

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

**Atributos do solo e da nutrição do cafeeiro em sistema agroflorestal e
em monocultivo**

Jovan de Jesus

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

**Piracicaba
2008**

Jovan de Jesus
Engenheiro Agrônomo

Atributos do solo e da nutrição do cafeeiro em sistema agroflorestal e em monocultivo

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

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

**Piracicaba
2008**

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

Jesus, Jovan de
Atributos do solo e da nutrição do cafeeiro em sistema agroflorestal e em
monocultivo / Jovan de Jesus. - - Piracicaba, 2008.
147 p. : il.

Tese (Doutorado) - - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2008.
Bibliografia.

1. Café 2. Fertilidade do solo 3. Nitrogênio 4. Nutrição vegetal 5. Potássio 6.
Seringueira 7. Sistemas agroflorestais I. Título

CDD 633.73
J58a

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

**A minha mãe Elizete,
por seu amor, carinho
e dedicação em todos
os momentos e ao meu
irmão Júlio César, pelo
apoio, incentivo e amizade.**

OFEREÇO

**A minha avó Maria (In memoriam),
As minhas tias,
Deca e Rosa (In memoriam)
Aos meus primos,
Luiz e Luiz Alberto (In memoriam)**

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus pela vida.

A Escola Agrotécnica Federal de Santa Inês – BA, pela oportunidade de realização do curso de Doutorado, aos professores e funcionários pelo incentivo e amizade.

A Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” - ESALQ/USP e ao Departamento de Produção Vegetal, pela oportunidade de realização do curso de Doutorado e aos professores pelos ensinamentos.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal do Ensino Superior - CAPES, pela concessão da bolsa de estudos.

Ao professor Marcos Silveira Bernardes, pela oportunidade, orientação, ensinamentos, paciência e amizade.

A minha mãe Elizete, ao meu irmão Júlio César, aos meus primos Luciano, Maria Luiza, Adilson (In memoriam), Maria Lúcia e Jackson, e aos demais familiares pelo carinho e incentivo em todos os momentos.

Aos professores José Dias Costa, José Laércio Favarin e José Leonardo de Moraes Gonçalves, pelas sugestões dadas a este trabalho.

Ao professor Edwin Moisés Marcos Ortega, pela orientação nas análises estatísticas.

A Sílvia Zinsly e demais funcionários da biblioteca pela presteza no atendimento.

Ao professor Alício Simões Dias e ao pesquisador da Embrapa, Hélio José Alves, pelo incentivo à realização do Doutorado.

Ao Pós-doutorando Ciro Abbud Righi e a pesquisadora da Embrapa, Aurenny Maria Pereira Lunz, pelo apoio e sugestões na realização deste trabalho.

A Erick Espinoza Nuñez e Edjane Gonçalves, pelo companheirismo, amizade e ajuda no trabalho.

Aos colegas Roberta Pierry Uzzo, Itamar Alvino de Souza e Fabiana Taveira de Camargo pelo apoio, companheirismo e amizade.

Aos colegas, Selma, Vítor, Mário, André Reis, Thales, Amilton, Cláudio, José Flávio, Eniel, Liana, Paulo Eduardo (In memoriam), André, Eliane, Angélica, Vitória, Dolorice, Carol, Luzia, Horst, Francisco, Tereza Cristina, Josina, Juan, Marcelo Pereira, Marcelo Gimenes, Rubén, Cassiano e Javier pela convivência e amizade.

Aos colegas baianos, Jurema, Edmilson, Tales Miller, Elaine, Alex, Suane, Rosely, Onildo, Zuzinaide e Amâncio pelo apoio, companheirismo e amizade.

Aos colegas de república, Fernando, Hector, José Júnior e Niceu, pelo acolhimento na minha chegada à Piracicaba, ao companheirismo e amizade.

Ao Dr. José Guilherme Cortez, pela viabilização das análises sensoriais de café.

A Fábio Ruellas pela realização das análises sensoriais do café.

A Ipanema Coffees e a Márcio Silveira, pela realização das análises sensoriais do café.

Ao professor Pablo Vidal Torrado pela oportunidade de realização das análises no laboratório de análises químicas do Departamento de Solos e Nutrição de Plantas, ao Técnico Luiz Antônio Silva Júnior pela atenção e apoio, a aluna de graduação Josiane Millani Lopez, pelo inestimável auxílio nas análises, ao pós-graduando Fernando Ferreira pelas sugestões e ao funcionário Leandro pelo apoio.

A Helena Pescarin Chamma, pelo apoio na realização de análises no laboratório de Sementes.

Aos professores Marcílio de Almeida e Cristina Almeida pela oportunidade de realização das análises no laboratório de Anatomia Vegetal, à técnica Cássia Regina Fernandes pelo inestimável auxílio nas análises e a Katherine Batagin e Érika Graner, pelo apoio e companheirismo.

A Luciane Lopes Toledo, secretária da pós-graduação da Fitotecnia e a Maria Solizete, secretária da Fisiologia de Plantas, pela atenção, presteza e amizade.

A Celestino Alves Ferreira, Luiz Gustavo São João e Sílvia Borghesi, secretários do Departamento de Produção Vegetal, pela atenção, presteza e amizade.

A Erreinaldo Bortolazzo, Marcelo Batista e demais funcionários do Departamento de Produção Vegetal, Adilson Dias, Adilson Teixeira, Ananias, Antônio Andrade, Aparecido, César, Claudinei, Cláudio, Daniel, Edson, Gaudêncio, Gerson, João Elias, João Rodrigues, José Casarolo, José Santos, José de Almeida, José Nivaldo, Laerte, Luis Cláudio, Osmair, Osvaldo Pelissari, Rodrigo e Wilson, pelo apoio na realização dos trabalhos e amizade.

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

SUMÁRIO

RESUMO	8
ABSTRACT.....	9
LISTA DE FIGURAS	10
LISTA DE TABELAS	13
1 INTRODUÇÃO.....	15
2 DESENVOLVIMENTO.....	17
2.1 Revisão bibliográfica.....	17
2.1.1 Considerações gerais	17
2.1.2 Sistemas agroflorestais (SAFs).....	19
2.1.3 Sistemas agroflorestais com cafeeiro.....	21
2.1.4 Aspectos nutricionais e o cafeeiro	27
2.1.4.1 Nitrogênio (N).....	33
2.1.4.2 Potássio (K).....	36
2.1.5 Matéria Orgânica do Solo.....	38
2.2 MATERIAL E MÉTODOS	41
2.2.1 Caracterização da área experimental.....	41
2.2.2 Delineamento experimental.....	44
2.2.3 Parâmetros avaliados	45
2.2.3.1 Deposição de serapilheira.....	45
2.2.3.2 Avaliação da velocidade de decomposição da serapilheira	46
2.2.3.3 Fertilidade do solo	48
2.2.3.3.1 Amostragem do solo.....	48
2.2.3.3.2 Evolução da fertilidade do solo à sombra e a pleno sol.....	49
2.2.3.3.3 Fracionamento químico da matéria orgânica.....	49
2.2.3.4 Teores foliares de N e K do cafeeiro.....	51
2.2.3.4.1 Amostragem foliar	51
2.2.3.5 Crescimento do cafeeiro	51
2.2.3.6 Peso foliar específico (PFE)	52
2.2.3.7 Anatomia foliar do cafeeiro	52
2.2.3.7.1 Análise histológica	52
2.2.3.7.2 Número de estômatos	53
2.2.3.8 Maturação dos frutos do cafeeiro	54
2.2.3.8.1 Avaliação simultânea da maturação	54
2.2.3.9 Produção do cafeeiro.....	54
2.2.3.10 Qualidade da bebida do café.....	56

