLTA et al., 1963 e 1977).

Nas folhas da parte inferior do cafeeiro verifica-se pela **Figura 9 (I)** que o fósforo teve um aumento gradativo quase dobrando em seus teores no final do período de coletas. Nas outras folhas analisadas não se observaram variações significativas durante o transcorrer do experimento.

Na **Tabela 10** observa-se que realmente as folhas de sombra localizadas na parte inferior apresentam aumento significativo nos valores dos teores de fósforo quando comparadas com as folhas expostas ao sol localizadas na parte inferior e parte superior. Embora observe se também uma diminuição estatisticamente significativa do teor de fósforo nas plantas sombreadas localizadas na parte superior quando comparada com as folhas expostas ao sol na mesma localização, nas plantas expostas ao sol observa se também uma diminuição estatisticamente significativa das localizadas na parte inferior nos meses 8, 9 e 10, já nas localizadas na parte superior não constatamos diferenças estatisticamente significativas.

O potássio não é um constituinte integral de qualquer metabólico, embora seja o constituinte mineral catiônico mais abundante na planta, esta presente no vacúolo como íon livre em altas concentrações, tendo assim um importante papel de regulação da pressão osmótica nas células. É ativador de mais de 60 enzimas, participa no transporte pela membrana de outros íons em co-transporte, abertura de estômatos entre outras. De acordo com Chaves (1982), que encontrou que em frutos de cafeeiro ocorre o dreno por nutrientes, sendo o potássio o de maior concentração (127,9 k/ha) seguido pelo nitrogênio (93,4 kg/ha), cálcio (10,19 kg/ha), magnésio (8,9 kg/ha) e fósforo (4,3 kg/ha). Pereira (1999) observa que existe uma correlação positiva entre o teor de potássio na folha e seu conteúdo de amido, de forma que ao baixar o nível de K a produção de amido diminui, e ocorre uma redução de tamanho na planta. Também Catani et al. (1967) citados por Chaves (1982), encontraram pouca variação na concentração do elemento durante o desenvolvimento e maturação dos frutos do cafeeiro. Chaves (1982) encontrou que o teor de K foi mais elevado e variou pouco nas folhas de ramos com frutos. Lima e Malavolta (2003) determinaram em cafés que o K de reserva comparado ao N de reserva foi utilizado em maior proporção pelos frutos e demais órgãos da planta. A exportação pelos órgãos de reserva foi ao redor de 52% pelas folhas, 20% pelos ramos e gemas, e 21% pelas raízes.

Segundo as observações de Malavolta et al., (1963, 1977) este elemento afeta a formação de amido, nas folhas e na sua translocação, outros autores verificaram uma relação

positiva entre o teor de potássio e a quantidade de amido sendo que ao diminuir se o teor de potássio temos uma diminuição na produção de amido em conseqüências ocorre a diminuição do desenvolvimento (pouca formação de ramos e novas folhas) das plantas com posterior queda das colheitas (COOIL et al., 1951; COOIL & NAKAYAMA, 1953).

Como se pode avaliar pela **Figura 9 (II)**, o potássio teve aumento gradativo em sua assimilação nas plantas de sombra, e se manteve mais ou menos constante nas plantas de sol, não ocorrendo o dreno de potássio pelo fruto, o que pode ocorrer mais tarde em sua gênese.

Este aumento gradativo dos teores de potássio ocorreram conforme observa se na **Tabela 11**, ele foi estatisticamente significativo nas folhas sombreadas localizadas na parte inferior nos meses 8, 10, 11 e 12 quando comparadas com as plantas de sol localizadas na parte superior e inferior, e com as folhas sombreadas localizadas na parte superior. Embora as folhas das plantas sombreadas localizadas na parte superior demonstrem um aumento estatisticamente significativo no decorrer do experimento nos meses 9, 10, 11 e 12 quando comparadas com as plantas expostas ao sol localizadas também na parte superior.

O cálcio é essencial para a integridade da membrana plasmática das células, e também tem papel importante na conversão de sinais vindos do ambiente. Quase sem exceção estresses abióticos e bióticos causam aumento na concentração de cálcio no citoplasma. O cálcio liga-se á proteína calmodulina, e a organelas celulares. Tem função na abertura do estômato e interage com o potássio nas relações osmóticas das células (EPSTEIN; BLOOM, 2006). Catani e Moraes (1958), citados por Chaves (1982), verificaram teores de cálcio foram mais elevados no período inicial de formação de frutos. Chaves (1982) relatou que nas folhas de ramos com frutos, os teores de cálcio foram mais baixos nos estádios iniciais de crescimento dos frutos, e Silva e Souza et al. (1975) citados por Chaves (1982), relataram teores de cálcio com crescimento lento no decorrer da estação.

Malavolta et al. (1963) cita que de acordo com dados não publicados pela equipe do IBEC Research Institute observam que em cafeeiros cultivados no Paraná o pH do solo pode influir neste elemento uma vez que o cálcio é normalmente a base dominante no complexo coloidal do solo sendo sua exigência pelo cafeeiro muito pequena, não é muito provável o aparecimento de sua deficiência em condições de campo, entretanto quando o pH do solo esta na faixa de 5,1 a 6,0 observa-se que os cafezais demonstram uma produtividade mediana.

O cálcio também durante o período das análises do experimento não teve variações significativas (**Figura 9 - III**), mantendo-se nos mesmos teores relativos do início ao fim do experimento.

Estatisticamente observamos que o resultado é praticamente o inverso do resultado do teor de potássio. A **Tabela 12** mostra que agora são as plantas de sol que apresentam maior teor de cálcio nas folhas independente da localização em relação aos valores apresentados nas folhas que estão em condições de sombreamento. Contudo nas plantas em ambiente sombreado pode se observar aumento significativo do teor de cálcio nas folhas localizadas na parte inferior nos meses 8, 11 e 12 quando comparadas com as folhas localizadas na parte inferior das plantas de sol, entretanto estatisticamente não se observaram diferenças significativas nas plantas de sol em sua parte superior. Ainda constatamos que embora de uma maneira geral as plantas de sol tenham apresentado os maiores teores de cálcio, quando analisamos pontualmente as folhas localizadas na parte inferior destas plantas, identificamos uma diminuição significativa do teor de cálcio nos meses 11 e 12, confirmando se que de uma forma geral ocorreu um aumento significativo dentre as plantas localizadas nos diferentes ambientes e nas diferentes partes da planta.

O magnésio é componente essencial da molécula de clorofila, e tem ligações com o ATP, na ativação de inúmeras enzimas como ATPases, enzimas do Ciclo de Calvin entre outras. (EPSTEIN; BLOOM, 2006). Em nossas análises, podemos verificar pela **Figura 9 (IV)**, que o teor de magnésio decresceu significativamente nas folhas na parte superior do início ao final do experimento. Embora tenha ocorrido um ligeiro decréscimo na concentração de clorofila pelo método SPAD, o teor de clorofila total aumentou somente a partir do mês 11 em todas as folhas (**Figura 16 - I e II**), não sendo a concentração de clorofila (dreno de Mg) afetada pelo teor de magnésio no período analisado. Silva e Souza et al. (1975) citados por Chaves (1982), constataram que os teores de magnésio subiram constantemente nas folhas com frutos, parecendo não ter havido redistribuição desse nutriente para os frutos. Já Catani e Moraes (1958) citados por Chaves (1982), verificaram que a concentração de magnésio nas folhas foi mais baixa no período de maturação dos frutos do que na época de início de formação dos mesmos. Malavolta et al. (2002), encontraram que as flores extraíram 52% mais magnésio que outras partes da planta, na antese da primeira fase reprodutiva do cafeeiro.

Segundo a **Tabela 13**, houve um aumento significativo do teor de magnésio nas plantas expostas ao sol localizadas na parte superior nos meses 8, 11 e 12 e quando localizadas na parte

inferior no mês 11 em comparação as plantas sombreadas. Ainda podemos observar que nas folhas localizadas na parte superior das plantas sombreadas os teores de magnésio diminuíram significativamente nos meses 9 e 10 quando comparadas com sua parte inferior, e nestas mesmas folhas (sombreada parte inferior) também ocorre uma diminuição drástica dos teores de magnésio nos meses 8, 9 e 10 quando comparadas com as plantas de sol.

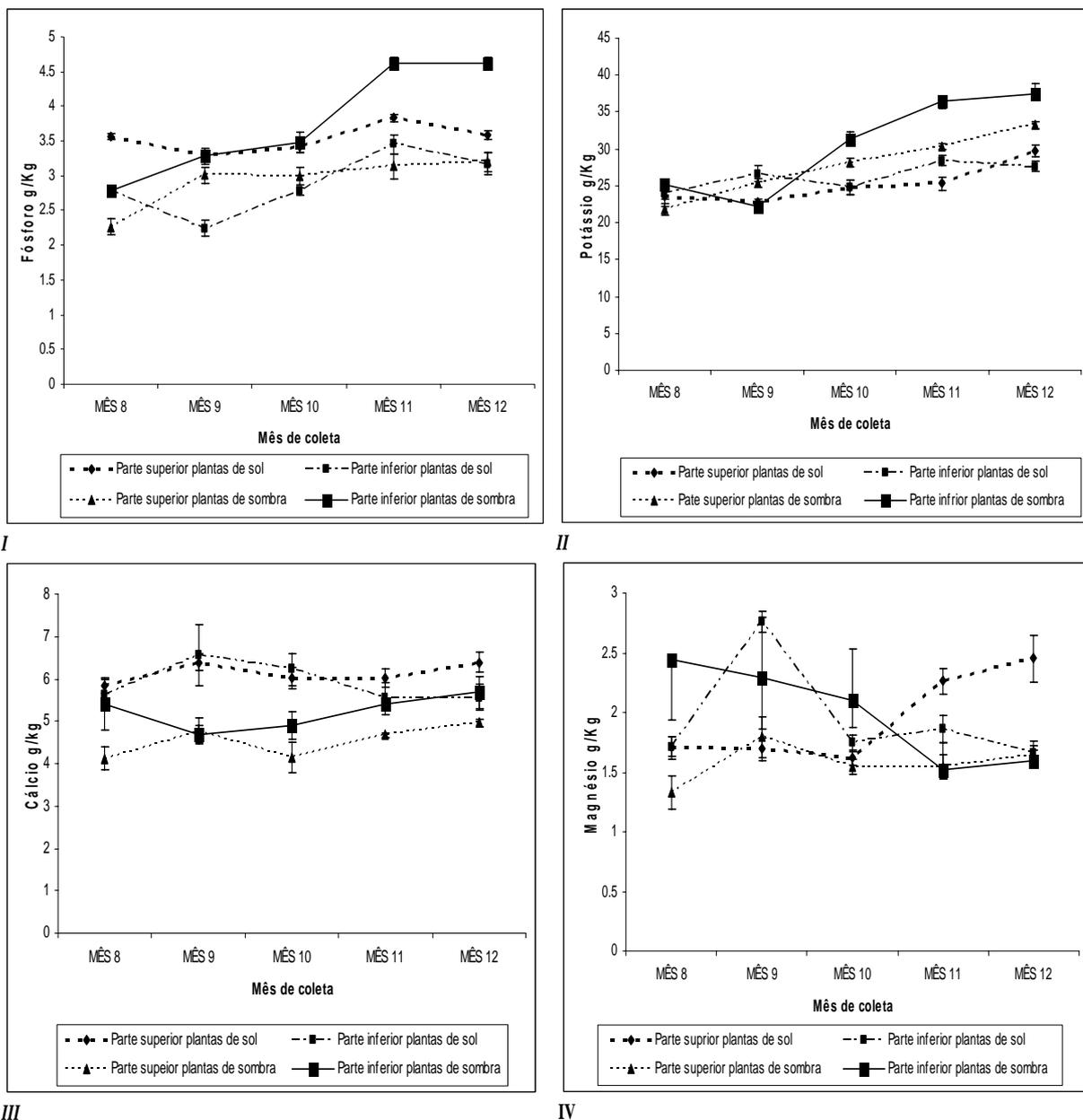


Figura 9 – Dados referentes aos teores de fósforo (I), potássio (II), cálcio (III) e magnésio (IV) em folhas de *Coffea arabica* cv. Obatã (média de 8 plantas com 4,5 anos de idade) expostas a pleno sol e sombreamento parcial durante agosto a dezembro de 2006, coletadas folhas da parte superior e da parte inferior de cada planta. Barras verticais representam o desvio padrão

Todos os micronutrientes também são considerados essenciais para o pleno desenvolvimento das plantas, atuando em processos enzimáticos, alguns fazem parte da estrutura de algumas enzimas, como o zinco, sendo que a maioria deles é um cofator da ação de inúmeras enzimas (Malavolta et al., 1989).

O cobre embora tóxico para as plantas nas formas iônicas, se encontra sempre na forma de complexos. Quando em excesso, liga-se às fitoquelatinas que atuam como atenuantes de seu efeito tóxico. O elemento atua como transportador de elétrons, sendo parte integrante de várias proteínas e enzimas. A maior parte do cobre esta associada com a plastocianina, doador de elétrons para o fotossistema I, e também com a superóxido dismutase. (EPSTEIN; BLOOM, 2006). As análises de cobre nas folhas do cafeeiro (**Figura 10 - I**), não mostraram diferenças significativas entre as amostragens de agosto a dezembro tendo pequenas oscilações no período, e uma oscilação acentuada nas folhas da parte superior da planta a pleno sol. As plantas de sombra em geral tiveram menores teores de cobre que as plantas a pleno sol. Nas folhas na parte inferior de sombra os teores diminuíram ao longo do período de amostragem. Nas plantas de sol, as folhas tiveram teores maiores no início do período de observação, decrescendo no mês 9, e se elevando nos meses 10 e 11, diminuindo no final do período. Também Chaves (1982), encontrou variação semelhante de cobre nas folhas do cafeeiro.

Embora os teores de cobre tenham sofrido muitas oscilações e sendo que seus valores não foram muito elevados, na **Tabela 14** observamos que os teores de cobre das folhas nas plantas sob o sol localizadas na parte superior, são significativamente maiores em relação aos teores obtidos nas folhas sob sombreamento. Observando-se as plantas sombreadas notamos que ocorre uma queda significativa do teor de cobre nas folhas localizadas na parte superior e inferior do mês 8 ao 10. Contudo ocorre um leve aumento significativo no teor de cobre na parte superior e inferior das plantas de sol nos meses 9, 10 e 11.

Já o Ferro como elemento micronutriente, é encontrado também na forma de complexos. As plantas estocam ferro como ferritina que encapsula o ferro férrico. Duas classes de proteínas contem ferro em plantas: as heme proteínas e as proteínas ferro enxofre. Também o elemento é parte integral de varias proteínas e ativador de enzimas. O elemento é muito importante na transferência de elétrons pela cadeia transportadora de elétrons e fosforilação oxidativa e no fotossistema I (citocromos e ferredoxina) (EPSTEIN; BLOOM, 2006). Também com relação ao Ferro não se verificaram variações significativas nas folhas analisadas (**Figura 10 - II**), com

exceção da parte superior das plantas de sombra que assimilaram de forma crescente o ferro até o final do período de análise. Infelizmente não houve possibilidade para se continuar as análises até o final do ciclo completo do cafeeiro ou seja, até a colheita dos grãos.

Na **Tabela 15** observamos que as plantas de sol parte superior apresentam um aumento significativo no teor de ferro nos meses 8, 9, 10 e 11 quando comparadas com as plantas sombreadas parte superior, e as folhas das plantas sombreadas localizadas na parte inferior apresentam um aumento estatisticamente significativo nos meses 8, 9, 11 e 12 quando comparadas com as folhas de sol localizadas na parte inferior.

O manganês é parte do fotossistema II, auxiliando na fotólise da água e transferência de elétrons para a clorofila. Também é constituinte integral da proteína superóxido dismutase, que tem função antioxidante. O manganês ativa também inúmeras outras enzimas (EPSTEIN; BLOOM, 2006). Em nosso experimento de campo (**Figura 10 – III**), o manganês nas folhas de sol teve uma absorção crescente e gradativa até o mês 11, quando por ocasião do enchimento dos grãos, começou a ser drenado da folha. No entanto nas folhas de sombra não houve variação significativa no teor do íon na folha, que se manteve a uma taxa ao redor de 5 vezes menor que nas folhas de sol, durante todo o período de análise. Segundo Chaves (1982) os teores de manganês em folhas de ramos com frutos decresceram até o início de aparecimento do chumbinho, crescendo após esta fase. Silva e Souza et al. (1975) observaram uma tendência crescente nos teores de manganês a medida do crescimento dos frutos.

Segundo Malavolta et al. (1963, 1977), as deficiências deste elemento nas plantações parecem estar relacionadas principalmente com o pH alcalino do solo ou quando existe um teor muito alto de matéria orgânica.

Na **Tabela 16** têm-se os resultados das análises estatísticas do teor de manganês, sendo que nas plantas de sol parte superior e inferior notamos um aumento significativo nos meses 8, 9, 10 e 11 quando comparadas às plantas sombreadas que praticamente apresentaram teores extremamente baixos e quase que homogêneos entre sua parte superior e inferior.

Segundo Malavolta et al. (1963, 1977) as carências reais de zinco são observadas principalmente em solos ácidos, o que corrobora com os dados da **Tabela 2 e 3**. Diferente de outros metais o zinco não tem atividade redox. Mais de oitenta enzimas ativadas por zinco foram relatadas, dentre elas algumas que atuam na transcrição do DNA. Deficiência de zinco interfere severamente no crescimento da planta. Assim como o cobre que teve nas plantas de sol parte

superior iniciando o período de análise com elevado teor, decaindo logo em seguida, o zinco teve um aumento de cerca de 3 vezes no mês 10 nestas plantas, decaindo em seguida, e voltando a crescer de maneira significativa no mês 12 para as plantas de sol (**Tabela 17**). Estes eventos não puderam ser explicados com clareza, necessitando-se mais análises para se explicar o fenômeno ocorrido, e correlacioná-lo com algum evento fisiológico ou bioquímico (**Figura 10 - IV**) de relevância. Chaves (1982) e Silva e Souza et al. (1975), encontraram que os teores de zinco tiveram um decréscimo até o aparecimento do chumbinho, após esta fase houve um aumento até os 172 dias do ciclo, diminuindo posteriormente até a colheita dos frutos.

Conforme podemos observar na **Tabela 17** estatisticamente ocorrem diferenças entre o teor de zinco nas folhas localizadas na parte superior e inferior das plantas que estão no ambiente de sol durante os meses 10, 11 e 12, nas plantas sombreadas nas folhas localizadas na parte superior embora ocorra uma pequena diminuição no teor de zinco esta queda não é estatisticamente significativa, o mesmo ocorrendo com as folhas localizadas em sua parte inferior exceto no mês 11 que demonstra uma diminuição do teor de zinco estatisticamente diferente.

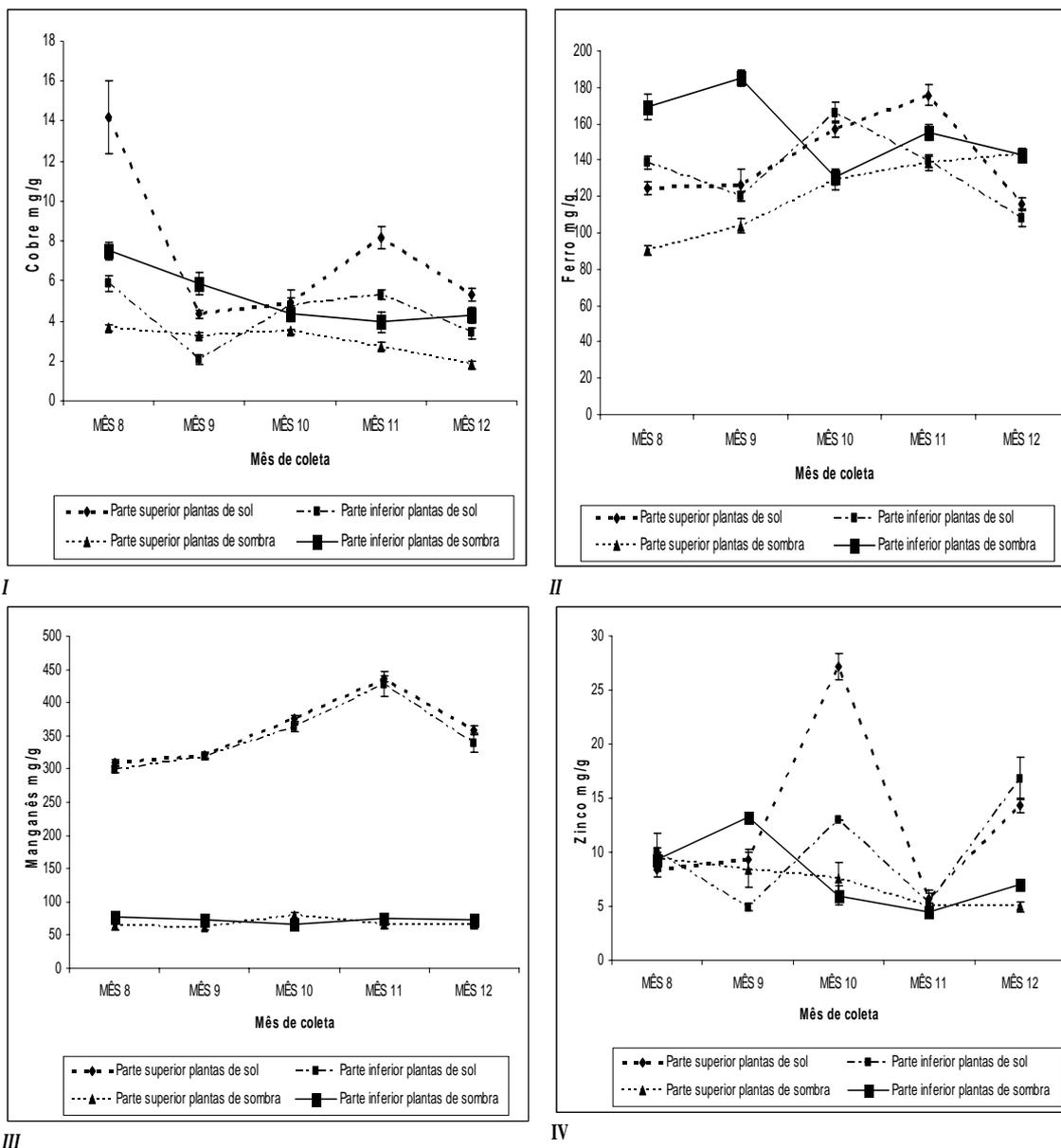


Figura 10 – Dados referentes aos teores de cobre (I), ferro (II), manganês (III) e zinco (IV) em folhas de *Coffea arabica* cv. Obatã (média de 8 plantas com 4,5 anos de idade) expostas a pleno sol e sombreamento parcial durante agosto a dezembro de 2006, coletadas folhas da parte superior e da parte inferior de cada planta. Barras verticais representam o desvio padrão

4.3 Cafeeiro sombreado x cafeeiro a pleno sol: análises bioquímicas – porcentagem de proteína total solúvel, porcentagem de aminoácidos totais, porcentagem de amido, porcentagem de açúcares redutores, atividade da redutase do nitrato e quantificação de pigmentos

Durante o mês de julho as plantas de café foram submetidas à colheita manual dos frutos secos produzidos na estação anterior. Em agosto as plantas se apresentaram visivelmente estressadas. A partir de setembro se acelerou o processo de formação de gemas floríferas e ramíferas e se iniciou a emissão brotos foliares, em outubro a disponibilidade hídrica sofreu um leve aumento (**Tabela 6**) propiciando o início da floração e os primeiros sinais dos chumbinhos e alguns pequenos grãos (**Figura 18**). No mês de novembro o aumento da disponibilidade hídrica e a temperatura que permitem que as plantas do nosso experimento acelerem seu período de floração e formação dos frutos conforme podemos visualizar na **Figura 19**, finalmente em dezembro as plantas já possuíam frutos em bom estágio de desenvolvimento, (**Figura 20**), passando neste momento a condição de dreno preferencial e desta forma se mostrando apto a promover um direcionamento e redistribuição das reservas de proteínas, aminoácidos, amido, e açúcares (CAMARGO; CAMARGO, 2001; TAIZ; ZEIGER, 2004; MALAVOLTA et al., 2002).

O aumento nas taxas de clorofila total extraída, nos teores de açúcares redutores, massa de matéria seca observados no período, estão diretamente correlacionados com o início do ciclo reprodutivo do cafeeiro (agosto a dezembro) (Da MATTA et al., 1999; CAMARGO; CAMARGO, 2001), período onde ocorre aumento na radiação global, precipitação e temperaturas medias em torno de 25 °C e aumento da umidade relativa o que favorece uma maior transpiração e a abertura dos estômatos, com maior assimilação de carbono pela Rubisco, maior assimilação de nutriente pelas raízes, levando ao aumento na produção de grãos (LAWLOR, 2002).

As proteínas são consideradas um dos fatores vitais para as plantas, pois influenciam seu crescimento e posterior desenvolvimento/frutificação. No início de nossas observações, as plantas estavam se recuperando do stress pós colheita, passando a ter novamente as folhas como dreno preferencial, desta forma podemos observar na **Figura 11**, que inicialmente a porcentagem de proteína total solúvel demonstra um leve aumento do mês 8 para o 9, sendo que as plantas de sol possuem um teor levemente maior quando comparadas as de sombra, entretanto nas folhas em ambos os ambientes, pode-se observar que houve um decréscimo muito significativo a partir do

mês 10, indicando um grande fluxo de proteínas (nas formas de aminoácidos) das folhas para o enchimento inicial dos grãos. Tal queda deve ter ocorrido em função da hidrólise protéica que ocorreu nas proteínas de reserva da folhas, para o enchimento dos grãos. Tal fato pode ser comprovado pelo aumento também significativo nos dois ambientes nos teores de aminoácidos totais a partir do mês 11 (**Figura 12**).

Na **Tabela 18** podemos observar que as porcentagens de proteína total solúvel nas folhas das plantas de sol parte superior demonstraram um aumento estatisticamente significativo quando comparadas com as folhas das plantas de sombra parte superior exceto no mês 8, ocorrendo o mesmo comportamento na parte inferior das plantas de sol quando comparadas com as plantas de sol parte inferior com exceção do mês 10, contudo não apresentando diferenças estatisticamente significativas quando comparadas as folhas da parte superior com a parte inferior nos dois ambientes (sol e sombreado).

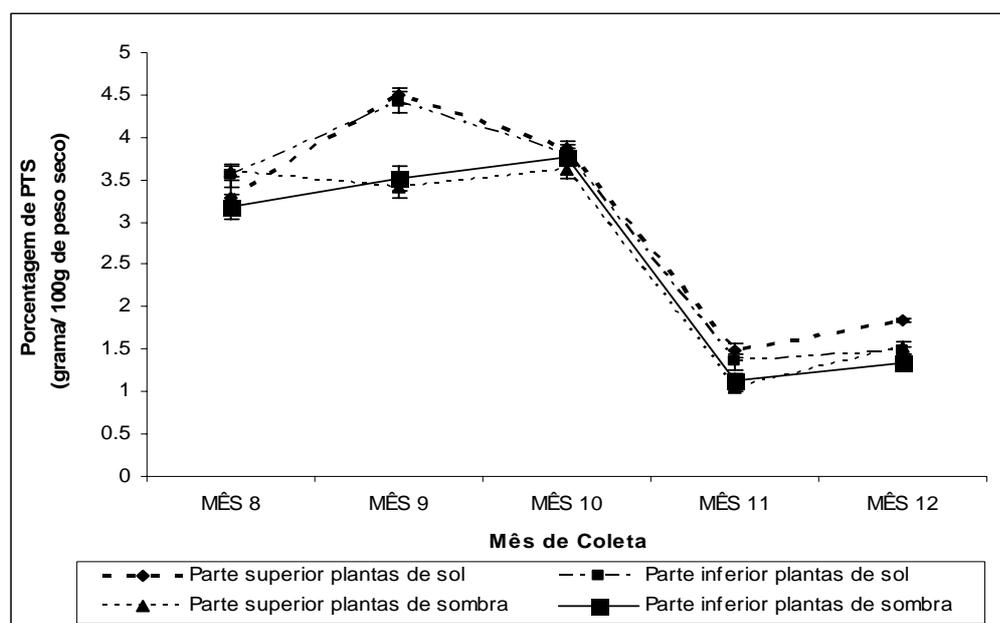


Figura 11 - Dados referentes á porcentagem de proteína total solúvel em folhas de *Coffea arabica* cv. Obatã (média de 8 plantas com 4,5 anos de idade) expostas a pleno sol e sombreamento parcial durante agosto a dezembro de 2006, coletadas folhas da parte superior e da parte inferior de cada planta. Barras verticais representam o desvio padrão

Em cafeeiro Da Matta et al. (1999), também observaram aumento nos teores de aminoácidos totais nas folhas no período de enchimento dos grãos, vindo a diminuir após a maturação dos mesmos. Também encontraram maior atividade da redutase do nitrato em raízes, sendo que nas folhas houve um aumento gradativo da enzima de agosto a dezembro, sendo esta maior em plantas que receberam adubação nítrica.

Uma vez que as proteínas são constituídas da combinação de diferentes aminoácidos, podemos observar e correlacionar que tanto o fornecimento de nitrogênio como a sua redistribuição são processos intimamente dependentes, que afetam diretamente a produção dos aminoácidos, na **Figura 12** observamos que durante o período do nosso experimento, inicialmente nos meses 8 e 9 não temos diferenças significativas nos teores de aminoácidos nas plantas submetidas ao sol e ao sombreamento parcial, no mês 10 verifica-se um leve aumento em ambas as condições, sendo que somente no mês 11 período em que as plantas sofrem uma adubação nitrogenada percebemos uma melhor resposta das plantas de sol, entretanto no mês 12 com exceção das plantas de sol parte inferior as demais indicam um aumento significativo no teor de aminoácidos podendo ser uma resposta fisiológica e bioquímica dos efeitos causados pelo fornecimento de nitrogênio extra através da adubação.

Estatisticamente observa-se na **Tabela 19** que as folhas das plantas de sol localizadas na parte superior apresentam um aumento significativo da porcentagem de aminoácidos totais no mês 11 e 12 quando comparadas com sua parte inferior que com exceção do mês 12 sofre uma diminuição significativa, já nas plantas sombreadas podemos observar que ocorre aumento significativo da porcentagem de aminoácidos no mês 12 tanto na parte superior como inferior.

Os resultados obtidos sugerem que em cafeeiro Arábica, uma adubação nitrogenada deve ser feita entre outubro e novembro uma vez que existe uma forte correlação entre o metabolismo no nitrogênio e o de carboidratos, o que leva como consequência a um aumento na produtividade (Hikosaka; Teroshima, 1995).

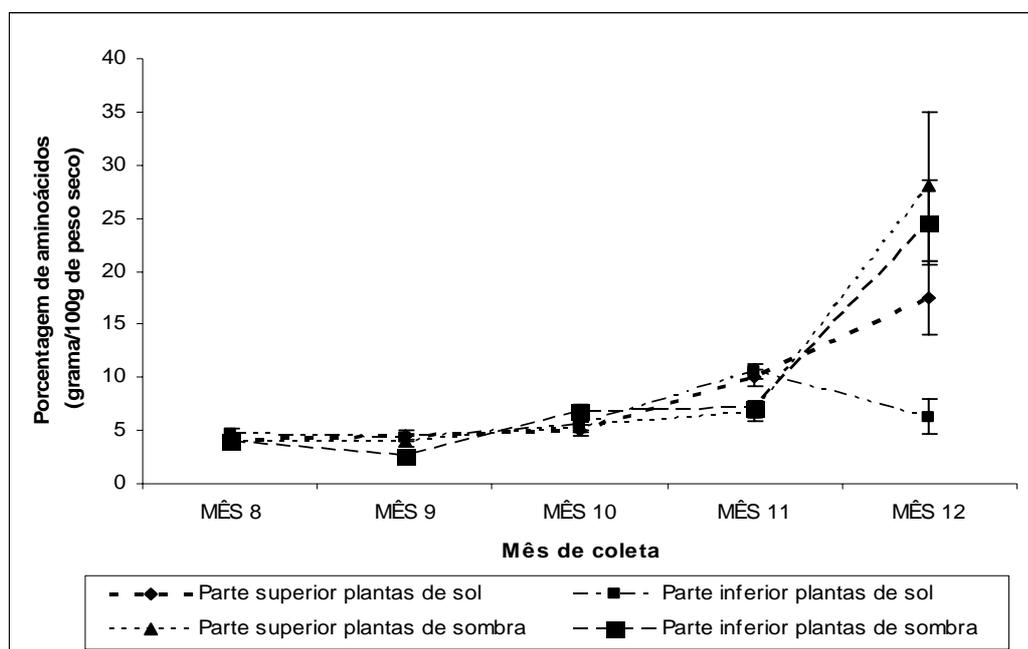


Figura 12 - Dados referentes à porcentagem de aminoácidos totais em folhas de *Coffea arabica* cv. Obatã (média de 8 plantas com 4,5 anos de idade) expostas a pleno sol e sombreamento parcial durante agosto a dezembro de 2006, coletadas folhas da parte superior e da parte inferior de cada planta. Barras verticais representam o desvio padrão

Segundo Barros e Maestri (1972), tanto o teor de amido das folhas bem como do caule atingiriam níveis máximos na época em que o cafeeiro estaria passando por um período de baixo crescimento vegetativo, observando-se que na fase posterior quando ocorreria o rápido crescimento e em seguida a formação dos frutos estes teores tenderiam a diminuir drasticamente chegando aos níveis mínimos quando ocorresse crescimento e taxas fotossintéticas reduzidas podendo ser este fato relacionado às elevações das temperaturas.

As análises dos cafeeiros se iniciaram no mês de agosto logo após a colheita dos grãos de café, sendo obtidos índices semelhantes de teores de amido entre as plantas submetidas ao sombreamento parcial e a pleno sol tanto na parte superior como inferior destas.

A partir do mês 10 tivemos um aumento nos níveis de amido até o mês 11, vindo a decrescer estes teores em todos os tratamentos, apesar do decréscimo as porcentagens observadas nas plantas de sol parte superior e inferior se mantiveram estáveis (**Figura 13**).