2.3 Resultados e discussão	56
2.3.1 Deposição de serapilheira	56
2.3.2 Avaliação da velocidade de decomposição da serapilheira	62
2.3.3 Fertilidade do solo	70
H	1
2.3.3.1 Evolução da fertilidade do solo à sombra e a pleno sol	87
2.3.3.2 Fracionamento químico da matéria orgânica	90
2.3.4 Teores foliares de N e K do cafeeiro	93
2.3.5 Crescimento do cafeeiro	99
2.3.6 Peso foliar específico (PFE)	109
2.3.7 Anatomia foliar do cafeeiro	111
2.3.7.1 Análise histológica	111
2.3.7.2 Número de estômatos	112
2.3.8 Maturação dos frutos do cafeeiro	114
2.3.9 Produção do cafeeiro	117
2.3.10 Qualidade da bebida do café	122
3 CONCLUSÕES	132
REFERÊNCIAS	134

RESUMO

Atributos do solo e da nutrição do cafeeiro em sistema agroflorestal e em monocultivo

A produção de café é uma atividade importante para a economia do Brasil, maior produtor e também principal exportador. O cafeeiro apresenta ciclo bienal de produção, cuja oscilação é acentuada no Brasil dada às condições climáticas e ao sistema de cultivo predominante a pleno sol. Pesquisas envolvendo avaliação do estado nutricional do cafeeiro em sistemas agroflorestais são raras, o que dificulta as recomendações de adubação para esta condição. Objetivou-se neste estudo, o melhor entendimento da fertilidade do solo e do estado nutricional do cafeeiro em relação aos teores de N e K no microclima gerado pelo sistema agroflorestal e em monocultivo. A pesquisa foi conduzida no período de março de 2006 a maio de 2008, no campo experimental pertencente ao Departamento de Produção Vegetal da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” da Universidade de São Paulo (ESALQ/USP) em Piracicaba – SP, localizada nas coordenadas geográficas 22° 42' 20" S, 47° 37' 22" W e altitude 565 m. O experimento foi composto de seringueiras do clone PB 235, plantada em dezembro de 1991, no espaçamento de 8,0 x 2,5 m e cafeeiros cv. Obatã IAC 1669-20, plantado em janeiro de 2002, no espaçamento de 3,4 x 0,9 m, sob diferentes condições de sombreamento: no sub-bosque e interfaceando as árvores da seringueira e em monocultivo. O delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado com quatro repetições. O experimento de avaliação da fertilidade do solo constou de seis tratamentos, constituídos pelas radiações sobre o solo: 1) 6,4%; 2) 7%; 3) 35,4%; 4) 47,5%; 5) 60,9%; 6) 64,9%. O experimento de avaliação dos teores foliares de N e K do cafeeiro constou de quatro tratamentos, constituídos pelas radiações sobre os cafeeiros: 1) 35%; 2) 45%; 3) 90%; 4) 100%. O estudo constou, adicionalmente, dos experimentos de deposição e avaliação da velocidade de decomposição da serapilheira, frações da matéria orgânica, crescimento, peso foliar específico, anatomia foliar, maturação dos frutos e produção do cafeeiro e qualidade da bebida do café. As variáveis analisadas no experimento de fertilidade do solo foram; pH, P, K, Ca, Mg, soma de bases, H+Al, CTC, V % e matéria orgânica; a avaliação do estado nutricional constou das análises das variáveis N e K foliar. Os atributos de fertilidade do solo (pH e V %), foram mais elevados nos tratamentos 6,4%, 7% e 35,4%, especialmente nas camadas superficiais (0-2 e 2-7 cm) e o teor de matéria orgânica na camada de 0-2 cm, proporcionados pelas seringueiras. Menores teores de K do solo ocorreram nos tratamentos 7% e 35,4%, devido a absorção pelas seringueiras. A característica de CTC elevada do solo não foi modificada pelos tratamentos. Os teores foliares de N e K do cafeeiro a pleno sol alcançaram valores mais elevados e mais baixos, respectivamente, do que aqueles dos cafeeiros à sombra. Os cafeeiros sob 45% de irradiância mantiveram estado nutricional adequado em relação aos teores foliares de N e K.

Palavras-chave: Cafeeiro; Seringueira; Sistema agroflorestal; Fertilidade do solo; Teores foliares; Nitrogênio; Potássio

ABSTRACT

Soil and nutritional status attributes of coffee under agroforestry systems and monocrop

Coffee production is an important activity in the economy of Brazil, first world producer and exporter. Coffee trees present biennial production cycles, with oscillation accentuated due to the climatic conditions and the production system in monocrop under full natural radiation. Studies involving the evaluation of nutritional status of coffee in agroforestry systems are scarce, what difficult the fertilization recommendations for this conditions. The objective of the this study was of getting a better understanding of the soil fertility and nutritional status, specially for the N and K content, of coffee trees under agroforestry system and monocrop. The research was conducted from March 2006 to May 2008, at the experimental field of the Plant Production Department of the Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" of the Universidade de São Paulo (ESALQ/USP), in Piracicaba – SP (22^o 42' 20" S, 47^o 37' 22" W) at the altitude of 565 m. The experiment was composed of rubber trees, clone PB 235, planted in December 1991, in the spacing of 8.0 x 2.5 m and coffee trees cv. Obatã IAC 1669-20, planted in January 2002, in the spacing of 3.4 x 0.9 m, under different shading conditions: undertorey or interfacing the rubber trees and in monocrop. The experimental design was completely randomized with four replications. The soil fertility experiment had six treatments, done by the different radiation regimes reaching the soil surface: 1) 6.4%; 2) 7%; 3) 35.4%; 4) 47.5%; 5) 60.9%; 6) 64.9%. The coffee nutritional status, in terms of the N and K leaf content had four treatments, done by the different radiation regime reaching the coffee canopy: 1) 35%; 2) 45%; 3) 90%; 4) 100%. Additionally, the study involved the evaluation of the litter deposition and decomposition rates, the soil organic matter fractions, coffee trees growth, its specific leaf area and anatomy, beans maturation, coffee yield and beverage quality. The variable under analysis in the soil fertility experiment were; pH, P, K, Ca, Mg, bases sum, H+Al, CTC, V % and organic matter; in the nutritional status were the N and K leaf content. The soil fertility attributes of pH and V % were improved in the treatments 6.4%, 7% e 35.4%, specially in the upper soils layers (0-2 e 2-7 cm) and organic matter content in the top soil layer (0-2 cm), due to the effect of the rubber trees. Lower K contents in the soil occurred in the treatments 7% e 35.4%, due to the rubber root uptake. The natural high CTC of the soil was not modified by treatments. N and K leaf content of coffee trees under full natural radiation (monocrop) reached the highest and lowest levels, respectively, in comparison with coffee trees under shade. Coffee at 45% of natural radiation maintained appropriate nutritional status in terms of N and K leaf content.

Keywords: Coffee; Rubber tree; Agroforestry system; Soil fertility; Leaf content; Nitrogen; Potassium

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Desenho esquemático com a disposição das culturas na área experimental, em Piracicaba – SP.....	42
Figura 2 – Cafeeiros no sub-bosque das seringueiras (a), interfaceando as seringueiras (b) e em Monocultivo (c).....	43
Figura 3 – Bandeja coletora de serapilheira instalada no centro da entre fileiras de cafeeiros.....	46
Figura 4 – Disposição das sacolas de serapilheira sobre a superfície do solo.....	47
Figura 5 – Profundidades de amostragem do solo sob a projeção da copa da planta.....	48
Figura 6 – Produção mensal de serapilheira em SAFs de seringueira e cafeeiro e em monocultivos de cafeeiro e seringueiras no período de maio de 2006 a abril de 2008.....	57
Figura 7 – Produção total de serapilheira em SAFs de seringueira e cafeeiro e em monocultivos de cafeeiro e seringueira nos períodos de maio/06 a abril/07 e maio/07 a abril/08.....	60
Figura 8 – Massa seca de serapilheira sob diferentes radiações em relação ao tempo.....	62
Figura 9 – Estado de decomposição de amostras de serapilheira de uma repetição, sob diferentes níveis de radiação, após 301 dias de instalação do experimento.....	63
Figura 10 – Comparação da distribuição da massa remanescente de serapilheira sob radiação de 7% pelos modelos experimental e teórico exponencial.....	65
Figura 11 – Comparação da distribuição da massa remanescente da serapilheira sob a radiação de 7% pelos modelos experimental e de regressão exponencial.....	65
Figura 12 – Comparação da distribuição da massa remanescente de serapilheira sob a radiação de 35,4% pelos modelos experimental e teórico exponencial.....	66
Figura 13 – Comparação da distribuição da massa remanescente de serapilheira sob a radiação de 35,4% pelos modelos experimental e de regressão exponencial.....	66
Figura 14 – Comparação da distribuição da massa remanescente de serapilheira sob a radiação de 45,8% pelos modelos experimental e teórico exponencial.....	67
Figura 15 – Comparação da distribuição da massa remanescente de serapilheira sob radiação de 45,8% pelos modelos experimental e de regressão exponencial.....	67
Figura 16 – Comparação da distribuição da massa remanescente de serapilheira sob radiação de 71,6% pelos modelos experimental e teórico exponencial.....	68
Figura 17 – Comparação da distribuição da massa de serapilheira sob radiação de 71,6% pelos modelos experimental e de regressão exponencial.....	68
Figura 18 – Comparação da distribuição da massa de serapilheira sob radiação de 100% pelos modelos experimental e teórico exponencial.....	69
Figura 19 – Comparação da distribuição da massa de serapilheira sob radiação de 100% pelos modelos experimental e de regressão exponencial.....	69
Figura 20 – Massa seca de serapilheira sob diferentes radiações no período de 5 anos.....	70

Figura 21 – Massa seca de serapilheira sob diferentes radiações no período de 10 anos.....	70
Figura 22 – Resultados da análise química solo efetuada em 2006.....	72
Figura 23 – Resultados da análise química do solo efetuada em 2007.....	83
Figura 24 – Teor de S do solo na sombra e no pleno sol, no período de setembro de 2006 a dezembro de 2007.....	89
Figura 25 – Teor de K do solo na sombra e no pleno sol, no período de setembro de 2007 a dezembro de 2008.....	89
Figura 26 – Frações húmicas do solo nas profundidades de 0-2 e 2-7 cm sob diferentes níveis de radiação solar.....	90
Figura 27 – Fração ácidos húmicos do solo em relação à radiação solar disponível.....	92
Figura 28 – Teores foliares de N do cafeeiro em SAF e em monocultivo em 2006 e 2007.....	94
Figura 29 – Teores foliares de K do cafeeiro em SAF e em monocultivo em 2006 e 2007.....	97
Figura 30 – Altura dos cafeeiros sob diferentes níveis de radiação solar.....	100
Figura 31 – Diâmetro do caule do cafeeiro sob diferentes níveis de radiação solar.....	105
Figura 32 – Peso foliar específico do cafeeiro sob diferentes níveis de radiação solar.....	110
Figura 33 – Número de estômatos do cafeeiro sob diferentes níveis de radiação solar.....	113
Figura 34 – Maturação dos frutos do cafeeiro em SAF e em monocultivo em 13/07/06.....	114
Figura 35 – Maturação dos frutos do cafeeiro em SAF e em monocultivo na data da colheita específica do tratamento em 2006.....	115
Figura 36 – Maturação dos frutos do cafeeiro em SAF e em monocultivo em 14/06/07.....	116
Figura 37 – Maturação dos frutos do cafeeiro em SAF e em monocultivo na data da colheita específica o tratamento em 2007.....	117
Figura 38 – Produção de café em coco sob diferentes irradiâncias em 2006 e 2007. As mesmas letras minúsculas (entre anos no tratamento) e maiúsculas (entre tratamentos no ano), acima das colunas, correspondem que as produções não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5%.....	119
Figura 39 – Produção de café beneficiado sob diferentes irradiâncias em 2006 e 2007. As mesmas letras minúsculas (entre anos no tratamento) e maiúsculas (entre tratamentos no ano), acima das colunas, correspondem que as produções não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5%.....	120
Figura 40 – Rendimento de produção de café sob diferentes irradiâncias em 2006 e 2007. As mesmas letras minúsculas (entre anos no tratamento) e maiúsculas (entre tratamentos no ano), acima das colunas, correspondem que as produções não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5%.....	121
Figura 41 – Notas de conceito da análise sensorial do tratamento 35% amostra N colheita 2006 (A), 45%	

amostra N colheita 2006 (B) e 90% amostra N colheita 2006 (C).....	125
Figura 42 – Notas de conceito da análise sensorial do tratamento 100% amostra N colheita 2006 (A), 35% amostra N colheita 2007 (B) e 35% amostra SB colheita 2007 (C).....	126
Figura 43 – Notas de conceito da análise sensorial do tratamento 35% amostra CB colheita 2007 (A), 45% amostra N colheita 2007 (B) e 45% amostra SB colheita 2007 (C).....	127
Figura 44 – Notas de conceito da análise sensorial do tratamento 45% amostra CB colheita 2007 (A), 90% amostra N colheita 2007 (B) e 100% amostra N colheita 2007 (C).....	128