Na **Tabela 20** podemos observar com relação à porcentagem de amido, um aumento estatisticamente significativo nas plantas de sombra em sua parte superior nos meses 10 e 11 quando comparadas com a parte superior das plantas expostas ao sol, sendo que no mês 12 esta porcentagem diminui significativamente nas plantas sombreadas comparadas com as plantas de sol. Em contrapartida nas folhas localizadas na parte inferior das plantas de sol observamos um aumento significativo nos meses 9 e 12 comparando as com as plantas de sombra, e no mês 11 ocorreu uma diminuição significativa do teor de amido nas plantas expostas ao sol em ambas as folhas quando comparadas com as plantas sombreadas.

Após o período de colheita dos grãos, a planta se encontrava sob estresse fisiológico e bioquímico, com baixas reservas de carboidratos (**Figura 14**). No mês 8, os teores de açúcares redutores demonstram este fato. Entretanto a partir do mês 9, houve uma intensa síntese de açúcares redutores em todos os tratamentos, aumentando em duas a três vezes sua concentração na folha. No mês 10 estes açúcares foram transformados em amido (**Figura 13**) e parte deles foram translocados para o enchimento dos grãos de acordo com Perilleux e Bernier (1996).

Observando se a **Tabela 21** verificamos que folhas localizadas na parte superior das plantas de sol apresentam menor porcentagem de açúcares redutores nos meses 8 e 9 em relação às folhas sombreadas desta mesma localização, entretanto no mês 11 observamos uma relação contrária ou seja o teor é significativamente maior na parte superior das plantas de sol. Analisando se as folhas localizadas na parte inferior das plantas é possível constatar um aumento significativo da porcentagem de açúcar redutor nos meses 9 e 10, e uma súbita queda no mês 12 nas plantas sombreadas em comparação com as plantas de sol.

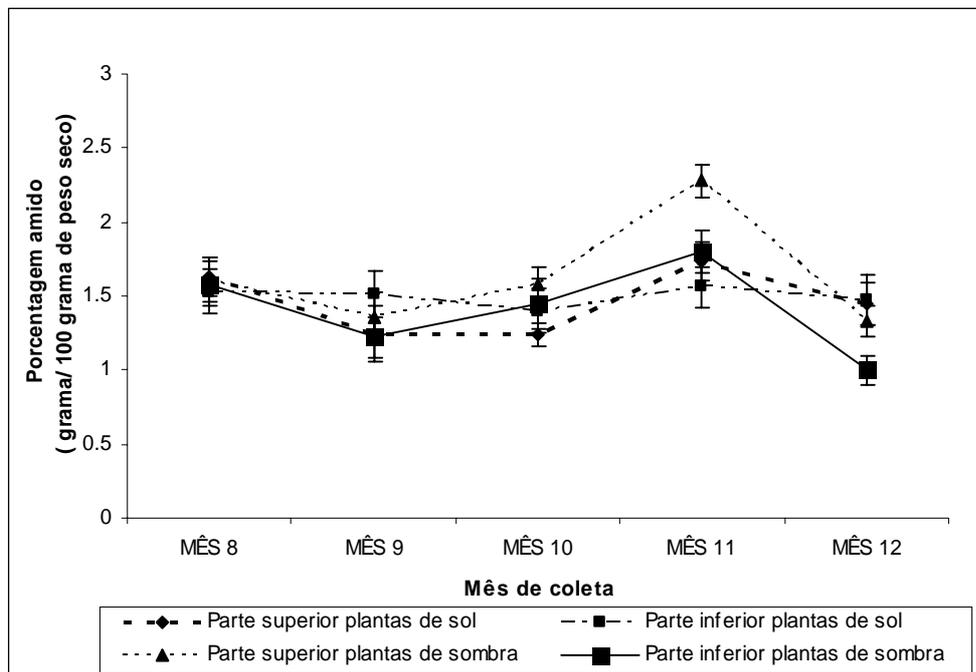


Figura 13 - Dados referentes à porcentagem de amido em folhas de *Coffea arabica* cv. Obatã (média de 8 plantas com 4,5 anos de idade) expostas a pleno sol e sombreamento parcial durante agosto a dezembro de 2006, coletadas folhas da parte superior e da parte inferior de cada planta. Barras verticais representam o desvio padrão

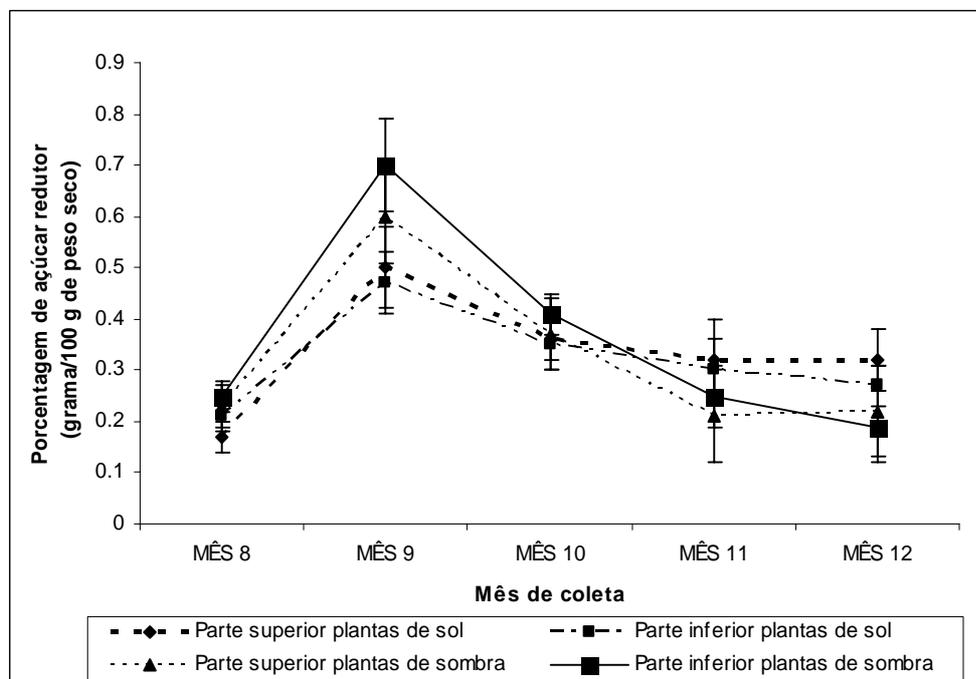


Figura 14 - Dados referentes à porcentagem de açúcares redutores em folhas de *Coffea arabica* cv. Obatã (média de 8 plantas com 4,5 anos de idade) expostas a pleno sol e sombreamento parcial durante agosto a dezembro de 2006, coletadas folhas da parte superior e da parte inferior de cada planta. Barras verticais representam o desvio padrão

Com relação aos aminoácidos totais solúveis e á redutase do nitrato, pode-se observar pela **Figura 12** que houve no período examinado, um aumento significativo no teor de aminoácidos totais e na atividade da redutase do nitrato (**Figura 15**), logo após a adubação nitrogenada, embora os teores de nitrogênio foliar tenham aumentado pouco a partir da adubação (**Figura 8**).

Em geral se aceita que a distribuição da redução do nitrato entre raízes e folhas, depende da habilidade das raízes em exportarem o nitrato (RADIN, 1974). Esta afirmação foi corroborada por nossas análises, pois após a adubação nitrogenada, houve um aumento nos teores de aminoácidos totais e na atividade da redutase do nitrato nas folhas. Carelli et al. (1991) encontraram alta atividade da NR nas raízes de plantas á sombra e alta atividade nas folhas a pleno sol. Também nas folhas a atividade da redutase do nitrato foi correlacionada com a assimilação de carbono. Sob sombreamento a assimilação de C e N foi limitada de maneira similar (CARELLI et al, 1990). Fahl et al. (1994); Ramalho et al. (2000), observaram também um aumento nos teores de N resultaram no aumento de mecanismos fotoprotetores, devido á melhoria da assimilação de carbono (Da MATTA et al., 2002).

A maior atividade da redutase do nitrato que ocorreu também logo após a adubação, refletiu em uma maior assimilação do nitrogênio sendo este dirigido para a biossíntese de aminoácidos que foram translocados ate o órgão dreno (fruto) em formação (**Figura 15**).

Para a atividade da redutase do nitrato na **Tabela 22** observa se que ocorreu uma queda significativa nas plantas de sol localizadas na parte superior nos meses 8 e 10 comparando as com as plantas sombreadas, quando observamos as folhas das plantas de sol localizadas na parte inferior verificamos que ocorreu uma redução significativa da atividade da enzima durante os meses 8, 9, 10 e 11. A atividade foi igual no mês 12 (período do início do enchimento dos frutos) tanto nas folhas expostas ao sol como sob sombreamento na parte superior e inferior, mas significativamente maior que em relação ao mês 11.

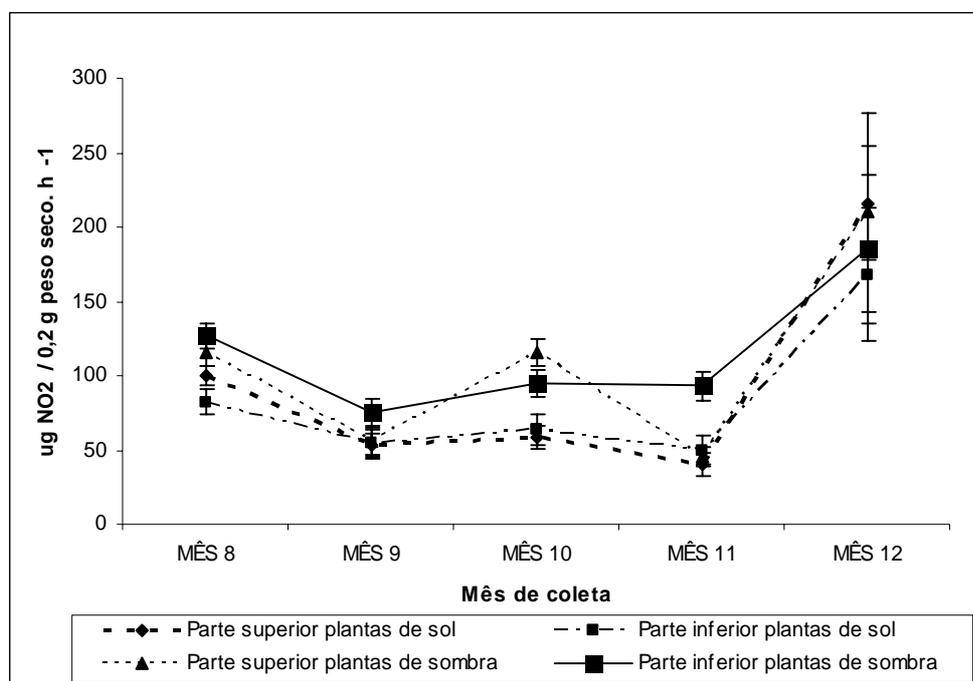


Figura 15 - Atividade da redutase do nitrato em folhas frescas de *Coffea arabica* cv. Obatã (media de 8 plantas com 4,5 anos de idade) expostas a pleno sol e sombreamento parcial durante agosto a dezembro de 2006, coletadas folhas da parte superior e da parte inferior de cada planta. Barras verticais representam o desvio padrão

Também em nossas análises pode-se verificar esta correlação, pois de acordo com a **Figura 16 - II**, houve um aumento nas taxas de clorofila após o mês 11, á maneira semelhante ao incremento da atividade da NR no mesmo período (**Figura 15**), o que também observado por Da Matta et al. (1999). De acordo com Carelli et al. (1989), estes resultados indicam que a assimilação diferencial de nitrato associado com as fases fenológicas do cafeeiro, pode ser um fator importante na regulação da NR em folhas, durante o ciclo anual da planta, independente das variações estacionais e ambientais. De acordo com Queiroz (1986) em cafeeiro cultivados em solução nutritiva, e Netto (2005), em cafeeiro jovens em vasos, ocorreu variação diária na atividade da redutase do nitrato, que decresceu em atividade durante o período luminoso, e teve um aumento na atividade no período noturno. Estas observações serviram de base para se estabelecer que, para se fazerem correlações da NR com outros fatores fisiológicos e bioquímicos

e ambientais, deve-se ter a preocupação com o horário de análise da enzima, devido às oscilações diárias em sua atividade.

Já com relação à assimilação do carbono, a análise de clorofila pelo método SPAD (**Figura 16 – I**) verifica-se uma ligeira diminuição nos teores de clorofila em todas as folhas após o mês 10. Entretanto segundo a análise de clorofila total pelo método extrativo (**Figura 16 – II, III e IV**), se observa que a fotossíntese total foi crescente no período, talvez também como resultado do aumento dos dias de chuva no período, maior precipitação e ligeiro aumento de temperatura (5 °C). Com o aumento do fotoperíodo e maior disponibilidade de água, houve uma maior assimilação do nitrogênio, o que proporcionou um ganho maior de peso seco, e maior síntese de clorofila, aumento este que foi significativamente maior a partir do mês 11 (**Figura 16 – II**). Esta resposta era esperada, pois houve uma adubação nitrogenada no mês 11, embora este N suplementar não tenha sido detectado pelo método do SPAD (**Figura 16 - I**). Em experimentos realizados com diversas culturas, ficou demonstrado que existe correlação positiva entre os teores foliares de clorofila e o N absorvido pelas plantas quando se emprega o clorofilômetro portátil SPAD (SHADCHINA;DMITRIEVA, 1995; NETTO et al., 2002; NEVES et al., 2005; GUIMARÃES et al., 1999; GIL et al., 2002; REIS et al., 2006). ARGENTA et al., 2001) estabeleceram uma correlação entre as leituras do clorofilômetro com a concentração de clorofila extraível e com a concentração de N na folha.

Na **Tabela 23** temos os resultados das análises estatísticas relativas à quantidade de clorofila total lida através do uso do SPAD, esta é significativamente maior nas folhas das plantas expostas ao sol em relação às sob sombreamento quando localizadas na parte superior durante os meses 9, 10 e 11. Já nas folhas localizadas na parte inferior as plantas de sol apresentam atividade significativamente maior nos meses 10 e 11 quando comparadas com as plantas sombreadas.

Podemos observar também a **Tabela 24** à quantidade de clorofila total pelo método extrativo, as folhas das plantas sob o sol são significativamente menores do que as sob sombreamento no mês 8, observou-se também que de uma maneira geral tanto nas folhas localizadas na parte superior como na inferior nos dois ambientes (sol e sombreado) a quantidade de clorofila total aumenta significativamente a partir do mês 9. Nas folhas expostas ao sol parte superior pode-se ocorrer diferenças significativas na quantidade de clorofilas nos meses 9, 10 e 12 quando comparadas às plantas sombreadas, já na parte inferior das folhas das plantas expostas ao

sol, observamos um aumento significativo nos meses 11 e 12 quando comparadas às plantas sombreadas.

Com relação à quantidade de clorofila *a*, na **Tabela 25**, observou-se que nas folhas na parte superior das plantas expostas ao sol possuem quantidade significativamente menor nos meses 8 e 9 em relação às sob sombreamento, já para as folhas localizadas na parte inferior das plantas exposta ao sol apresentam quantidades significativamente maiores do que as sob sombreamento nos meses 11 e 12.

Já com relação à quantidade de clorofila *b* na **Tabela 26**, observou-se que as folhas expostas ao sol localizadas na parte superior possuem uma quantidade significativamente menor do que as sob sombreamento no mês 8, e uma quantidade é significativamente maior no mês 9 quando comparadas com as sob sombreamento. Em relação às folhas localizadas na parte inferior das plantas expostas ao sol observa-se que a quantidade é significativamente menor no mês 8 e significativamente maior no mês 11 em relação às sob sombreamento.

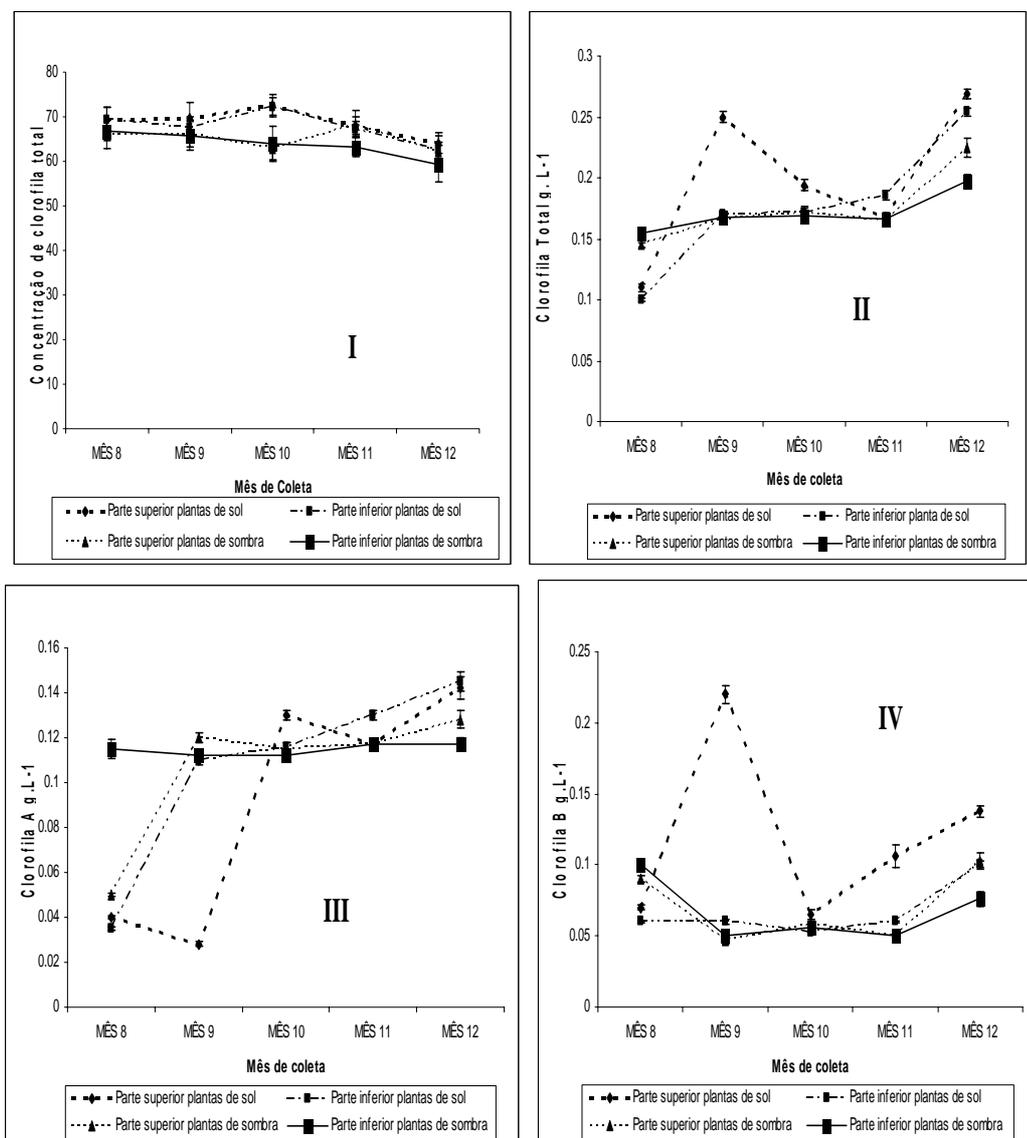


Figura 16 – Dados referentes à quantidade de clorofila total (I – SPAD, II – extrato), clorofila a (III), clorofila b (IV) de 10 folhas frescas (média de 8 plantas com 4,5 anos de idade) de *Coffea arabica* cv. Obatã expostas a pleno sol e sombreamento parcial durante agosto a dezembro de 2006, coletadas folhas da parte superior e da parte inferior de cada planta. Barras verticais representam o desvio padrão

Na **Figura 17** e **Tabela 27** temos os resultados das análises de carotenóides mostrando que a quantidade nas folhas das plantas foi significativamente diferente quando expostas ao sol apresentando menor quantidade nas folhas da parte superior durante o mês 8 (30 dias após a colheita dos frutos), e mês 9 (60 dias após a coleta dos frutos), e apresentando maior quantidade de carotenóides nas folhas expostas ao sol nos meses 10 (início do aumento da disponibilidade hídrica e início da floração das plantas) e 11 (aumento da disponibilidade hídrica, período da adubação nitrogenada e início da formação dos frutos) em relação às folhas sob sombreamento. Considerando-se que na parte inferior das plantas pode-se observar que as folhas sob sombreamento apresentaram maior quantidade de carotenóides do que as expostas ao sol durante o mês 8, entretanto a partir do mês 9 (60 dias após a coleta dos frutos) observaram-se quantidades significativamente maiores de carotenóides nas folhas expostas ao sol quando comparadas as plantas as que estão sob sombreamento. Este aumento maior na quantidade de carotenóides nas plantas crescendo a pleno sol pode ser explicado principalmente pelo efeito protetor das xantofilas que tem efeito de fotoproteção contra o aumento nos níveis de radiação global observados no período (**Tabela 6**).

Segundo Foyer et al., (2001), as xantofilas, zeaxantina e luteína (carotenóides) transformam a ^1Chl (clorofila excitada) em clorofila e ^3Chl e $^1\text{O}_2$ em Chl (clorofila no estado normal) e O_2 , com produção de calor, atuando como um mecanismo fotoprotetor do aparato fotossintético. Assim aumentando-se os teores de carotenóides nas folhas, a planta garante uma maior eficiência de funcionamento do aparato fotossintético, e constitui uma ótima proteção contra a fotoinibição. Sob condições de alta irradiância, como é o caso do cafeeiro a pleno sol, mudanças qualitativas devem acontecer na planta, incluindo uma diminuição de pigmentos coletores de luz, os quais reduzem a absorção de luz e diminuindo a pressão energética sobre os fotossistemas (NUNES et al., 1993; RAMALHO et al., 2000).

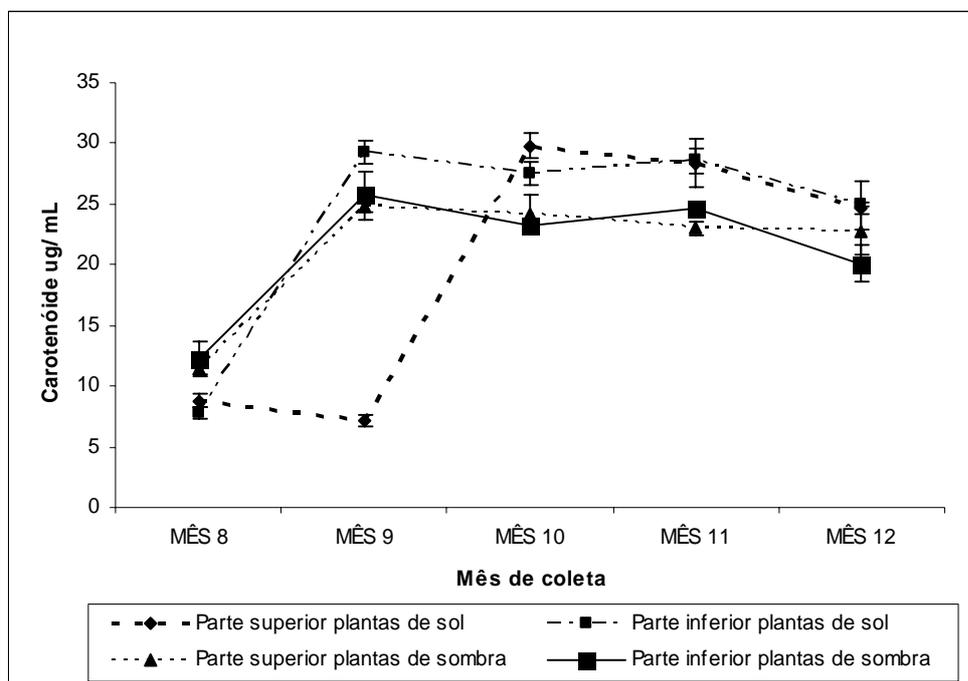


Figura 17 – Dados referentes à quantidade de carotenóides em folhas frescas de *Coffea arabica* cv. Obatã (média de 8 plantas com 4,5 anos de idade) expostas a pleno sol e sombreamento parcial durante agosto a dezembro de 2006, coletadas folhas da parte superior e da parte inferior de cada planta. Barras verticais representam o desvio padrão

5 CONCLUSÕES

Em cafeeiro Arábica, uma adubação nitrogenada deve ser feita entre outubro e novembro.

A atividade da redutase do nitrato e aminoácidos totais aumentou a partir da adubação nitrogenada no mês 11.

Existem diferenças fisiológicas e bioquímicas entre plantas de café cultivadas a pleno sol e sombreada.

Os frutos do cafeeiro atuam como verdadeiros “drenos” de fotoassimilados, provocando uma diminuição na massa seca das folhas, nos teores de amido, proteínas e açúcares redutores no final do período analisado.

A produção de flores e o enchimento dos grãos foram influenciados pelas condições ambientais como o aumento na precipitação, radiação global, umidade relativa e temperatura.

Houve um aumento na concentração de pigmentos fotoprotetores (carotenóides) a partir do mês 8 em todas as plantas analisadas.

As leituras de clorofila pelo SPAD, tiveram correlação positiva com os teores de N até o mês 11.

Não houve diferenças significativas com relação á posição das folhas na plantas parte superior x parte inferior nos aspectos analisados.

Dos nutrientes analisados nas folhas, apenas o manganês teve uma resposta muito significativa quando se compararam folhas de sol que tiveram concentração cerca de 6 a 8 vezes maior que as folhas das plantas sombreadas.

REFERÊNCIAS

ALLEN, S.E.; GRIMSHAW, H.M.; PARKINSON, J.A.; QUARMBY, C. Inorganic Constituents nitrogen. In: **Chemical analysis of ecological materials**.pp.184, 1974. Edited by S. E. Allen. London: Backwell Scientific Publications, 1974.

ALVES, J.D. **Relação entre redutase do nitrato e a fotossíntese no cafeeiro (*Coffea arabica* L.)**. 1985. 45 p. Dissertação (Mestrado Ciências Agrária: Fisiologia Vegetal) da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1985.

ALVES, J.D.; CORDEIRO, A.T.; RENA, A.B. Relações entre fotossíntese resistência difusiva e variação circadiana da redutase do nitrato em *Coffea arabica* L. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 12.,1985, Caxambu. **Anais ...** Rio de Janeiro: MIC; IBC, 1985. p. 142-145.

ALVIM, P.T. Physiology of growth and flowering in coffee. **Turrialba**, San Jose, v. 2, p. 57-62, 1960.

AMARAL, J.A.T. **Crescimento vegetativo estacional do cafeeiro e suas relações com fontes de nitrogênio, fotoperíodo, fotossíntese e assimilação do nitrogênio**. 1991. 139 p. Tese Doutorado (Fisiologia Vegetal) da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1991.

ANSTED, R.E.; PITTOCK, C.K. The varying composition of Coffe berry at different stages of its growth and its relation to the maturing of coffee estates. **Planters' Chronicle**, Coimbatore, v.8, n. 36, p. 455-460, 1913.

ARAÚJO, W.L. **Limitações da fotossíntese e metabolismo do carbono em folhas de diferentes posições da copa do cafeeiro (*Coffea arabica* L.)**. 2006. 43 p. Tese de (Mestrado em Fisiologia Vegetal) - Universidade de Viçosa, Viçosa, 2006.

ARGENTA, G.; SILVA, P.R. da; BORTOLINI, C.G. Clorofila na folha como indicador do nível de nitrogênio em cereais. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 31, n. 4, p. 715-722, 2001.

ARRUDA, F.B.; GRANDE, M.A. Fator de resposta do cafeeiro ao déficit hídrico em Campinas. **Bragantia**, Campinas, v. 62, n. 1, p. 139-145, 2003.

ASLAM, M.; HUFFAKER, R.C.; RAINS, D.W.; RAO, K.P. influence of light and ambient carbon dioxide concentration on nitrate assimilation by intact barley seedling. **Plant Physiology**, Rockville, v. 53, n. 1, p. 205-209, 1979.

AYRES, M.; AYRES, M. Jr.; AYRES, D.L.; SANTOS, A.A.S. **BioEstat**: aplicações estatísticas nas áreas das ciências biomédicas. Belém: Editora Sociedade Civil Mamirauá, 2005. 324 p.

BAKER, N.R.; BOWYER, J.R. (Ed.). **Photoinhibition of photosynthesis, from molecular mechanism to the field**. Oxford: Bios Scientific Publ., 1994. 471 p.

BARROS, R. S.; MAESTRI, M. Periodicidade de crescimento em café. **Revista Ceres**, n.19, p. 424-448, 1972 citado por CARVALHO, C.H.S. de. Relação entre a seca de ramos e a produção, teor de minerais, teor de amido e morte de raízes da progênie de Catimor UFV-1359 (*Coffea arabica* L.). 43 p., 1985. Tese de Mestrado Fisiologia Vegetal da Universidade Federal de Viçosa/MG, 1985.

BATLEY (1971), citado por JÚNIOR, E.F; LAZARINI, E. Calcário e boro e os efeitos sobre a química do solo., acessado em 15/04/05.

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

BIELISKI, R.L.; TURNER, N.A. Separation and estimation of amino acids in crude plant extracts by thin layer electrophoresis and chromatography. **Analytical Biochemistry**, New York, v. 17, p. 278-293, 1966.

BOARDMAN, N.K. Comparative photosynthesis of sun and shade plants. **Annual Review of Plant Physiology**, Palo Alto, v. 28, p. 355-377, 1997.

BRADFORD, M.M. A rapid sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Analytical Biochemistry**, New York, v.72, p. 248-254, 1976.

BRENNER, A.J. Microclimatic modifications in agroforestry. In: ONG, C.K.; HUXLEY, P. (Ed.). **Tree-crop interactions: a physiological approach**. Wallingford: CAB International, 1996. chap.5, p.159-188.

BURSTON (1943) - Citado: CAMPBELL, W. H. Nitrate reductase structure, function and regulation: bridging the gap between biochemistry and physiology. **Annual Review Plant Physiology Plant Molecular Biology**, v. 50, p. 277-303, 1999.

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

CAMARGO, A.P. Florescimento e frutificação do café arábica nas diferentes regiões cafeeiras do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.20, n.7, p. 831-839, 1985b.

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

CAMPANHA, M.M. Análise comparativa de cafeeiros (*Coffea arabica* L.) em sistema agroflorestal e monocultivo na Zona da Mata de Minas Gerais. Tese de Doutorado da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa/MG, 2001. 112 p.

CAMPBELL, W.H. Nitrate reductase and its role in nitrate assimilation in plants. **Plant Physiology**, Rockville, v. 74, p. 214-219, 1988.

CAMPBELL, W.H. Nitrate reductase structure function and regulation on bridging to gap between biochemistry and physiology. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo Alto, v. 50, p. 277-303, 1999.

CAMPBELL, W.H. Structure and synthesis of higher plant nitrate reductase. In: WRAY, J.; KUNGHORN, J. (Ed.). **Molecular and genetic aspects of nitrate assimilation**. New York: Oxford University Press, 1989. p.123-154.

CANNELL, M.G.R.; KIMEU, B.S. Uptake and distribution of macro-nutrients in trees of *Coffea arabica* L. In: Kenya as affected by seasonal climatic differences and the presence of fruits. **Annals of Applied Biology**, Cambridge, v. 68, p. 213-230, 1971.

CARDOSO, A. P. S. **Café: cultura e tecnologia primária**. Lisboa: Instituto de Investigação Científica Tropical, 1994. 169p.

CARELLI M.L.C.; FAHL, J.I. Distribuição da assimilação de nitrato e de matéria seca em plantas jovens de café cultivadas em diferentes níveis de nitrogênio. **Bragantia**, v.50, n.1, p. 29-37, 1991.

CARELLI, M.L.C.; FAHL, J.I.; MAGALHAES, A.C. Assimilação de nitrato durante o desenvolvimento reprodutivo de plantas de café. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.13, n.1, p. 59-64, 1989.

CARELLI, M.L.C.; FAHL, J.I.; MAGALHAES, A.C. Redução de nitrato em plantas jovens de café cultivadas em diferentes níveis de luz e nitrogênio. **Bragantia**, Campinas, v. 49, n.1, p.1-9, 1990.

CARR, M.K.V. The water relations and irrigation requirements of coffee. **Experimental Agriculture**, London, v. 37, n. 1, p. 1-36, 2001.

CARR, M.K.V.; STEFENS, W. Climate, weather and the yield of tea. In: WILSON, K.C.; CLIFFORD, M.N. (Ed.). **Tea: cultivation to consumption**. London: Chapman and Hall, 1992. p. 87-135.

CARVAJAL, J.F.; ACEVEDO, A.; LOPES, C. A. Nutrient uptake by the Coffee tree during a yearly cycle. **Turrialba**, San Jose, v. 19, n. 1, p. 13-20, 1969.

CARVALHO, C.H.S.de. **Relação entre a seca de ramos e a produção, teor de minerais, teor de amido e morte das raízes da progênie de Catimor UFV-1359 (*Coffea arabica* L.)**. 1985. 45 p Tese (Mestrado em Fisiologia Vegetal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1985.

CATANI, R.A.; MORAES, F.R.P de. A composição química do cafeeiro. *Revista de Agricultura*, Piracicaba/SP, v. 33, p. 45-52, 1958. Citado por CHAVES, J.C.D. **Concentração de nutrientes nos frutos e folhas e exportação de nutrientes pela colheita durante um ciclo produtivo do cafeeiro (*Coffea arabica* L. cv. Catuai)**. Tese de Mestrado Solos e Nutrição de Plantas da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” da Universidade de São Paulo, Piracicaba/SP, 131 p., 1982.

CHAVES, A.R.M. **Fotossíntese e mecanismos de proteção contra estresse fotooxidativo em *Coffea arábica* L., cultivada em condições de campo sob dois níveis de irradiância**. 2005. 36 p. Tese de Mestrado Fisiologia Vegetal da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2005.

CHAVES, J.C.D. **Concentração de nutrientes nos frutos e folhas e exportação de nutrientes pela colheita durante um ciclo produtivo do cafeeiro (*Coffea arabica* L. cv. Cutai)**. 1982. 131p. Tese (Mestrado Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” da Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1982.