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tratamentos de avaliação da fertilidade do solo e estado nutricional do cafeeiro sob diferentes radiações.....	44
Tabela 2 – Avaliações que constituíram o estudo e os respectivos tratamentos (radiações).....	45
Tabela 3 – Produção de serapilheira nos diferentes sistemas nos períodos de 2006/2007 e 2007/2008....	57
Tabela 4 – Deposição mensal de serapilheira no período de maio de 2006 a abril de 2007.....	58
Tabela 5 – Deposição mensal de serapilheira no período de maio de 2007 a abril de 2008.....	59
Tabela 6 – Produção de serapilheira nos períodos de 2006/2007 e 2007/2008.....	61
Tabela 7 – Deposição de macronutrientes no solo pela serapilheira (folhas) da seringueira.....	61
Tabela 8 – Coeficiente de decomposição da serapilheira (K) nos diferentes níveis de radiação solar.....	63
Tabela 9 – Teores médios de macronutrientes nas folhas de seringueira que constituíram a serapilheira.....	73
Tabela 10 – Resultados da análise química do solo efetuada em 2006.....	74
Tabela 11 – Limites de interpretação de acidez e saturação por bases, estabelecidos por Raij et al. (1997) para o Estado de São Paulo.....	75
Tabela 12 – Limites de interpretação para a matéria orgânica (MO) estabelecidos por Raij et al. (1997) para o Estado de São Paulo.....	77
Tabela 13 – Limites de interpretação para K e P estabelecidos por Raij et al. (1997) para o Estado de São Paulo.....	78
Tabela 14 – Limites de interpretação para Ca e Mg estabelecidos por Raij et al. (1997) para o Estado de São Paulo.....	80
Tabela 15 – Resultados da análise química do solo efetuada em 2007.....	85
Tabela 16 – Teor de S do solo na sombra e pleno sol em diferentes épocas.....	87
Tabela 17 – Teor de K do solo na sombra e no pleno sol em diferentes épocas.....	88
Tabela 18 – Análise de variância para a fração húmica.....	91
Tabela 19 – Análise de variância para a fração ácidos fúlvicos.....	91
Tabela 20 – Análise de variância para a fração ácidos húmicos.....	93
Tabela 21 – Teor da fração ácidos húmicos sob diferentes níveis de radiação.....	93
Tabela 22 – Limites de interpretação de teores de N e K na matéria seca foliar do cafeeiro estabelecidos por Raij et al. (1997).....	94
Tabela 23 – Teores foliares de N do cafeeiro sob diferentes irradiâncias nos anos de 2006 e 2007.....	95
Tabela 24 – Teores foliares de N do cafeeiro sob diferentes irradiâncias em três estações nos anos de	

2006 e 2007.....	96
Tabela 25 – Teores foliares de K do cafeeiro sob diferentes irradiâncias em três estações nos anos de 2006 e 2007.....	98
Tabela 26 – Diferença de média de altura do cafeeiro (m) entre épocas de avaliação.....	101
Tabela 27 – Diferença de média de altura dos cafeeiros (m) entre tratamentos.....	102
Tabela 28 – Diferença de média de altura dos cafeeiros (m) entre tratamentos em cada época de avaliação.....	103
Tabela 29 – Diferença de média do diâmetro do caule dos cafeeiros (mm) entre épocas de avaliação...	106
Tabela 30 – Diferença de média do diâmetro do caule dos cafeeiros (mm) entre tratamentos.....	107
Tabela 31 – Diferença de média do diâmetro do caule dos cafeeiros (mm) entre tratamentos em cada época de avaliação.....	108
Tabela 32 – Peso foliar específico do cafeeiro sob diferentes níveis de radiação.....	110
Tabela 33 – Áreas de tecidos foliares do cafeeiro sob diferentes níveis de radiação.....	112
Tabela 34 – Número de estômatos foliares do cafeeiro sob diferentes níveis de radiação.....	113
Tabela 35 – Índice de bienalidade de produção do cafeeiro (café coco) sob diferentes níveis de radiação solar nos anos de 2006 e 2007.....	122
Tabela 36 – Classificação do café pela análise sensorial da bebida.....	123
Tabela 37 – Classificação do café pela análise sensorial da bebida.....	129

1 INTRODUÇÃO

A produção de café é uma das atividades mais importantes para a economia brasileira. O Brasil detém o título de maior produtor, tendo alcançado 33,740 milhões de sacas na safra 2007/2008 (ICO, 2008) o que correspondeu à 28,86% da produção mundial, sendo também o principal exportador, com aproximadamente 24,8 milhões de sacas exportadas em 2007 (ABIC, 2008). A demanda mundial pelo café expande-se a taxas muito baixas, dada a baixa elasticidade renda e ao fato de ser consumido por países ricos de pequeno crescimento populacional. Assim, a expansão das vendas no mercado internacional é função de substituição de concorrentes, com a procura pelo café dependendo não só do seu respectivo preço, mas também do preço dos outros tipos existentes no mercado (CAIXETA, 2001). Além disso, os produtores enfrentam grandes oscilações de preços que são inversamente relacionados às suas produções.

Embora o cafeeiro cultivado a pleno sol alcance produções maiores que o cafeeiro cultivado à sombra, este último constitui um sistema agroflorestal (SAF) que pode apresentar vários benefícios além da produção de café, como a produção de madeira, lenha, forragem, aumento no teor de matéria orgânica do solo, redução da necessidade de capinas, proteção do solo contra a erosão e melhor infiltração da água que abastece os depósitos subterrâneos. De qualquer forma, resultados experimentais, avaliando a produtividade, não têm permitido afirmar que o cultivo a pleno sol seja a melhor alternativa no longo prazo. Ademais, o cafeeiro nessa condição apresenta um ciclo bienal de produção, oscilação de produção acentuada no Brasil dada às condições climáticas e ao sistema de cultivo.

As diferenças na ecologia das regiões cafeeiras do mundo indubitavelmente sugerem que o cultivo desta rubiácea não tem de ser idêntico em todas as partes e os resultados experimentais que se obtém geralmente não concordam entre si ou são diametralmente opostos. Não obstante, os membros do gênero *Coffea* mostram uma ampla margem de adaptabilidade e se em adição se faz o manejo dos cultivos racionalmente, as colheitas são no geral remunerativas ainda sob modalidades de cultivo diferentes, sempre e quando a disponibilidade dos fatores de produção estiver acima de um mínimo necessário (CARVAJAL, 1984).

Pesquisas envolvendo avaliação do estado nutricional e ensaios de adubação em sistemas agroflorestais são raras, o que dificulta as recomendações para esta condição. É importante que se tenha uma avaliação do estado nutricional do cafeeiro, para possibilitar o melhor conhecimento das necessidades nutricionais da planta no cultivo em regime de sombra, comparativamente ao regime a pleno sol, e a determinação da adubação adequada nos diferentes sistemas de cultivo. Portanto, objetivou-se neste estudo o melhor entendimento da condição nutricional do cafeeiro em relação aos teores foliares de N e K e da fertilidade do solo nos microclima gerados pelo sistema agroflorestal em comparação ao monocultivo. Para tal, foram analisados os resultados de análises foliares, de fertilidade do solo, de crescimento e produção do cafeeiro. Estabeleceram-se as seguintes hipóteses: (a) o microclima gerado pelas árvores sombreadoras (seringueiras) favorece o aproveitamento dos nutrientes do solo pelo cafeeiro; (b) a fertilidade do solo será maior no ambiente sombreado, devido ao maior aporte de material orgânico, à maior ciclagem de nutrientes e à proteção do solo promovidos pelas árvores sombreadoras.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Revisão bibliográfica

2.1.1 Considerações gerais

A espécie *Coffea arabica* L. é originária das regiões montanhosas da Abissínia na Etiópia em latitudes de 6 a 9^o N e longitudes de 34 a 40^o E, a altitudes compreendidas entre 1000 e 2500 m. A temperatura média dessas regiões é de cerca de 20^o C, com precipitação superior a 1600 mm anuais, entremeada por um período seco de 3 a 4 meses. Nessas condições originais, o cafeeiro cresce permanentemente sob densas florestas tropicais, ao abrigo das altas temperaturas (SYLVAIN,1955a) apud Rena e Maestri (1986).