CLAUSSEN, W. Influence of fruit load and environmental factors on nitrate reductase activity and on concentration of nitrate and carbohydrates in leaves of eggplant (*Solanum melongenea*). **Physiologia Plantarum**, Kobenhavn, v. 67, p. 73-80, 1986.

CONSELHO INTERNACIONAL DO CAFÉ. **Análise agroeconômica do café cultivado organicamente ou café “orgânico”**. Londres: Junta Executiva, 1997. 19 p. (Apostila).

COOIL, B.J.; AWADA, M.; ROBINSON, R. – Hawaii Agr. Exp. Sta Bien. Rept., 1951. **Capítulo VII – Nutrição do cafeeiro. In: Cultura e Adubação do Cafeeiro**. KRUG, C.A.; MALAVOLTA, E.; MORARES, R.P., DIAS; CARVALHO, A.; FRANCO, L.C.M.C.; BERGAMIN, J.; ABRAHÃO, J.; SOUZA, A.R.O.F.de; FAVA, J.F.M. **Cultura e Adubação do Cafeeiro**. Editor Instituto Brasileiro de Potassa - Experimentações e Pesquisa, São Paulo/SP, p.75-126, 1963.

COOIL, B.J.; NAKAYAMA, M. - Hawaii Agr. Exp. Sta Progr. Notes n° 91, 1953. **Capítulo VII – Nutrição do cafeeiro. In: Cultura e Adubação do Cafeeiro**. KRUG, C.A.; MALAVOLTA, E.; MORARES, R.P., DIAS; CARVALHO, A.; FRANCO, L.C.M.C.; BERGAMIN, J.; ABRAHÃO, J.; SOUZA, A.R.O.F.de; FAVA, J.F.M. **Cultura e Adubação do Cafeeiro**. Editor Instituto Brasileiro de Potassa - Experimentações e Pesquisa, São Paulo/SP, p.75-126, 1963.

CORDEIRO, A.T.; RENA, A.B.; MENDES, L.F.; ALVES, J.D.; PEREIRA, A.A. Atividade da redutase do nitrato em plantas jovens e adultas de *Coffea arabica* L., à luz e na obscuridade. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIEIRAS, 11., 1984, Curitiba. **Anais ...** Rio de Janeiro: MIC, IBC, 1984. p. 77-79.

COSTA, A.N. Tecnologias de produção de café com qualidade. In: ZAMBOLIM, L. (Ed.). **Método de interpretação e diagnose foliar em café**. Viçosa: UFV, Departamento de Fitopatologia, 2001. cap. 17, p. 617.

CRAWFORD, N M.; KAHN, M. L.; LEUSTEK, T.; LONG, S. R. Nitrogen and sulfur. In: BUCHANAN, B.B.; GRUISSEM, W.; JONES R.L. **Biochemistry & molecular biology of plants**. Rockville: American Society of Plant Physiologists, 2000. Chap. 16, p. 786-849.

CRAWFORD, N. M.; GLASS, A. D. M. Molecular and physiological aspects of nitrate uptake implants. **Trends Plant Science**, v. 3, p. 389-395, 1998. Citados por GALLO, L. A. **Dinâmica da absorção e assimilação do nitrogênio em feijoeiro *Phaseolus vulgaris* L.** 2001, 199p. Tese de Livre Docência da ESALQ/USP. Piracicaba/SP.

CRAWFORD, N.M. Nitrate: nutrient and signal for plant growth. **Plant Cell**, Baltimore, v. 7, p. 859-868, 1995.

CRAWFORD, N.M.; WILKINSON, J.Q.; LaBRIE, S.T. Control of nitrate reduction in plants. **Australian Journal of Plant Physiology**, Melbourne, v. 19, p. 377-385, 1992.

Da MATTA, F.M, LOSS, R.A.; SILVA, E.A.; LOUREIRO, M.E.; DUCATTI, C. Effects of soil water deficit and nitrogen nutrition on water relations and photosynthesis of pot-grown *Coffea canephora* Pierre. **Trees**, v. 165, p. 555-558, 2002.

Da MATTA, F.M. Ecophysiological constraints on the production of shade and unshade coffee: A Review. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 86, p. 99-114, 2004.

Da MATTA, F.M.; AMARAL, J.A.T.; RENA, A.B. Growth periodicity in trees of *Coffea arabica* L. in relation to nitrogen supply and nitrate reductase activity. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 60, p. 223-229, 1999.

Da MATTA, F.M.; MAESTRI, M. Photo inhibition and recovery of photosynthesis in *Coffea arabica* and *Coffea canephora*. **Photosynthetica**, Praha, v. 34, p. 439-446, 1997.

DIERENDONCK, F.J.E., The maturing of coffee, cocoa, tea and tobacco. Centro d'Étude de l'Ázote, Genebra. 1959.

DOMINGO, A.; NAGATOMO, Y.; TAMAI, M.; TAKAKI, H. Free tryptophan and indolacetic acid in zinc-deficient radish shoots. **Soil Science and Plant Nutrition**, New York, v. 38, p. 261-267, 1992.

DUBOIS, M.; GILLES, K.A.; HAMILTON, J.K.; REPERS, P.A.; SMITH, F. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. **Analytical Chemistry**, New York, v. 28, p. 350-358, 1956.

ECKERSON (1924 e 1932) - Citado: CAMPBELL, W. H. Nitrate reductase structure, function and regulation: bridging the gap between biochemistry and physiology. **Annual Review Plant Physiology Plant Molecular Biology**, v. 50, p. 277-303, 1999.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa, Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412 p.

ENGEL, V.L. **Influência do sombreamento sobre o crescimento de mudas de espécies nativas, concentração de clorofila nas folhas e aspectos de anatomia**. 1989. 131 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" da Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1989.

EPSTEIN, E.; BLOMM, A. J. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. 2.ed. Londrina: Ed. Planta, 2006. 85 p.

ESAU, K. **Anatomy of seed plants**. 2nd ed. New York: John Wiley, 1977. 550 p.

EVANS, H.J.; NASON, A. Pyridine nucleotide-nitrate reductase from extracts of higher plants. **Plant Physiology**, Rockville, v. 28, p. 233-254, 1953.

FAHL, J.J. **Influência da irradiância e do nitrogênio na fotossíntese e crescimento de plantas jovens de café (*Coffea arabica* L.)**. 1989. 84 p. Tese (Doutorado em Biologia Vegetal) - Instituto de Biologia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1989.

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

FARNEZI, M.M.M; COSTA, H.A.O.; SILVA, E. DE B. Acidez potencial estimada pelo método do pH SMP em solos da região do Vale do Jequitinhonha no Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Campinas, v. 30, p. 751-757, 2006.

FERNANDES, D.R. Manejo do cafezal. In: RENA, A.B. (Ed.). **Cultura do cafeeiro**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa de Potassa e do Fósforo, 1986. p. 275-301.

FERREIRA, M.G.R. **Efeito do sombreamento na produção de mudas de quatro espécies florestais nativas**. 1977. 42 p. Dissertação (Mestrado) da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1977.

FNP CONSULTORIA & COMÉRCIO. **Agrianual 2005**: anuário da agricultura brasileira. São Paulo, 2005. p. 220-229.

FORDE, B.G. Nitrate transporters in plants: structure, function and regulation. **Biochimica et Biophysica Acta**, Amsterdam, v. 14, n.65, p. 219-235, 2000.

FOX, F.A. Jr.; SHERER, T.; SLACK, D.C.; CLARK, L.J. **Arizona irrigation scheduling – AZSCHED ver.1.10 – users manual**. Arizona: The University of Arizona; Cooperative Extension; Agricultural and Biosystems Engineering, 1992. 36 p.

FOYER, C.; FERRARIO-MERY, S.; NOCTOR, G. Interactions between carbon and nitrogen metabolism. In: LEA, P.J. (Ed.). **Plant nitrogen**. Berlin: Springer-Verlag, 2001. p. 343-367.

FRAUSTO da SILVA, J.J.R.; WILLIAM, R.J.P. **The Biological Chemistry of the Elements: The Inorganic Chemistry of Life**. Oxford University Press, USA. 2001. 220p.

FURLANI JÚNIOR, E.F; LAZARINI, E. **Calcário e boro e os efeitos sobre a química do solo**. Disponível em: <http://www.coffeebreak.com.br/ocafezal.asp?SE=8&ID=193>. Acesso em: 15 abr. 2005.

GALANGAU, F.; DANIELE-VEDELE, F.; MOREAUX, T.; DORBE, M. F.; LEYDECKER, M.T.; CABOCHE, M. Expression of leaf nitrate reductase genes from tomato and tobacco in relation to light-dark regimes and nitrate supply. **Plant Physiology**, Rockville, v. 88, p. 383-388, 1988.

GALLO, L.A. **Dinâmica da absorção e assimilação do nitrogênio em feijoeiro *Phaseolus vulgaris* L.** 2001. 199 p. Tese (Livre-docência) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, da Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.

GIL, P.T. de; FONTES; P.C.R.; CECON, P.R.; FERREIRA, F.A. Índice SPAD para diagnóstico do estado de nitrogênio e para o prognóstico da produtividade de batata. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 20, n. 4, p. 611-615, 2002.

GREY, D.; STEPAN-SARKISSAN, B.; POWCER, M.N. Biochemistry of forest tree species in culture. In: BONGA, J.M.; DURZAN, D.J. (Ed.). **Cell and tissue culture in forestry**. Dordrecht: Kluwer Academic, 1987. v. 2, p. 31-60.

GUERRERO-FILHO, O. **Recursos genéticos e o melhoramento do cafeeiro no Brasil**. Disponível em: <http://www.sbmp.org.br/cbmp2001/palestras/palestra1.htm>. Acesso em: 26/julho/2004.

GUIMARÃES, T.G.; FONTES, P.C.R.; PEREIRA, P.R.G.; ALVAREZ, V.H.; MONNERAT, P.H. Teores de clorofila determinados por medidor portátil e sua relação com formas de nitrogênio em folhas de tomateiro cultivados em dois tipos de solos. **Bragantia**, Campinas, v. 58, n. 1, p. 209-216, 1999.

HAGEMAM, R.H.; FLESHER, D. Nitrate reductase activity in corn seedlings as affected by light and nitrate content in nutrient media. **Plant Physiology**, Rockville, v. 35, p. 700-708, 1960.

HAMMER (1936)- Citado: CAMPBELL, W. H. Nitrate reductase structure, function and regulation: bridging the gap between biochemistry and physiology. **Annual Review Plant Physiology Plant Molecular Biology**, v. 50, p. 277-303, 1999.

HAVLIN, J.L.; BEATON, J.D.; TISDALE, S.L.; NELSON, W.L. **Soil fertility and fertilizers**. 6nd ed. New Jersey: Prentice Hall, 1999. 499 p.

HAYNES, R.J. Nitrification. In: CAMERON, K.C.; GOH, K.M.; SHERLOCK, R.R.(Ed.). **Mineral nitrogen in the plant-soil system**. Orlando: Academic Press, 1986. p. 127-164.

HERNANDEZ, A.P.; COCK, J.H.; EL-SHARKAWY, M.A. The responses of leaf gas exchange and stomatal conductance to air humidity in shade-grown coffee, tea, and cacao plants as compared to sunflower. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Londrina, v. 1, n. 2, p. 155-161, 1989.

HIKOSAKA, K.; TERASHIMA, I., A model of acclimation of photosynthesis in the leaves of C₃ plants to sun and shade with respect to nitrogen use. **Plant Cell Environment**, v. 18, p. 605-618, 1995.

ITEM – IRRIGAÇÃO & TECNOLOGIA MODERNA. **Cafeicultura irrigada**. Belo Horizonte, n. 48, set. 2000. 90 p.

KAISER, W.M.; HUBER, S.C. Post-translation regulation of nitrate reductase: mechanism, physiological relevance and environmental triggers. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 52, p. 1981-1989, 2001.

KAISER, W.M.; HUBER, S.C. Posttranslation regulation of nitrate reductase in higher plants. **Plant Physiology**, Rockville, v. 106, p. 817-821, 1994.

KERBAUY, G.B. Nutrição mineral. In: _____. **Fisiologia vegetal**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan 2004. cap. 2, p. 40-75.

KESSLER, E. Nitrate assimilation by plants. **Annual Review of Plant Physiology**, Palo Alto, v. 15, p. 57-72, 1964.

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

KUMAR, D.; TIESZEN, L.L. Photosynthesis in *Coffea arabica* L.: I. effects of water stress. **Experimental Agriculture**, London, v. 16, p. 21-27, 1980b.

LAWLOR D.W. Carbon and nitrogen assimilation in relation to yield: mechanisms are the key to understanding production systems. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 53, n. 370, p.773-787, 2002.

LAWLOR D.W. **Photosynthesis**: molecular, physiological and environment processes. 3rd ed. Oxford: Bios Scientific Publ., 2001a.

LAWLOR D.W.; LEMAIRE, G.; GASTAL F. Nitrogen, plant growth and crop yield. In: LEA, P.J. (Ed.). **Plant nitrogen**. Berlin: Spring-Verlag, 2001b. p. 343-367.

LAZZARINI, W. Bol. Sup. Dos Serviços do Café. Nº 303, maio de 1952. MORAES, F.R.P.de. Capitulo V: Meio Ambiente e Práticas culturais. In: KRUG, C.A.; MALAVOLTA, E.; MORARES, R.P., DIAS; CARVALHO, A.; FRANCO, L.C.M.C.; BERGAMIN, J.; ABRAHÃO, J.; SOUZA, A.R.O.F.de; FAVA, J.F.M. **Cultura e adubação do cafeeiro**. São Paulo: Instituto Brasileiro de Potassa - Experimentações e Pesquisa, 1963. cap 5, p.75-126.

LEA, P.J.; BLACKWELL, R.D.; JOY, K.W. Ammonia assimilation in higher plants. In: MENGEL, K.; PILBEAM, D.J. **Nitrogen metabolism of plants**. Oxford: Clarendon, 1992. p. 153-186.

LEE, D.W.; BRAMMEIER, S.; SMITH, A.P. The selective advantages of anthocyanins in developing leaves of mango and cacao. **Biotropica**, Washington, v. 19, n. 1, p. 40-49, 1987.

LILLO, C. Light regulation of nitrate reductase in green leaves of higher plants: Minireview. **Plant Physiology**, Rockville, v. 90, p. 616-620, 1984.

LIMA FILHO, O.F. de; MALAVOLTA, E. Studies on mineral nutrition of the coffee plant (*Coffea arabica* L. cv. Catuaí vermelho). LXIV. Remobilization and re-utilization of nitrogen and potassium by normal and deficient plants. **Brazilian Journal Biology**, São Carlos, v. 63, n. 3, p. 481-490, 2003.

LIMA, E.P. **Graus-dia, temperatura base e coeficientes de cultura para cafeeiros arábica em fase de implantação**. 2006. 116 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2006.

LOUÉ, A. **A nutrição mineral e a fertilização do café robusta na Costa do Marfim**. Fertilité, Paris, v. 5, p. 27-60, 1958. Citado por CHAVES, J.C.D. **Concentração de nutrientes nos frutos e folhas e exportação de nutrientes pela colheita durante um ciclo produtivo do cafeeiro** (*Coffea arabica* L. cv. Catuai). 1982. 131 p. Tese de Mestrado Solos e Nutrição de Plantas da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” da Universidade de São Paulo, Piracicaba. 1982.

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

MACHADO, R.C.R.; MULLER, M.W.; BARRETO, W.S. Variações diurnas no teor de amido e de açúcar solúvel em folhas de cacau (*Theobroma cacao* L.). **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Londrina, v. 1, n. 2, p. 163-167, 1989.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980. 251 p.

MALAVOLTA, E. **Micronutrientes na adubação**. Paulínia: Nutriplant Indústria e Comércio, 1986. 70 p.

MALAVOLTA, E.; FAVARIN, J.L.; MALAVOLTA, M.; CABRAL, C.P.; HEINRICH, R.; SILVEIRA, J.S.M. Repartição de nutrientes nos ramos, folhas e flores do cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, v. 37, n. 7, p. 1017-1022, 2002.

MALAVOLTA, E.; GRANER, E.A.; SARRUGE, J.R.; GOMES, L. Estudos sobre a alimentação mineral do cafeeiro. XI. Extração de macro e micronutrientes na colheita pelas variedades “Bourbon Amarelo”, “Caturra Amarelo” e “Mundo Novo”. **Turrialba**, San Jose, v. 13, n. 3, p. 188-189, 1963.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. de. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: NAGY, 1989. 201 p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C., OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319 p.

MALTA, M.R.; NETO, A.E.F.; ALVES, J.D.; GUIMARÃES, P.T.G. Efeito da aplicação de zinco via foliar na síntese de triptofano, aminoácidos e proteínas solúveis em mudas de cafeeiro. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Londrina, v. 14, n. 1, p. 31-37, 2002.

MARIN, F.R.; SANTIAGO, A.S.; RIGHI, E.Z.; SENTELHAS, P.C.; ANGELLOCI, L.C.; MAGGIOTTO, S.R.; PEZZOPANE, J.R.M. Solar radiation interception and its relation with transpiration in different coffee canopy layers. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 11, n. 1, 2003.

MARSCHNER, H. Functions of mineral nutrients: micronutrients. In: _____. **Mineral nutrition of higher plants**. London: Academic Press, 1995 a. Chap. 9. p. 313-404.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. Academic Press Inc., New York, 1995 b. 887 p.

MASCARENHAS, H.A.A.; TANAKA, R.T.; NOGUEIRA, S.S.S. Resposta do feijoeiro a doses de boro em cultivo de inverno e primavera. **Bragantia**, Campinas, v. 57, n. 2, p. 387-392, 1998.

MATIELLO, J.B.; SANTIAGO, R.; GARCIA, A.W.R.; ALMEIDA, S.R.; FERNANDES, D.R. **Cultura de café no Brasil: novo manual de recomendações**. Rio de Janeiro: MAPA, PROCAFÉ, 2002. 387 p.

MATIELO, J.B. **O Café: do cultivo ao consumo**. São Paulo: Globo, 1991. 320 p.

MENDES, A.N.; GUIMARÃES, R.J. **Economia cafeeira: o agrobusiness**. Lavras: UFLA, FAEPE, 1997. 59 p. (Curso de Especialização Pós-Graduação "Lato Sensu" Ensino à distância).

MENDES, L.F. **Variação diurna da atividade da redutase do nitrato, na respiração e dos teores de n-nitrico e carboidratos em plantas jovens de café, cacau e soja**. 1986. 33 p. Dissertação (Mestrado) da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1986.

MIFLIN, B.J.; LEA, P.J. The pathway of nitrogen assimilation in plants. **Annual Review of Phytochemistry**, Palo Alto, v. 15, p. 873-885, 1976.

MIGGE, A.; BECKER, T. W. In tobacco leaves, the genes encoding the nitrate-reducing or the ammonium-assimilating enzymes are regulated differently by external nitrogen-sources. **Plant Physiology and Biochemistry**, Paris, v. 34, p. 665-671, 1996.

MINOLTA CAMERA. **Manual for chlorophyll meter SPAD-502**. Osaka: Minolta, Radiometric Instruments divisions. 1989. 22 p.

MITCHELL, H.W. Cultivation and harvesting of the arábica coffee tree. In: CLARKE, R.J.; MACRAE, R. (Ed.). **Coffee**. London: Elsevier Applied Science, 1988. v. 4, p. 43-90.

MOHOTTI, A.J.; LAWLOR, D.W. Diurnal variation of photosynthesis and photoinhibition in tea: effects of irradiance and nitrogen supply during growth in the field. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 53, p. 313-322, 2002.

MONTEITH, J.L.; ONG, C.K.; CORLETT, J.E. Microclimatic interations by in agroforestry systems. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 45, p. 31-44, 1991.

MORAES, F.R.P.de. Meio ambiente e práticas culturais. In: KRUG, C.A.; MALAVOLTA, E.; MORARES, R.P., DIAS; CARVALHO, A.; FRANCO, L.C.M.C.; BERGAMIN, J.; ABRAHÃO, J.; SOUZA, A.R.O.F.de; FAVA, J.F.M. **Cultura e adubação do cafeeiro**. São Paulo: Instituto Brasileiro de Potassa - Experimentações e Pesquisa, 1963. cap. 5, p.75-126.

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

MORAN, R. Formulae for determination of chlorophyllous pigments extracted with N,N-dimethylformamide. **Plant Physiology**, Rockville, v. 69, p. 1376-1381, 1982.

MOYSES, E.L.F.D. **Acumulação de matéria seca e absorção de nutrientes pelo cafeeiro (*Coffea arabica* L.) cv. Catuai em solução nutritiva com diferentes doses de zinco e pH**. 1988. 147 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1988.

NAZARENO R.B.; OLIVEIRA C.A.S.; SANZONOWICZ, C.; SAMPAIO, J.B.R.; SILVA, J.P.C.; GUERRA A.F. Crescimento inicial do cafeeiro rubi em respostas a doses de N, P e K e a regimes hídricos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, p. 903-910, 2003.

NELSON, N. A photometric adaptation of the Somogy method for determination of glucose. **Journal of Biological Chemistry**, Baltimore, v. 153, p. 375-380, 1944.

NETTO, A.T.; CAMPOSTRINI, E.; OLIVEIRA, J.G. de; YAMANISHI, O.K. Portable chlorophyll meter for the quantification of photosynthetic pigments, nitrogen and the possible use for assessment of the photochemical process in *Carica papaya* L. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Londrina, v. 14, n. 3, p. 203-210, 2002.

NETTO, J.F.A. **Atividade das enzimas redutase do nitrato e glutamina sintetase em cafeeiro arábica**. 2005. 60 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

NEVES, O.S.C.; CARVALHO, J.G.de; MARTINS, F.A.D.; PÁDUA, T.R.P.de; PINHO, P.J.de. Uso de SPAD-502 na avaliação dos teores foliares de clorofila, nitrogênio, enxofre, ferro e manganês do algodoeiro herbáceo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 5, p. 517-521, maio 2005.

NUNES, M.A.; RAMALHO, J.C.; DIAS M.A. Effect of nitrogen supply on the photosynthetic performance of leaves from coffee plants exposed to bright light. **Journal Experimental Botany**, Oxford, v. 44, p. 893-899, 1993.

NUTMAN, F. J. Studies of the physiology of *Coffea arabica*. – III: respiration rates of whole trees in relation to natural environmental conditions. **Annals of Botany**, London, v. 5, n. 17, p. 59-81, 1941.

PADGETT, P. E.; LEONARD, R. T. Free amino acid levels and the regulation of nitrate uptake in maize cell suspension cultures. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 47, p. 871-883, 1996.

PAIVA, L.C.; GUIMARÃES, R.J.; SOUZA, C.A.P. Influência de diferentes níveis de sombreamento sobre o crescimento de mudas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.). **Ciência Agrotecnologia**, Lavras. v. 27, n.1, p. 134-140, 2003.

PEREIRA, J.B.D. Eficiência nutricional de nitrogênio e de potássio em plantas de café (*Coffea arabica* L.). 1999. 96p. Tese de Doutorado Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa. Viçosa. 1999.

PERILLEUX, C.; BERNIER, G. Leaf carbohydrate status in *Lolium temulentum* during the induction of flowering. **New Phytologist**, v. 135, p. 59-66, 1997.

PEZZOPANE, J.R.M. **Avaliações microclimáticas, fenológicas e agronômicas em café arábica cultivado a pleno sol e consorciado com banana "Prata Anã"**. 2004. 125 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

QUEIROZ, C.G.A.; ALVES, J.D.; RENA, A.B.; CORDEIRO, A.T. Efeito do cloranfenicol, propanol, pH e temperatura sobre a atividade da redutase do nitrato em cafeeiros jovens. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 14, p. 73-77, 1991.

QUEIROZ, C.G.A.; RENA, A.B.; CORDEIRO, A.T.; ALVES, J.D. Distribuição da atividade da redutase do nitrato no cafeeiro: a importância da raiz. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 16, p. 31-35, 1993a.

QUEIROZ, C.G.A.; RENA, A.B.; CORDEIRO, A.T.; ALVES, J.D. Ritmo diurno na atividade de redutase do nitrato em folhas e raízes de *Coffea arabica* L. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 28, p. 787-795, 1993b.

QUEIROZ, C.G.de S. Distribuição e regulação da atividade da redutase do nitrato no cafeeiro (*Coffea arábica* L.) 1986, 51 p. Tese de Mestrado em Fisiologia Vegetal. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 1986.

RADIN, J.W. Distribution and development of nitrate reductase activity in germinating cotton seedlings *Plant Physiology*, v.53, p.458-463, 1974.

RAMAIAH, P.K.; RAO, M.V.K.; CHOKKANNA, N.G. Zinc deficiency and aminoacids of coffee leaves. **Turrialba**, San Jose, v. 14, p. 136-139, 1964.

RAMALHO, J.C.; CAMPOS, P.S.; QUARTIN, V.L.; SILVA, M.J.; NUNES, M.A. High irradiance impairments on photosynthetic electron transport, ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase and N assimilation as a function of n availability in *Coffea arabica* L. **Journal of Plant Physiology**, Stuttgart, v. 154, p. 319-326, 1999.

RAMALHO, J.C.; PONS, T.L.; GROENEVELD, H.W.; AZINHEIRA H.G.; NUNES, M.A. Photosynthetic acclimation of high light conditions in mature leaves of *Coffea arabica* L: role of xanthophylls, quenching mechanisms and nitrogen nutrition. **Australian Journal of Plant Physiology**, Melbourne, v. 27, p. 43-51, 2000.

RAMALHO, J.C.; PONS, T.L.; GROENEVELD, H.W.; NUNES, M.A. photosynthetic responses of *Coffea arabica* leaves to a short-term light exposure in relation to n availability. **Physiologia Plantarum**, Kobenhavn, v. 101, p. 229-239, 1997.

REIS, A.R.de; FURLANI JUNIOR, E.F.; BUZETTI, S.; ANREOTTI, M. Diagnóstico da exigência do cafeeiro em nitrogênio pela utilização do medidor portátil de clorofila. **Bragantia**, Campinas, v. 65, n. 1, p. 163-171, 2006.

RENA, A.B.; MAESTRI, M. Fisiologia do cafeeiro. In: RENA, A.B. (Ed.). **Cultura do cafeeiro**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa de Potassa e do Fosfato, 1986. p. 13-85.

RIGHI, C.A. **Avaliação Ecofisiológica do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) em sistema Agroflorestal e em monocultivo**. 2005. 101 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

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

RITENOUR, G.L.; JOY, K.W.; BUNNING, J.; HANGEMAN, R.H. Intracellular localization of nitrate reductase, nitrite reductase, and glutamic acid dehydrogenase in green leaf tissue. **Plant Physiology**, Rockville, v. 42, p. 233-237, 1967.

RODRIGUES, O. **Efeito da deficiência hídrica na fotossíntese, na resistência estomática, na atividade da redutase do nitrato e no acúmulo de prolina livre em *Coffea arabica* L.** 1988. 52 p. Dissertação (Mestrado) da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1988.

ROSEMBERG, N.J. **Microclimate: the biological environment**. New York: John Wiley, 1974. 315 p.

RUFTY, T.W.; VOLK, R.J., McCLURE, P.R.; ISRAEL, D.W.; RAPER, Jr.C.O. Relative content of NO_3^- and reduced N in xylem exudate as an indicator of root reduction of concurrently absorbed $^{15}\text{NO}_3^-$. **Plant Physiology**, Rockville, v. 69, p. 166-170, 1982.

RUIZ, J.M.; BAGHOUR, M.; BRETONES, G.; BELAKBIR, A.; ROMERO, L. Nitrogen metabolism in tobacco plants. **International Journal of Plant Sciences**, Chicago, v. 159, n. 1, p. 121-126, 1998.

SAMUELS, G. **Abonos para café**. Revista de Agricultura de Puerto Rico, San José, v. 44, n. 2, p. 121-125, 1957. Citado por CHAVES, J.C.D. **Concentração de nutrientes nos frutos e folhas e exportação de nutrientes pela colheita durante um ciclo produtivo do cafeeiro (*Coffea arabica* L. cv. Catuai)**. 1982. 131 p. Tese de Mestrado Solos e Nutrição de Plantas da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” da Universidade de São Paulo, Piracicaba. 1982.

SARRUGE, J.R.; HAAG, H. P. **Análises químicas em plantas**. Piracicaba: ESALQ, Depto Química, 1974. 56 p.

SENTELHAS, P.C.; MARIN, F.R.; PEREIRA, A.R.; ANGELOCCI, L.R.; VILLA NOVA, N.A.; BARBIERI, V. **Análise dos dados climáticos e do balanço hídrico climatológico de Piracicaba (1917-1997)**. Piracicaba: ESALQ, DFM, 1998. 81 p.

SHADCHINA, T.M.; DMITRIEVA, V.V. Leaf chlorophyll content as a possible diagnostic mean for the evaluation of plant nitrogen uptake from the soil. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 18, n. 7, p. 1427-1437, 1995.

SILVA E SOUZA, V.H. da; MAESTRI, M.; BRAGA, J.; CHAVES, J.R.P. Variações no teor de alguns elementos minerais nas folhas e frutos de café (*Coffea arábica* L. var. "Mundo Novo"). Revista Ceres. Viçosa/MG, v. 22, n. 123, p. 310-331, 1975. Citado por CHAVES, J.C.D. **Concentração de nutrientes nos frutos e folhas e exportação de nutrientes pela colheita durante um ciclo produtivo do cafeeiro** (*Coffea arabica* L. cv. Catuai). 1982. 131 p. Tese de Mestrado Solos e Nutrição de Plantas da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" da Universidade de São Paulo, Piracicaba. 1982.

SILVA, E.A.; DaMATTa, F.M., DUCATTI, C. REGAZZI, A.J.; BARROS, R.S. Seasonal changes in vegetative growth and photosynthesis in *Arábica* coffee trees. *Field Crops Res.*, v. 89, p. 349-357, 2004.

SILVIUS, J.E.; KREMER, D.F.; LEE, D.R. Carbon assimilation and translocation in soybean leaves at different stages of development. **Plant Physiology**, Rockville, v. 62, p. 54-58, 1978.

SIVASANKAR, S.; OAKS, A. Nitrate assimilation in higher plants: the effect of metabolites and light. **Plant Physiology and Biochemistry**, Paris, v. 34, p. 609-620, 1996.

SMITH, B.G.; STEPHENS, W.; BURGESS, P.J.; CARR, M.K.V. Effects of light, temperature, irrigation and fertilizer on photosynthetic rate in tea (*Camellia sinensis* L.). **Experimental Agriculture**, London, v. 29, p. 291-306, 1993.

SOARES, A.M.; OLIVEIRA, L. E. M. de; SALES, J.F. Trocas gasosas e seringueiras em consórcios, 2004. Disponível em: <http://www.coffebreak.com.br?ocafezal.asp?SE=8&ID=322>. Acesso em: 26/julho/2004.

SOLOMONSON, L.P.; BARBER, M.J. Assimilatory nitrate reductase: functional properties and regulation. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo Alto, v. 41, p. 225-253, 1990.

STITT, M. Fructose-2, 6-biphosphate and plant carbohydrate metabolism. **Plant Physiology**, Rockville, v. 84, p. 202-204, 1987.

STREETER, J. G.; BOESLER, M. E. Comparison of in vivo and in vitro assays for nitrate reductase in soybeans leaves. **Plant Physiology**, Rockville, v. 4, p. 448-450, 1972.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3.ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719 p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant physiology**. 2nd ed. Sunderland: Sinuaer Associates, 1998. 792 p.

TISCHINER, R. Nitrate uptake and reduction in higher and lower plants. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v. 23, p. 1005-1024, 2000.

VILLA NOVA, N.A.; SENTELHAS, P.C. Evapotranspiração máxima do feijoeiro, cv. Goiano precoce, em função do índice de área foliar e da evapotranspiração do tanque Classe A. In: REUNIÃO LATINO-AMERICANA DE AGROMETEOROLOGIA, 2., 1999, Florianópolis. **Anais ...** Florianópolis: SBA, 1999. v. 1, p. 212-218.

VINCENTZ, M.; MOUREAUX, T.; LEYDECKER, M.T.; VAUCHERET, H.; CABOCHE, M. Regulation of nitrate and nitrite reductase expression in *Nicotiana plumbaginifolia* leaves by nitrogen and carbon metabolites. **Plant Journal**, Oxford, v. 3, p. 315-324, 1993.

VOLPE, C.A. Fenologia dos citros. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE CITROS, 2., 1992, Bebedouro. **Anais ...** Campinas: Fundação Cargill, 1992. p. 107-120.

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

WORMER, T. M.; EBAGOLE, H. E. Visual scoring of starch in *Coffea arabica* L. **Methods Expl. Agric.**, v. 1, p. 32-40, 1965^a citado por CARVALHO, C.H.S. de. **Relação entre a seca de ramos e a produção, teor de minerais, teor de amido e morte de raízes da progênie de Catimor UFV-1359** (*Coffea arabica* L.). 1985. 45 p. Tese de Mestrado Fisiologia Vegetal da Universidade Federal de Viçosa/MG, Viçosa. 1985.

WORMER, T.M. Some physiological problems of coffee cultivation in Kenya. **Café**, v. 6, p. 1-20, 1965. Citado por CARVALHO, C.H.S.de. **Relação entre a seca de ramos e a produção, teor de minerais, teor de amido e morte das raízes da progênie de Catimor UFV-1359** (*Coffea arabica* L.). 1985. 45 p. Tese de Mestrado Fisiologia Vegetal da Universidade Federal de Viçosa/MG, Viçosa. 1985.

WORMER, T.M., EBAGOLE, H.E. Visual scoring of starch in *Coffea arabica* L. 11. Starch in bearing and non-bearing branches. **Exp. Agric.**, v. 1, p. 41-45, 1965b. Citado por CARVALHO, C.H.S.de. **Relação entre a seca de ramos e a produção, teor de minerais, teor de amido e morte das raízes da progênie de Catimor UFV-1359** (*Coffea arabica* L.). 1985. 45 p. Tese de Mestrado Fisiologia Vegetal da Universidade Federal de Viçosa/MG, Viçosa. 1985.

YANEVA, I.A.; BAYDANOVA, V.D.; VUNKOVA-RADEVA, R.V. Nitrate reductase activation state in leaves of molybdenum-deficient winter wheat. **Journal of Plant Physiology**, Stuttgart, v. 157, p. 495-501, 2000.