Nos anos recentes, a cafeicultura tem experimentado uma diversificação nas formas de produção. Entretanto, em algumas regiões produtoras a cafeicultura intensificou o uso de insumos e irrigação, enquanto em outras regiões se procura otimizar os recursos mediante a aplicação de técnicas agroflorestais, com vista a melhorar a produtividade dos cafezais arborizados que existem desde a introdução da cultura na América (ALFARO-VILLATORO et al., 2004).

Embora se saiba que insumos sejam necessários para alcançar produções elevadas, seu uso pode ficar proibitivo em função da baixa disponibilidade e elevado custo em muitas regiões em desenvolvimento. Portanto, é fundamental a adoção de sistemas de manejo de solo e nutrientes que maximizem o aproveitamento de fontes biológicas de nutrientes e material orgânico que possam reduzir a necessidade de insumos (KANG, 1997). Segundo Ferreira (2005), o manejo dos agroecossistemas, numa perspectiva voltada à sustentabilidade, depende do uso racional dos recursos naturais, inclusive o solo, por meio do aumento da eficiência da ciclagem e da retenção de nutrientes no sistema. Para isso, deve-se considerar a disponibilidade de nutrientes no solo e a capacidade de gerar fitomassa.

A cultura do café no Brasil tradicionalmente desenvolveu-se sem proteção arbórea, excetuando-se algumas experiências isoladas. Nela, registraram-se diversos eventos, como geada e seca severas, que ocasionaram sérios prejuízos, os quais

poderiam ter sido amenizados com adoção de arborização (prática caracterizada pela introdução de árvores normalmente dispersas uniformemente na área, ou seja, um tipo de sistema agroflorestal), pelo seu efeito de cobertura dos cafeeiros, sombreamento e de quebra-vento (BAGGIO, 1983).

O cafeeiro da espécie *Coffea arabica* é propenso a frutificar em demasia, o que leva à exaustão de nutrientes na planta, à restrição do crescimento vegetativo, assim como à redução no número de gemas disponíveis para florescer no ano seguinte. Os ramos vegetativos frequentemente secam quando os nutrientes nas folhas e ramos são transferidos para os frutos. A morte dos ramos é acompanhada pela morte das raízes, o que limita a capacidade de recuperação da planta (WILSON, 1985b). Estas reações da planta resultam em oscilação de produção a cada duas safras, que configura o denominado ciclo bienal de produção.

Segundo Matiello (1986), o ciclo bienal de produção do cafeeiro no Brasil é um fenômeno muito importante que atua sobre a produtividade em determinados anos. O ciclo bienal é mais pronunciado em lavouras mal nutridas, mal tratadas, sendo comum em áreas de cerrado onde, em casos graves, a lavoura leva de 2 a 3 anos para se recuperar após uma elevada produção. A bienalidade pode ser mais pronunciada em função do sistema de cultivo a pleno sol, o que condiciona altas produções num ano, com o conseqüente esgotamento da planta.

Alfaro-Villatoro et al. (2004) relatam que o crescente interesse pela conservação e desenvolvimento dos sistemas de cafeeiros sombreados surge, em parte, como uma motivação de compradores e consumidores preocupados com a degradação ambiental causada pela agricultura intensiva. Entretanto, para os produtores, a produção mediante a combinação com árvores constitui-se numa alternativa para diversificar, obter maior retorno econômico direta ou indiretamente e tornar a atividade mais sustentável. Ferreira (2005) relata que há um crescente interesse para a arborização dos cafeeiros, estimulado pelas certificadoras de produtos orgânicos e de certificadoras específicas para produtos originados de sistemas de produção que preservam espécies arbóreas em extinção ou que servem de habitat para aves migratórias.

Segundo Dietsch et al. (2004), a promoção do cultivo de cafeeiro sombreado pode diminuir a produção e, ao longo do tempo, ajudar a aliviar efeitos dos períodos de

crise de mercado do café enquanto avançariam as medidas de conservação ambiental. O cafeeiro é menos produtivo sob condições de muita sombra mais requer menores quantidades de insumos. A certificação de produção de café sob sombra pode aumentar os benefícios financeiros aos produtores, enquanto mantém o habitat adequado para conservação.

Sistemas de cultivo múltiplo com o uso de rotações de cultura ou intercultivo, onde duas ou mais culturas são cultivadas simultaneamente, podem melhorar o controle de pragas e aumentar a eficiência do uso de nutrientes e água. Os SAFs podem melhorar a disponibilidade e a eficiência do uso de nutrientes e água e podem também reduzir a erosão e produzir lenha, aumentando o estoque de carbono (TILMAN et al., 2002). A experimentação agrícola em SAFs, tendo como base o conhecimento dos processos ecofisiológicos envolvidos, deverá continuar a desenvolver-se tendo como meta o desenvolvimento integral. Com uma população mundial em expansão e recursos naturais limitados ou diminuindo, alternativas para uso sustentável do solo, tais como agrofloresta, não são somente de interesse acadêmico (MUSCHLER; BONNEMAN, 1997).

Em situações apropriadas, talvez as principais razões válidas para o sombreamento sejam reduzir temperaturas foliares excessivamente altas, manter níveis de produção em equilíbrio com o suprimento limitado de nutrientes ou realizar controle de pragas, doenças e plantas daninhas. Em muitas situações de cultivo, há ainda a necessidade de definir quais os objetivos específicos do sombreamento (WILLEY, 1975).

2.1.2 Sistemas agroflorestais (SAFs)

Segundo Pereira et al. (1997) os SAFs representam um conjunto de técnicas alternativas de uso da terra que implicam na combinação de espécies florestais com cultivos agrícolas, atividades pecuárias ou ambas. Essas combinações podem ser simultâneas ou escalonadas no tempo e de caráter temporário ou permanente. A utilização dos sistemas agroflorestais tem sido recomendada principalmente para as regiões tropicais onde os fatores climáticos, edáficos e biológicos geralmente não são favoráveis à monocultura de larga escala.

O presente interesse no estudo de SAFs, como disciplina científica e ferramenta de desenvolvimento, reside principalmente no potencial que tal sistema de cultivo representa em aumentar a sustentabilidade econômica e ecológica dos agroecossistemas. Além disso, as intervenções agroflorestais são frequentemente citadas por contribuírem em vários aspectos do ambiente social e cultural, tais como criando estabilidade com o direito de posse da terra ou aumentando os valores estéticos e de recreação na paisagem (MUSCHLER; BONNEMAN, 1997). Segundo Baggio (1983) a introdução do componente florestal diversifica a produção, gerando novos mercados e empregos diretos com a exploração do SAF.