YEMM, E.W.; COCKING, E.C. The determination of amino acid with ninhydrin. **Analyst**, London, v. 80, p. 209-213, 1955.

A P Ê N D I C E S



Figura 18 – Ramos de *Coffea arabica* cv. Obatã do mês 10 do experimento, início da floração e aparecimento de chumbinhos e gãos, (A) plantas a pleno sol (B) plantas sob sombreamento parcial



Figura 19 – Ramos de *Coffea arabica* cv. Obatã do mês 11 do experimento, floração, aparecimento e início do enchimento dos grãos, plantas a pleno sol (A e B) plantas sob sombreamento parcial (C e D)



Figura 20 – Ramos de *Coffea arabica* cv. Obatã do mês 12 do experimento, enchimento dos grãos, (A) plantas a pleno sol (B) plantas sob sombreamento parcial

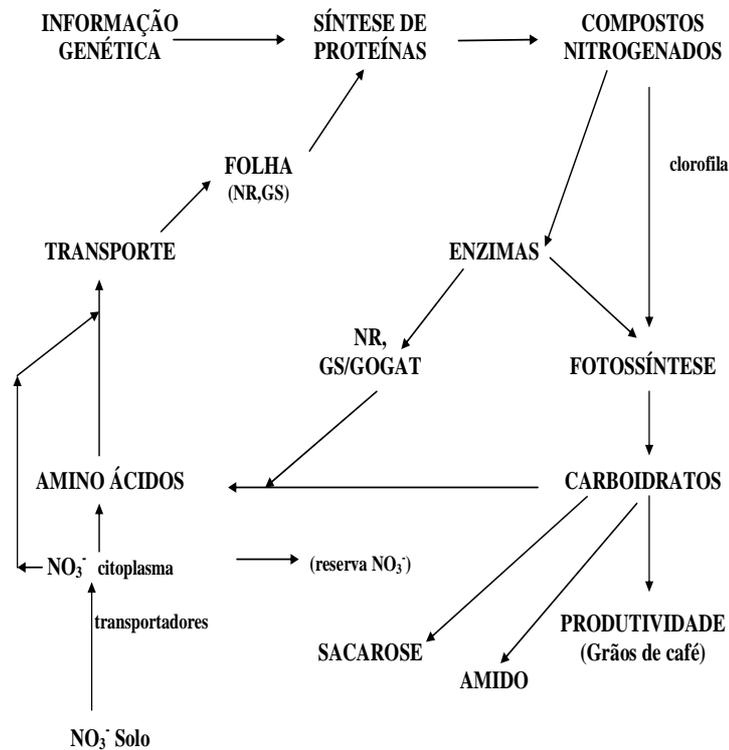


Figura 21 - Fluxo da informação genética e sua relação com o metabolismo do carbono e do nitrogênio em cafeeiro

A N E X O S

Tabela 7 - Medianas referentes à porcentagem de peso fresco em folhas de *Coffea arabica* cv. Obatã, resultados da análise estatística segundo ANOVA, teste de Friedman/Rank com $\alpha=5\%$ e teste de Mann – Whitney (p valor)

Ambiente			
Coletas	Sombra	Sol	Sombra x Sol
Tempo	Parte superior	Parte superior	P valor superior
Mês 8	12.4190 A	8.6920 a	0.0063
Mês 9	13.5125 AB	9.3950 ab	0.0011
Mês 10	14.7240 ABC	9.4210 abc	0.0008
Mês 11	16.3940 BCD	11.4415 abcd	0.0008
Mês 12	18.7000 CDE	8.0810 abce	0.0008
	Parte inferior	Parte inferior	P valor inferior
Mês 8	13.1020 ABCDEF	11.1525 abcdf	0.0063
Mês 9	14.2655 ABCDEFG	10.2285 abcdefg	0.0008
Mês 10	15.9555 ABCDEFGH	11.807 bcdfgh	0.0011
Mês 11	17.8105 BCDEFGHI	10.9415 abcdfghi	0.0008
Mês 12	14.2945 ABCDEFGHI	8.5650 abcegi	0.0008

* Letras maiúsculas iguais não diferem estatisticamente do teste de Friedman/Rank para as plantas de sombra.

** Letras minúsculas iguais não diferem estatisticamente do teste de Friedman/Rank para as plantas de sol.

*** Teste de Mann – Whitney (p valor), $p > 0,05$ não diferem estatisticamente.

Tabela 8 - Medianas referentes à porcentagem de peso seco em folhas de *Coffea arabica* cv. Obatã, resultados da análise estatística segundo ANOVA, teste de Friedman/Rank com $\alpha=5\%$ e teste de Mann – Whitney (p valor)

Ambiente			
Coletas	Sombra	Sol	Sombra x Sol
Tempo	Parte superior	Parte superior	P valor superior
Mês 8	5.325 A	3.831 a	0.0209
Mês 9	5.0345 AB	4.0605 ab	0.0117
Mês 10	5.195 ABC	3.7000 abc	0.0016
Mês 11	6.3175 ABCD	4.883 abcd	0.0008
Mês 12	6.995 DE	3.6045 abce	0.0008
	Parte inferior	Parte inferior	P valor inferior
Mês 8	6.1625 ABCDEF	5.005 abdf	0.0033
Mês 9	5.716 ABCDEFG	4.048 abcdefg	0.0087
Mês 10	6.4895 ABCDEFGH	5.3025 abdfgh	0.0357
Mês 11	6.4205 ABCDEFGHI	4.2575 abcdefghi	0.0008
Mês 12	4.884 ABCDFGHI	3.684 abcdegi	0.0008

* Letras maiúsculas iguais não diferem estatisticamente do teste de Friedman/Rank para as plantas de sombra.

** Letras minúsculas iguais não diferem estatisticamente do teste de Friedman/Rank para as plantas de sol.

*** Teste de Mann – Whitney (p valor), $p > 0,05$ não diferem estatisticamente.

Tabela 9 - Medianas referentes ao teor de nitrogênio em folhas de *Coffea arabica* cv. Obatã, resultados da análise estatística segundo ANOVA, teste de Friedman/Rank com $\alpha=5\%$ e teste de Mann – Whitney (p valor)

Ambiente			
Coletas	Sombra	Sol	Sombra x Sol
Tempo	Parte superior	Parte superior	P valor superior
Mês 8	22.9000 A	26.6500 a	0.0008
Mês 9	24.9500 AB	26.2300 ab	0.0157
Mês 10	27.5900 BC	27.3000 abc	0.1722
Mês 11	25.0300 ABCD	29.7000 acd	0.0008
Mês 12	35.9500 CE	35.9000 de	0.5635
	Parte inferior	Parte inferior	P valor inferior
Mês 8	24.8500 ABCDF	25.8500 abcf	0.0101
Mês 9	24.4500 ABCDFG	29.5000 acdeg	0.0008
Mês 10	26.5500 BCDEFGH	24.4000 abcfh	0.0063
Mês 11	29.8750 BCDEFHI	27.8800 abcdefghi	0.0019
Mês 12	35.3750 CDEHI	28.3000 abcdefgi	0.0008

* Letras maiúsculas iguais não diferem estatisticamente do teste de Friedman/Rank para as plantas de sombra.

** Letras minúsculas iguais não diferem estatisticamente do teste de Friedman/Rank para as plantas de sol.

*** Teste de Mann – Whitney (p valor), $p > 0,05$ não diferem estatisticamente.

Tabela 10 - Medianas referentes ao teor de fósforo em folhas de *Coffea arabica* cv. Obatã, resultados da análise estatística segundo ANOVA, teste de Friedman/Rank com $\alpha=5\%$ e teste de Mann – Whitney (p valor)

Ambiente			
Coletas	Sombra	Sol	Sombra x Sol
Tempo	Parte superior	Parte superior	P valor superior
Mês 8	2.3000 A	3.5950 a	0.0008
Mês 9	3.0000 AB	3.3050 ab	0.0008
Mês 10	3.000 ABC	3.4250 abc	0.0008
Mês 11	3.1250 ABCD	3.8350 acd	0.0008
Mês 12	3.2250 BCDE	3.5950 abcde	0.0008
	Parte inferior	Parte inferior	P valor inferior
Mês 8	2.7900 ABCDEF	2.8050 bcf	0.7527
Mês 9	3.3000 BCDEFG	2.2650 bfg	0.0008
Mês 10	3.5250 BCDEGH	2.7850 bcfgh	0.0008
Mês 11	4.6000 DEGHI	3.5250 abcdefi	0.0008
Mês 12	4.6000 DEGHI	3.1750 abcefghi	0.0008

* Letras maiúsculas iguais não diferem estatisticamente do teste de Friedman/Rank para as plantas de sombra.

** Letras minúsculas iguais não diferem estatisticamente do teste de Friedman/Rank para as plantas de sol.

*** Teste de Mann – Whitney (p valor), $p > 0,05$ não diferem estatisticamente.

Tabela 11 - Medianas referentes ao teor de potássio em folhas de *Coffea arabica* cv. Obatã, resultados da análise estatística segundo ANOVA, teste de Friedman/Rank com $\alpha=5\%$ e teste de Mann – Whitney (p valor)

Ambiente			
Coletas	Sombra	Sol	Sombra x Sol
Tempo	Parte superior	Parte superior	P valor superior
Mês 8	22.3500 A	22.9500 a	0.0357
Mês 9	25.4600 AB	22.8000 ab	0.0008
Mês 10	28.0900 ABC	24.4200 abc	0.0008
Mês 11	30.3050 ABCD	25.5500 abcd	0.0008
Mês 12	33.5950 BCDE	29.8450 de	0.0008
	Parte inferior	Parte inferior	P valor inferior
Mês 8	25.1500 ABCDEF	23.6700 abcdf	0.0117
Mês 9	22.3650 ABCDF	26.7500 acdefg	0.0008
Mês 10	31.3750 BCDEFH	24.4200 abcdfgh	0.0008
Mês 11	36.6200 CDEHI	28.5050 cdeghi	0.0008
Mês 12	37.6600 DEHI	27.4800 cdefghi	0.0008

* Letras maiúsculas iguais não diferem estatisticamente do teste de Friedman/Rank para as plantas de sombra.

** Letras minúsculas iguais não diferem estatisticamente do teste de Friedman/Rank para as plantas de sol.

*** Teste de Mann – Whitney (p valor), $p > 0,05$ não diferem estatisticamente.

Tabela 12 - Medianas referentes ao teor de cálcio em folhas de *Coffea arabica* cv. Obatã, resultados da análise estatística segundo ANOVA, teste de Friedman/Rank com $\alpha=5\%$ e teste de Mann – Whitney (p valor)

Ambiente			
Coletas	Sombra	Sol	Sombra x Sol
Tempo	Parte superior	Parte superior	P valor superior
Mês 8	4.2300 A	5.8750 a	0.0008
Mês 9	4.8450 AB	6.4100 ab	0.0008
Mês 10	3.9350 ABC	5.8950 abc	0.0008
Mês 11	4.6900 ABCD	6.0500 abcd	0.0008
Mês 12	4.9450 BCDE	6.4750 abcde	0.0008
	Parte inferior	Parte inferior	P valor inferior
Mês 8	5.0150 BDEF	5.7750 abcdef	0.248
Mês 9	4.7150 ABCDEFG	6.8400 abcdefg	0.0008
Mês 10	4.8100 ABCDEFGH	6.2500 abcdefgh	0.0008
Mês 11	5.3950 BDEFGHI	5.5750 acdfhi	0.1152
Mês 12	5.5900 BEFHI	5.6250 acdfhi	0.7929

* Letras maiúsculas iguais não diferem estatisticamente do teste de Friedman/Rank para as plantas de sombra.

** Letras minúsculas iguais não diferem estatisticamente do teste de Friedman/Rank para as plantas de sol.

*** Teste de Mann – Whitney (p valor), $p > 0,05$ não diferem estatisticamente.

Tabela 13 - Medianas referentes ao teor de magnésio em folhas de *Coffea arabica* cv. Obatã, resultados da análise estatística segundo ANOVA, teste de Friedman/Rank com $\alpha=5\%$ e teste de Mann – Whitney (p valor)

Ambiente			
Coletas	Sombra	Sol	Sombra x Sol
Tempo	Parte superior	Parte superior	P valor superior
Mês 8	1.3300 A	1.7000 a	0.0008
Mês 9	1.7350 B	1.7000 ab	0.248
Mês 10	1.5300 ABC	1.6000 abc	0.0587
Mês 11	1.5650 ABCD	2.3550 d	0.0008
Mês 12	1.6350 ABCDE	2.4850 de	0.0008
	Parte inferior	Parte inferior	P valor inferior
Mês 8	2.6900 BEF	1.7150 abcd	0.0023
Mês 9	2.2900 BEFG	2.7000 abdefg	0.4948
Mês 10	2.2050 BCDEFGH	1.7250 abcdefgh	0.0117
Mês 11	1.5400 ABCDEI	1.8950 abcdefghi	0.0008
Mês 12	1.6000 ABCDEFGHI	1.6900 abcfghi	0.0587

* Letras maiúsculas iguais não diferem estatisticamente do teste de Friedman/Rank para as plantas de sombra.

** Letras minúsculas iguais não diferem estatisticamente do teste de Friedman/Rank para as plantas de sol.

*** Teste de Mann – Whitney (p valor), $p > 0,05$ não diferem estatisticamente.

Tabela 14 - Medianas referentes ao teor de cobre em folhas de *Coffea arabica* cv. Obatã, resultados da análise estatística segundo ANOVA, teste de Friedman/Rank com $\alpha=5\%$ e teste de Mann – Whitney (p valor)

Ambiente			
Coletas	Sombra	Sol	Sombra x Sol
Tempo	Parte superior	Parte superior	P valor superior
Mês 8	3.6700 A	14.5250 a	0.0008
Mês 9	3.2950 AB	4.3000 b	0.0008
Mês 10	3.4500 ABC	4.9500 bc	0.0008
Mês 11	2.7400 ABCD	8.3400 acd	0.0008
Mês 12	1.7750 ABCD	5.300 abcde	0.0008
	Parte inferior	Parte inferior	P valor inferior
Mês 8	7.6100 AF	5.9000 abcdef	0.0008
Mês 9	5.8550 ACDFG	2.0950 bcg	0.0008
Mês 10	4.3400 ABCFGH	4.9300 bcdefgh	0.0209
Mês 11	3.9150 ABCFGHI	5.7800 abcdefghi	0.046
Mês 12	4.2750 ABCFGHI	3.4650 bceghi	0.0008

* Letras maiúsculas iguais não diferem estatisticamente do teste de Friedman/Rank para as plantas de sombra.

** Letras minúsculas iguais não diferem estatisticamente do teste de Friedman/Rank para as plantas de sol.

*** Teste de Mann – Whitney (p valor), $p > 0,05$ não diferem estatisticamente.

Tabela 15 - Medianas referentes ao teor de ferro em folhas de *Coffea arabica* cv. Obatã, resultados da análise estatística segundo ANOVA, teste de Friedman/Rank com $\alpha=5\%$ e teste de Mann – Whitney (p valor)

Ambiente			
Coletas	Sombra	Sol	Sombra x Sol
Tempo	Parte superior	Parte superior	P valor superior
Mês 8	89.7500 A	124.5650 a	0.0008
Mês 9	104.2800 AB	127.6700 ab	0.0008
Mês 10	129.1850 ABC	154.4950 abc	0.0008
Mês 11	138.6000 ABCD	176.1300 cd	0.0008
Mês 12	143.2500 BCDE	116.9850 abe	0.0008
	Parte inferior	Parte inferior	P valor inferior
Mês 8	169.6050 DEF	139.1000 abcdef	0.0008
Mês 9	182.6100 DEFG	119.1000 abcefg	0.0008
Mês 10	130.3450 ABCDEH	169.5100 acdfh	0.0008
Mês 11	156.3800 DEFGHI	139.3300 abcdefgh	0.0008
Mês 12	142.7400 BCDEFGHI	107.9300 abeg	0.0008

* Letras maiúsculas iguais não diferem estatisticamente do teste de Friedman/Rank para as plantas de sombra.

** Letras minúsculas iguais não diferem estatisticamente do teste de Friedman/Rank para as plantas de sol.

*** Teste de Mann – Whitney (p valor), $p > 0,05$ não diferem estatisticamente.

Tabela 16 - Medianas referentes ao teor de manganês em folhas de *Coffea arabica* cv. Obatã, resultados da análise estatística segundo ANOVA, teste de Friedman/Rank com $\alpha=5\%$ e teste de Mann – Whitney (p valor)

Ambiente			
Coletas	Sombra	Sol	Sombra x Sol
Tempo	Parte superior	Parte superior	P valor superior
Mês 8	63.9300 A	309.5600 a	0.0008
Mês 9	63.1950 AB	320.2000 ab	0.0008
Mês 10	80.2000 C	377.5500 bc	0.0008
Mês 11	65.9950 ABD	436.8000 cd	0.0008
Mês 12	66.5000 ABDE	359.4900 abcde	0.0008
	Parte inferior	Parte inferior	P valor inferior
Mês 8	77.8300 CF	297.2950 abf	0.0008
Mês 9	72.8750 ACDEFG	319.0850 abcefg	0.0008
Mês 10	66.9850 ABDEFGH	366.3000 bcdegh	0.0008
Mês 11	75.3800 CDEFGHI	434.5950 cdehi	0.0008
Mês 12	71.9900 ACDEFGHI	335.2150 abcdefghi	0.0008

* Letras maiúsculas iguais não diferem estatisticamente do teste de Friedman/Rank para as plantas de sombra.