Nos últimos anos tem-se desenvolvido nos trópicos um marcado interesse pelos SAFs como uma modalidade de sistema de produção que permite obter tanto produtos agrícolas como florestais numa mesma área (FOURNIER, 1988). Práticas agroflorestais podem ajudar a melhorar os sistemas de uso do solo em direção à maior sustentabilidade e proporcionar um ponto de partida em direção a outros sistemas de uso do solo de maior viabilidade, freqüentemente baseados em árvores (MUSCHLER; BONNEMAN, 1997). SAFs em aléias permitem a integração de uma faixa mais ampla de espécies lenhosas do que em sistemas mistos, porque o arranjo espacial dos componentes limita a interação entre eles e possibilita opções de manejo mais flexíveis para reduzir a competição e aumentar a complementaridade entre árvores e culturas (KANG; WILSON, 1987) apud (KANG, 1997).

Beer et al. (1988) afirmam que uma razão para manter árvores de sombra em plantios de culturas perenes é a renda proporcionada pelos seus frutos e madeira, produtos que podem suplementar a renda do produtor, aspecto especialmente importante quando os preços dos produtos das culturas sombreadas estiverem baixos. Considerando-se as vastas áreas cultivadas com cafeeiros no Brasil, à adoção da cultura da seringueira para arborização ou formação de renques quebra-ventos, poderá agregar excelente fonte de renda extra para os cafeicultores e substancial acréscimo à produção nacional de borracha natural, contribuindo para a redução da dependência do país às importações desse produto (PEREIRA et al., 1997).

2.1.3 Sistemas agroflorestais com cafeeiro

Com adequada fertilização, combate a plantas daninhas e controle fitossanitário é possível obter altos rendimentos na produção de café a pleno sol. A análise minuciosa da literatura entretanto mostra que não existe todavia, suficiente prova experimental que permita recomendar categoricamente o cultivo do café a pleno sol como a melhor alternativa agrônômica, ecológica e econômica no longo prazo (FOURNIER, 1988). Os agroecossistemas cafeeiros em SAF podem proporcionar um aproveitamento mais eficiente da radiação solar e de nutrientes, o que resulta em maior produção de fitomassa de seus vários estratos da vegetação dada a maior proteção do solo e a maior diversidade do sistema quando comparado aos monocultivos (FERREIRA, 2005). O cultivo de cafeeiros em SAF pode trazer renda ao produtor pela venda de produtos antes inexistentes naquele local como madeira, lenha, forragem, palmito, frutos etc. Existem também vantagens comparativas difíceis de quantificar como a proteção do solo contra a erosão e a infiltração de água que abastece os depósitos subterrâneos (FOURNIER, 1988).

A arborização racional pode se constituir em prática recomendável nas várias regiões cafeeiras do Brasil. Em áreas sem deficiência hídrica elevada e sujeitas à ocorrência de geadas severas, como as encontradas no norte do Paraná, São Paulo, Mato Grosso e sul de Minas Gerais, a seringueira (*Hevea brasiliensis*), a grevilea (*Grevillea robusta*), a farinha seca (*Peltophorum vogelianum*) ou mesmo o abacateiro (*Persea americana*), parecem ser espécies mais indicadas e de menor concorrência aos cafeeiros (FERNANDES, 1986). De acordo Fournier (1988), a alternativa mais confiável para a produção de café é o modelo de agroecossistema sob sombra regulada, em locais com temperaturas altas, grande luminosidade, períodos prolongados de seca e baixa fertilidade dos solos, as vantagens do uso da sombra são evidentes. Campanha et al. (2004) consideram que esta prática pode ser uma estratégia de sobrevivência, por causa da diversificação proporcionada pelo sistema, com produção de madeira, frutos e outros produtos de menor importância, reduzindo o risco e tornando possível a produção familiar de café.

Algumas das conseqüências de incluir o sombreamento com culturas perenes podem ser vantajosas ou desvantajosas dependendo da situação. Se uma determinada

interação será limitante ou benéfica depende das características das espécies e do local. A inclusão do sombreamento é menos discutível no caso de pequenos agricultores, desde que eles freqüentemente cultivam em locais sub-ótimos para suas culturas (BEER, 1987). O conhecimento dos efeitos do sombreamento sobre a fisiologia dos cafeeiros é importante para se determinar níveis ótimos de radiação e temperatura, já que nesses aspectos residem as causas de diferentes atividades fotossintéticas (MORAIS et al., 2003). Um entendimento completo das interações entre espécies e como estas interações afetam os mecanismos responsáveis pela produtividade do cafeeiro é necessária a fim de planejar SAFs mais produtivos (CAMPANHA et al., 2004).

Acredita-se que o crescimento do *Coffea arabica* sob floresta no local de origem, pode ser o motivo para que os plantios iniciais de café arábica fossem sombreados por plantios de árvores. Gradualmente esta espécie adaptada à sombra foi cultivada a pleno sol, mas as variedades econômicas têm mantido características de necessidade de baixa luminosidade (KUMAR & TIESZEN, 1980). O cultivo a pleno sol, praticado no Brasil, freqüentemente leva à superprodução de grãos, seguida de queda abrupta de produção na safra seguinte, à seca de ponteiros e depauperamento das plantas. Esses problemas têm sido superados em parte, pela alta densidade de plantio e pesada fertilização nitrogenada, para maximizar a fotossíntese e satisfazer a demanda dos drenos por fotoassimilados (FAHL et al., 1994) e pelo sombreamento (LUNZ, 2006).

Um dos efeitos mais importantes do sombreamento é a diminuição da temperatura foliar. Esta temperatura mais baixa é um efeito direto da redução da energia luminosa sobre as folhas. Algumas das mudanças na folha as quais o sombreamento pode induzir, tais como redução da matéria seca por unidade de área foliar e cutícula mais fina, podem ajudar na dissipação mais eficiente do calor. Um aspecto adicional do sombreamento, associado com a redução da temperatura, é uma elevação na umidade relativa e uma redução da transpiração total. Isto reduz especialmente o requerimento de água da cultura e conseqüentemente diminui a probabilidade do estresse hídrico. A redução da intensidade luminosa também pode ter efeitos morfológicos e fisiológicos em uma cultura. No geral, estas mudanças são adaptações que permitem o uso mais eficiente de níveis mais baixos de luz e podem obviamente atenuar as reduções de produção devido ao sombreamento (WILLEY, 1975). As mudanças morfológicas

observadas em cafeeiros aclimatados a pleno sol, tais como o aumento no número de folhas, peso foliar específico e espessura foliar, estiveram sempre associadas com taxas fotossintéticas líquidas mais elevadas (FAHL et al., 1994). Por outro lado, Morais et al. (2003) concluíram que os cafeeiros sob sombreamento denso de guandu, comparados aos cafeeiros cultivados a pleno sol, apresentaram menores taxas de transpiração e fotossíntese, maior crescimento em altura, menor número de ramos plagiotrópicos e folhas maiores com menor acúmulo de matéria seca. Embora os cafeeiros aclimatem-se às condições de pleno sol, Kumar e Tieszen (1980) concluíram que altas temperaturas freqüentemente diminuem a fotossíntese. Por causa da natureza inerente de um baixo nível de saturação de luz, o cafeeiro adapta-se ao plantio de alta densidade, desde que o sombreamento mútuo proporciona um ambiente mais favorável por reduzir a incidência luminosa e a temperatura foliar. Independentemente dos efeitos fisiológicos de diferentes intensidades de radiação solar sobre os cafeeiros, as árvores sombreadoras suprem nutrientes na serapilheira (WILSON, 1985b).

Beer et al. (1988) consideram que os maiores benefícios fisiológicos que o café e o cacau recebem do sombreamento podem ser postos em duas categorias principais associadas com a redução do estresse da planta: 1) melhoria das condições climáticas locais através: (I) redução dos extremos de temperatura do ar e solo, (II) redução da velocidade do vento, (III) disponibilidade de água no solo, e (IV) melhoria ou manutenção da fertilidade do solo, incluindo a redução da erosão; e: 2) redução na quantidade e qualidade de luz transmitida e por isso escape de super-safra e excessivo crescimento vegetativo. O sombreamento reduz o desequilíbrio nutricional e a dieback. O controle da temperatura tem sido enfatizado por diversos autores, quanto aos benefícios que podem gerar as culturas perenes, principalmente devido à redução da variação diurna no ambiente sombreado. A diminuição da amplitude térmica do solo é importante para plantas jovens, mais sensíveis a grandes amplitudes de variação. Ademais, a taxa de evaporação e a perda de matéria orgânica são incrementadas em sistemas a pleno sol, e seus efeitos podem ser associados com o enfraquecimento da estrutura do solo e maior susceptibilidade à erosão (BAGGIO, 1983).

Segundo Schroth et al. (2001) sistemas de uso da terra baseados em cultivos arbóreos, tais como sistemas agroflorestais, têm clara vantagem sobre sistemas de

cultivo anuais para a manutenção da fertilidade do solo nos trópicos úmidos. Estes incluem permanente proteção ao solo, favorecimento dos processos biológicos que afetam a decomposição da liteira e melhoria estrutural do solo, e mais eficiente ciclagem de nutrientes. A informação sobre padrões espacial e temporal da disponibilidade de água e nutriente é necessária para planejar medidas efetivas, como espaçamento ótimo das árvores, inclusão de espécies de culturas adicionais, manejo modificado de cultura de cobertura, ou reduzir quantidade e alterar distribuição de fertilizantes. Deve-se procurar estabelecer essa combinação de medidas no sentido de limitar as interações competitivas entre as plantas no sistema abrindo espaço para a otimização do uso de recursos produtivos no espaço e no tempo. Estudos realizados no México por Barradas e Fanjul (1986) apresentaram resultados nos quais são consistentes as diferenças entre os sistemas a pleno sol e sombreado, em todos os fatores microclimáticos avaliados. O aumento nas temperaturas do ar e solo no pleno sol é provavelmente influenciada pela diferença na capacidade da fitomassa armazenar energia solar, associada a um maior índice de área foliar no cultivo sombreado. Segundo Willey (1975) uma vantagem disto é que ele ajuda a reduzir a temperatura do ar dentro do cultivo. Este efeito pode ser particularmente crítico durante a fase de estabelecimento inicial da cultura e de plantas jovens, pela razão da maior parte da superfície do solo está exposta e a parte aérea da cultura está mais próxima do solo neste estágio. Altas temperaturas do solo também podem ser indesejáveis por causa dos efeitos diretos sobre o solo.

Quanto ao ciclo de nutrientes, Baggio (1983) relata que os estudos realizados demonstraram aspectos positivos proporcionados pelas árvores, tais como: deposição contínua de matéria orgânica, redução da temperatura do solo, controle da erosão, ciclagem de nutrientes das camadas mais profundas e fixação de nitrogênio (no caso das espécies apropriadas). As árvores de sombra podem extrair nutrientes do solo de camadas não exploradas pelas raízes do cafeeiro e as árvores leguminosas fixarem nitrogênio. Os nutrientes adicionais são lançados à superfície do solo com a queda das folhas, onde tornam-se disponíveis ao cafeeiro (WILSON, 1985a). O aumento na quantidade de adições de resíduos vegetais no sistema de produção, em condições adequadas de temperatura, aeração e suprimento de água propicia o crescimento da atividade e da população dos microorganismos. Estes por sua vez, incrementam a

ciclagem de N no solo, diminuindo a necessidade de adições deste nutriente através do uso de fertilizantes (SHELLER, 1999) apud (FERREIRA, 2005).

Se a liteira e os resíduos de poda permanecem na plantação, eles decompõem, liberando nutrientes minerais de volta para o solo. Esta reciclagem de nutrientes é importante na minimização dos requerimentos de fertilizantes. O húmus formado é valioso para a manutenção da estrutura do solo e dos nutrientes em uma forma disponível (WILSON, 1985b). A serapilheira, depositada sobre o terreno, atua como cobertura morta do solo, melhora a retenção e infiltração de água, protege o solo contra erosão, fornecendo ainda nutrientes e matéria orgânica. A manta orgânica formada também serve de abrigo para insetos, que são agentes importantes na manutenção do equilíbrio ecológico e no controle de pragas da lavoura (SEVERINO; OLIVEIRA, 1999).

O uso de cobertura do solo responde no presente à necessidade de solucionar dois problemas práticos: (a) a exigência de preservar a água do solo; (b) a busca por sistemas de produção que contribuam para suprir nitrogênio (CARVAJAL, 1984). Estudos sobre ciclagem de nutrientes em SAFs freqüentemente baseiam-se somente no N. A produção de grandes quantidades de liteira, principalmente resíduos de poda, é especialmente importante em solos pobres com baixo teor de matéria orgânica, onde as árvores de sombra podem ser decisivas na manutenção da produtividade da área. Por esta razão, a característica mais importante para as árvores sombreadoras de café, excluindo os produtos comerciais, é a alta produtividade sob um regime intensivo de poda, e não a fixação de N (BEER, 1988). Os resultados obtidos mostram que a influência das árvores sobre a ciclagem de outros elementos e o balanço entre elementos é igualmente importante (GLOVER; BEER, 1986). Mesmo quando a produtividade econômica da árvore de sombra for o critério principal, o efeito destas árvores sobre a ciclagem de nutrientes e a matéria orgânica do solo deve ser estudado. Em muitas situações a ênfase da pesquisa sobre a ciclagem de N pode ser exagerada, desde que o fator limitante à produtividade da cultura e da árvore pode ser a disponibilidade de um ou outro elemento tal como o K (BEER, 1988). Por outro lado, os resultados obtidos por Fahl et al. (1994), indicam que o café pode ser classificado como uma espécie de sombra facultativa, exibindo aspectos de plantas adaptadas ao sol,

unidos a atributos de aclimatação a sombra. A capacidade adaptativa ao pleno sol é fortemente influenciada pelo nível de nutrição nitrogenada dada às plantas.