** Letras minúsculas iguais não diferem estatisticamente do teste de Friedman/Rank para as plantas de sol.

*** Teste de Mann – Whitney (p valor), $p > 0,05$ não diferem estatisticamente.

Tabela 17 - Medianas referentes ao teor de zinco em folhas de *Coffea arabica* cv. Obatã, resultados da análise estatística segundo ANOVA, teste de Friedman/Rank com $\alpha=5\%$ e teste de Mann – Whitney (p valor)

Ambiente			
Coletas	Sombra	Sol	Sombra x Sol
Tempo	Parte superior	Parte superior	P valor superior
Mês 8	8.8650 A	8.4700 a	1.0000
Mês 9	8.9700 AB	9.3850 ab	0.1893
Mês 10	8.1750 ABC	28.5000 bc	0.0008
Mês 11	4.9700 ABCD	5.9100 abd	0.0039
Mês 12	4.9800 ABCDE	14.3750 abce	0.0008
	Parte inferior	Parte inferior	P valor inferior
Mês 8	8.9000 ABCDEF	8.8400 abcdef	1.0000
Mês 9	13.3100 ABCFG	4.9200 abdfg	0.0008
Mês 10	6.2000 ABCDEFH	14.0300 abcdefh	0.0028
Mês 11	4.4400 DEHI	5.6800 abdfg	0.1722
Mês 12	7.2450 ABCDEFGHI	15.0150 abcefh	0.0008

* Letras maiúsculas iguais não diferem estatisticamente do teste de Friedman/Rank para as plantas de sombra.

** Letras minúsculas iguais não diferem estatisticamente do teste de Friedman/Rank para as plantas de sol.

*** Teste de Mann – Whitney (p valor), $p > 0,05$ não diferem estatisticamente.

Tabela 18 - Medianas referentes à porcentagem de proteína total solúvel em folhas de *Coffea arabica* cv. Obatã, resultados da análise estatística segundo ANOVA, teste de Friedman/Rank com $\alpha=5\%$ e teste de Mann – Whitney (p valor)

Ambiente			
Coletas	Sombra	Sol	Sombra x Sol
Tempo	Parte superior	Parte superior	P valor superior
Mês 8	3.2000 A	3.2600 a	0.1722
Mês 9	3.3650 AB	4.5200 ab	0.0008
Mês 10	3.6150 ABC	3.8850 ac	0.0008
Mês 11	1.0400 AD	1.5000 ad	0.0008
Mês 12	1.5700 ABCDE	1.8450 acde	0.0008
	Parte inferior	Parte inferior	P valor inferior
Mês 8	3.1350 ABCDEF	3.6150 abcdef	0.0033
Mês 9	3.4850 ABCEFG	4.4200 abcfg	0.0008
Mês 10	3.7250 ABCFG	3.7850 abcdefg	0.5286
Mês 11	1.1350 ADEFI	1.3400 adefi	0.0033
Mês 12	1.3300 ABDEFGI	1.4850 adefi	0.0011

* Letras maiúsculas iguais não diferem estatisticamente do teste de Friedman/Rank para as plantas de sombra.

** Letras minúsculas iguais não diferem estatisticamente do teste de Friedman/Rank para as plantas de sol.

*** Teste de Mann – Whitney (p valor), $p > 0,05$ não diferem estatisticamente.

Tabela 19 - Medianas referentes à porcentagem de aminoácidos totais em folhas de *Coffea arabica* cv. Obatã, resultados da análise estatística segundo ANOVA, teste de Friedman/Rank com $\alpha=5\%$ e teste de Mann – Whitney (p valor)

Ambiente			
Coletas	Sombra	Sol	Sombra x Sol
Tempo	Parte superior	Parte superior	P valor superior
Mês 8	3.8550 A	4.1050 a	0.4008
Mês 9	4.1300 AB	4.5350 ab	0.0661
Mês 10	5.1050 ABC	5.2900 abc	0.4623
Mês 11	6.5100 ABCD	10.3000 cd	0.0008
Mês 12	30.3900 CDE	17.0650 de	0.0063
	Parte inferior	Parte inferior	P valor inferior
Mês 8	4.1600 ABCDF	4.5850 abcdf	0.1152
Mês 9	2.5000 ABCF	4.3800 abcfg	0.0008
Mês 10	7.0300 ABCDEFH	5.5650 abcdefgh	0.0046
Mês 11	6.8800 ABCDEFHI	10.3350 cdehi	0.0008
Mês 12	24.4150 CDEHI	5.5550 abcdefghi	0.0008

* Letras maiúsculas iguais não diferem estatisticamente do teste de Friedman/Rank para as plantas de sombra.

** Letras minúsculas iguais não diferem estatisticamente do teste de Friedman/Rank para as plantas de sol.

*** Teste de Mann – Whitney (p valor), $p > 0,05$ não diferem estatisticamente.

Tabela 20 - Medianas referentes à porcentagem de amido em folhas de *Coffea arabica* cv. Obatã, resultados da análise estatística segundo ANOVA, teste de Friedman/Rank com $\alpha=5\%$ e teste de Mann – Whitney (p valor)

Ambiente			
Coletas	Sombra	Sol	Sombra x Sol
Tempo	Parte superior	Parte superior	P valor superior
Mês 8	1.6300 A	1.6650 a	0.6365
Mês 9	1.3350 AB	1.3100 b	0.1893
Mês 10	1.5800 ABC	1.4700 abc	0.0274
Mês 11	2.3100 ACD	1.7700 acd	0.0008
Mês 12	1.3400 ABCE	2.2000 ade	0.0008
	Parte inferior	Parte inferior	P valor inferior
Mês 8	1.6400 ABCDEF	1.5450 abcdf	0.2271
Mês 9	1.1900 ABCEFG	1.5050 abcdfg	0.0033
Mês 10	1.4700 ABCEFGH	1.4300 abcdfgh	0.4623
Mês 11	1.7150 ABCDFH	1.5750 abcdefghi	0.0209
Mês 12	1.0000 BEGH	1.4150 abcdcfghi	0.0008

* Letras maiúsculas iguais não diferem estatisticamente do teste de Friedman/Rank para as plantas de sombra.

** Letras minúsculas iguais não diferem estatisticamente do teste de Friedman/Rank para as plantas de sol.

*** Teste de Mann – Whitney (p valor), $p > 0,05$ não diferem estatisticamente.

Tabela 21 - Medianas referentes à porcentagem de açúcares redutores em folhas de *Coffea arabica* cv. Obatã, resultados da análise estatística segundo ANOVA, teste de Friedman/Rank com $\alpha= 5\%$ e teste de Mann – Whitney (p valor)

Ambiente			
Coletas	Sombra	Sol	Sombra x Sol
Tempo	Parte superior	Parte superior	P valor superior
Mês 8	0.2375 A	0.1670 a	0.0087
Mês 9	0.6420 B	0.4755 b	0.0357
Mês 10	0.3730 AC	0.3705 bc	0.6744
Mês 11	0.1650 ACD	0.2850 abcd	0.0274
Mês 12	0.2300 ACDE	0.3350 abcde	0.0587
	Parte inferior	Parte inferior	P valor inferior
Mês 8	0.2495 ABCDEF	0.2055 acdef	0.0661
Mês 9	0.7390 BCG	0.4435 bcdeg	0.0011
Mês 10	0.4035 ABCDEFGH	0.3655 bcdefgh	0.0406
Mês 11	0.2550 ACDEFHI	0.3100 abcdefghi	0.1278
Mês 12	0.1900 ACDEFI	0.2750 acdefhi	0.0274

* Letras maiúsculas iguais não diferem estatisticamente do teste de Friedman/Rank para as plantas de sombra.

** Letras minúsculas iguais não diferem estatisticamente do teste de Friedman/Rank para as plantas de sol.

*** Teste de Mann – Whitney (p valor), $p > 0,05$ não diferem estatisticamente.

Tabela 22 - Medianas referentes à atividade da redutase do nitrato em folhas de *Coffea arabica* cv. Obatã, resultados da análise estatística segundo ANOVA, teste de Friedman/Rank com $\alpha= 5\%$ e teste de Mann – Whitney (p valor)

Ambiente			
Coletas	Sombra	Sol	Sombra x Sol
Tempo	Parte superior	Parte superior	P valor superior
Mês 8	117.6400 A	99.4050 a	0.0046
Mês 9	54.7950 AB	52.1950 ab	0.7527
Mês 10	114.3950 ABC	58.0650 abc	0.0008
Mês 11	42.3950 BD	37.2650 bcd	0.0929
Mês 12	225.8600 ACE	197.3900 ae	0.9164
	Parte inferior	Parte inferior	P valor inferior
Mês 8	127.1800 ACEF	78.3500 abcef	0.0008
Mês 9	76.0600 ABCDG	51.0650 abcdfg	0.0046
Mês 10	92.6050 ABCDFGH	58.8800 abcdfgh	0.0008
Mês 11	90.7950 ABCDFGHI	48.0000 bcdfgh	0.0008
Mês 12	173.6600 ACEFHI	151.3300 aefh	0.4008

* Letras maiúsculas iguais não diferem estatisticamente do teste de Friedman/Rank para as plantas de sombra.

** Letras minúsculas iguais não diferem estatisticamente do teste de Friedman/Rank para as plantas de sol.

*** Teste de Mann – Whitney (p valor), $p > 0,05$ não diferem estatisticamente.

Tabela 23 - Medianas referentes à quantidade de clorofila total lidas com aparelho SPAD em folhas de *Coffea arabica* cv. Obatã, resultados da análise estatística segundo ANOVA, teste de Friedman/Rank com $\alpha= 5\%$ e teste de Mann – Whitney (p valor)

Ambiente			
Coletas	Sombra	Sol	Sombra x Sol
Tempo	Parte superior	Parte superior	P valor superior
Mês 8	66.2000 A	68.9850 a	0.0209
Mês 9	66.7050 AB	69.0400 ab	0.0742
Mês 10	63.1050 ABC	72.1400 abc	0.0008
Mês 11	68.3850 ABD	68.2950 abcd	0.9164
Mês 12	62.2050 ABCE	64.3500 abde	0.1415
	Parte inferior	Parte inferior	P valor inferior
Mês 8	66.2700 ABCDEF	70.1950 abcdef	0.0742
Mês 9	64.3750 ABCDEFG	67.0050 abcdefg	0.1722
Mês 10	63.9200 ABCDEFGH	72.1950 abcdfh	0.0008
Mês 11	63.3900 ABCDEFGHI	66.8000 abcdefghi	0.0063
Mês 12	58.6500 ACEGHI	62.9050 bdefgi	0.1415

* Letras maiúsculas iguais não diferem estatisticamente do teste de Friedman/Rank para as plantas de sombra.

** Letras minúsculas iguais não diferem estatisticamente do teste de Friedman/Rank para as plantas de sol.

*** Teste de Mann – Whitney (p valor), $p > 0,05$ não diferem estatisticamente.

Tabela 24 – - Medianas referentes à quantidade de clorofila total em folhas de *Coffea arabica* cv. Obatã, resultados da análise estatística segundo ANOVA, teste de Friedman/Rank com $\alpha= 5\%$ e teste de Mann – Whitney (p valor)

Ambiente			
Coletas	Sombra	Sol	Sombra x Sol
Tempo	Parte superior	Parte superior	P valor superior
Mês 8	0.0295 A	0.0230 a	0.0046
Mês 9	0.0345 AB	0.0500 b	0.0008
Mês 10	0.0335 ABC	0.0370 abc	0.0181
Mês 11	0.034 ABCD	0.0325 abcd	0.9581
Mês 12	0.0480 BCDE	0.0550 bce	0.0117
	Parte inferior	Parte inferior	P valor inferior
Mês 8	0.0315 ABCDF	0.0190 acdf	0.0011
Mês 9	0.0345 ABCDEFG	0.0335 abcdfg	0.9581
Mês 10	0.0330 ABCDEFGH	0.0340 abcdfgh	0.5635
Mês 11	0.0335 ABCDEFGHI	0.0400 abcdefghi	0.0117
Mês 12	0.0375 BCDEFGHI	0.0505 bcdeghi	0.0019

* Letras maiúsculas iguais não diferem estatisticamente do teste de Friedman/Rank para as plantas de sombra.

** Letras minúsculas iguais não diferem estatisticamente do teste de Friedman/Rank para as plantas de sol.

*** Teste de Mann – Whitney (p valor), $p > 0,05$ não diferem estatisticamente.

Tabela 25 - Medianas referentes à quantidade de clorofila *a* em folhas de *Coffea arabica* cv. Obatã, resultados da análise estatística segundo ANOVA, teste de Friedman/Rank com $\alpha= 5\%$ e teste de Mann – Whitney (p valor)

Ambiente			
Coletas	Sombra	Sol	Sombra x Sol
Tempo	Parte superior	Parte superior	P valor superior
Mês 8	0.0105 A	0.0085 a	0.0063
Mês 9	0.0235 B	0.0060 ab	0.0008
Mês 10	0.0215 ABC	0.0250 ac	0.0661
Mês 11	0.0240 BCD	0.0225 acd	0.7527
Mês 12	0.0260 BCDE	0.0310 cde	0.1893
	Parte inferior	Parte inferior	P valor inferior
Mês 8	0.0120 ABCDF	0.0070 abdf	0.0014
Mês 9	0.0225 ABCDEFG	0.0225 abcdefg	0.4309
Mês 10	0.0225 ABCDEFGH	0.0230 acdefgh	0.4008
Mês 11	0.0235 BCDEFGHI	0.0275 acdefghi	0.0929
Mês 12	0.0235 BCDEFGHI	0.0300 cdefghi	0.0239

* Letras maiúsculas iguais não diferem estatisticamente do teste de Friedman/Rank para as plantas de sombra.

** Letras minúsculas iguais não diferem estatisticamente do teste de Friedman/Rank para as plantas de sol.

*** Teste de Mann – Whitney (p valor), $p > 0,05$ não diferem estatisticamente.

Tabela 26 - Medianas referentes à quantidade de clorofila *b* em folhas de *Coffea arabica* cv. Obatã, resultados da análise estatística segundo ANOVA, teste de Friedman/Rank com $\alpha= 5\%$ e teste de Mann – Whitney (p valor)

Ambiente			
Coletas	Sombra	Sol	Sombra x Sol
Tempo	Parte superior	Parte superior	P valor superior
Mês 8	0.0190 A	0.0145 a	0.0033
Mês 9	0.0100 B	0.0440 ab	0.0008
Mês 10	0.0115 ABC	0.0120 ac	0.2936
Mês 11	0.0100 BCD	0.0105 acd	0.5635
Mês 12	0.0205 ACE	0.0265 abce	0.0239
	Parte inferior	Parte inferior	P valor inferior
Mês 8	0.0205 ACEF	0.0120 acdef	0.0014
Mês 9	0.0110 ABCDEFG	0.0120 acdfg	0.4309
Mês 10	0.0100 ABCDEFGH	0.0100 acdfgh	0.8336
Mês 11	0.0100 BCDGHI	0.0130 acdefghi	0.0039
Mês 12	0.0125 ABCDEFGHI	0.0195 abcdefgi	0.0587

* Letras maiúsculas iguais não diferem estatisticamente do teste de Friedman/Rank para as plantas de sombra.

** Letras minúsculas iguais não diferem estatisticamente do teste de Friedman/Rank para as plantas de sol.

*** Teste de Mann – Whitney (p valor), $p > 0,05$ não diferem estatisticamente.

Tabela 27 - Medianas referentes à quantidade de carotenóides em folhas de *Coffea arabica* cv. Obatã, resultados da análise estatística segundo ANOVA, teste de Friedman/Rank com $\alpha= 5\%$ e teste de Mann – Whitney (p valor)

Ambiente			
Coletas	Sombra	Sol	Sombra x Sol
Tempo	Parte superior	Parte superior	P valor superior
Mês 8	12.4045 A	9.5515 a	0.0046
Mês 9	25.9775 B	7.1165 ab	0.0008
Mês 10	24.0115 ABC	29.9645 ac	0.0087
Mês 11	24.7415 ABCD	28.214 acd	0.0087
Mês 12	25.8985 ABCDE	28.8575 acde	0.4623
	Parte inferior	Parte inferior	P valor inferior
Mês 8	13.4225 ACDEF	7.5340 ab	0.0011
Mês 9	25.3305 BCDEFG	29.4925 acdeg	0.0011
Mês 10	23.799 ABCDEFGH	28.7915 acdegh	0.0008
Mês 11	25.4125 BCDEFGHI	31.0260 acdeghi	0.0063
Mês 12	27.2985 BCDEGHI	36.5710 cdeghi	0.046

* Letras maiúsculas iguais não diferem estatisticamente do teste de Friedman/Rank para as plantas de sombra.

** Letras minúsculas iguais não diferem estatisticamente do teste de Friedman/Rank para as plantas de sol.

*** Teste de Mann – Whitney (p valor), $p > 0,05$ não diferem estatisticamente.