O padrão de aplicação de fertilizantes depende de fatores agrícolas usuais, principalmente propriedades do solo, clima, densidade de plantio, disponibilidade de água e intensidade de manejo (BORNEMISZA, 1982). No estudo realizado por Babbar e Zak (1994) com o cultivo do cafeeiro, a disponibilidade de N foi maior em plantações sombreadas quando comparadas com aquelas sem árvores sombreadoras. Essencialmente, a maioria deste N estava presente como NO_3^- . As condições microambientais dentro das plantações sombreadas e não sombreadas exibiram relativamente pequenas diferenças na mineralização líquida de N e na nitrificação líquida. Um hectare de café pode receber cerca de 100 Kg N/ha/ano de fontes não artificiais, principalmente através da fixação simbiótica por leguminosas sombreadoras e através da mineralização da matéria orgânica. Esta quantidade supre a necessidade de N de plantios de baixa e média densidade, mas não satisfaz à alta demanda de N de plantios adensados (> 5000 plantas/ha) e de alta produção, os quais requerem, no mínimo duas vezes esta quantidade (BORNEMISZA, 1982). As taxas anuais de mineralização relatadas por Babbar e Zak (1994), representam aproximadamente 30% do N disponível para absorção da planta em plantações sombreadas e não sombreadas. Os dados obtidos indicam que aproximadamente 45 e 41g N m⁻² (N fertilizante + N mineralizado) estavam disponíveis no cultivo sombreado e não sombreado, respectivamente, a maioria deste N como NO_3^- . As folhas caídas do cafeeiro com um teor médio de 2% N, constituem um tecido vegetal de relativamente fácil decomposição, com um tempo de vida médio de 76 dias. cada um dos elementos tem uma dinâmica diferente de liberação, apresentando o potássio a mais rápida incorporação ao solo, liberando-se nos primeiros 60 dias 95% do potássio contido na serapilheira (RIVERA; MEDEROS, 1993). O aumento no suprimento de nutrientes pela aplicação de fertilizantes pode reduzir o grau de excesso de frutificação e a seca dos ramos seguinte, contudo a capacidade física das raízes freqüentemente limita absorvê-los suficientemente para evitar os efeitos da frutificação em demasia, o que pode ser controlado por outros meios (WILSON, 1985b).

O fato de os sistemas radiculares do cafeeiro e da seringueira estarem concentrados na mesma camada superficial do solo indica a possibilidade de competição entre as duas culturas por água e nutrientes. Daí a necessidade de adubações visando à nutrição adequada de ambas as culturas. Deve-se ressaltar, porém, que o sistema radicular da seringueira é bem mais desenvolvido do que o do cafeeiro e explora água e nutrientes em camadas mais profundas do solo, sobretudo devido a sua maior tolerância às condições químicas desfavoráveis dessa camada do solo não corrigida quimicamente. A seringueira com seu sistema radicular bastante desenvolvido, tanto lateral, como verticalmente, pode beneficiar-se dos fertilizantes não aproveitados pelo cafeeiro e reciclá-los anualmente por seu caráter caducifólio, favorecendo o cafeeiro e o sistema como um todo (PEREIRA et al., 1998).

Para Fáfán Valencia e Mestre-Mestre (2004), ainda que se tenha realizado estudos na Colômbia e em outros países, onde se têm avaliado a resposta do cafeeiro sob sombra a fertilização, não é suficiente a informação sobre a resposta do cafeeiro a interação entre o grau de cobertura arbórea e diferentes níveis de fertilização. Assim, não existe na atualidade uma forma racional de fazer recomendações de fertilização de cafezais sob diferentes níveis de sombreamento.

2.1.4 Aspectos nutricionais e o cafeeiro

A espécie *Coffea arabica* parece ser particularmente exigente em nutrientes quando se cultiva ao sol. Este comportamento incide na longevidade dos arbustos, pois as plantações ao sol no geral devem ser renovadas em um menor prazo em comparação com aquelas sob sombra. Se o solo é naturalmente fértil, o cultivo ao sol mostrará sempre vantagem quanto à produtividade, em comparação com o cultivo a sombra. Nas regiões consideradas aptas à cafeicultura, sendo os nutrientes fornecidos às plantações em quantidades apropriadas, ao tempo em que um manejo cuidadoso é adotado, os cafeeiros sob sol produzirão uma colheita mais abundante (CARVAJAL, 1984).

O cafeeiro cresce continuamente até os 6,5 anos, embora dentro do período haja variações consideráveis na produtividade anual. A curva de crescimento sigmóide aparentemente começa a apresentar tendência de estabilização entre 6,5 e 7,5 anos. Já

as curvas de absorção de nutrientes, mostram perfeito paralelismo com a curva de crescimento (MALAVOLTA, 1993). A nutrição mineral do cafeeiro vem sendo abordada como prioridade em uma visão inovadora do equilíbrio nutricional, dos mecanismos de absorção dos nutrientes e das suas funções no metabolismo da planta, fatores esses associados aos aumentos de produtividade e qualidade. As exigências nutricionais do cafeeiro variam com a espécie e, deste modo, o diagnóstico do estado nutricional constitui fator indispensável no sistema de produção (COSTA, 2001).

Um solo fértil, com altos teores de nutrientes disponíveis, mantém uma maior taxa de crescimento e de produção da cultura do que um solo pobre. Na ausência de aplicações de fertilizantes, as reservas de nutrientes do solo podem ser usadas. O café é uma cultura longa e uma significativa redução nas quantidades de nutrientes disponíveis no solo ocorre no decurso de dez anos (WILSON, 1985b).

Em plantios comerciais de café a fertilidade do solo poderá ser avaliada mediante os níveis críticos dos elementos e sua capacidade de troca catiônica (CTC). Porém é fundamental observar os equilíbrios: $\text{Ca}+\text{Mg}/\text{K}$; Mg/K ; Ca/Mg ; Ca/K ; K/S e K/CTC . O equilíbrio nutricional do solo deve ser estabelecido em função da porcentagem de saturação por bases de cada grupo de solos. A aplicação de cátions complementares que sugere cada caso particular deve permitir que o solo chegue a alcançar o equilíbrio ideal, com uma saturação por base entre 40 e 60%, a manter um equilíbrio ótimo ($\text{Ca}+\text{Mg}/\text{K}=10$) e uma concentração de nutrientes disponíveis oscilando em torno do nível crítico (CARVAJAL, 1984).

Tem-se considerado que o nível de exposição à radiação solar tem uma influência marcante sobre a nutrição mineral em *Coffea arabica*. Tem-se indicado que um dos benefícios do cultivo do cafeeiro a plena exposição solar é o aumento da absorção de nutrientes minerais, o que gera finalmente produções mais elevadas (WELLMAN, 1961) apud (VELASCO et al., 2001), ainda que às vezes estas diferenças tendam a desaparecer logo depois de algumas colheitas (RAMÍREZ, 1997) apud (VELASCO et al., 2001).

Tem-se encontrado que a absorção de nutrientes não é uniforme durante um ciclo vegetativo e reprodutivo completo. No geral ocorre um máximo de absorção, bem definido, durante ou justamente antes da época em que o crescimento ocorre com maior

expressão (CARVAJAL, 1984). Estudos sobre a nutrição do cafeeiro têm revelado que a absorção de nutrientes intensifica-se nos estádios de pré e pós-floração, variando principalmente, em função das condições ambientais e do estado de desenvolvimento da planta. Esse fato sugere que o suprimento de nutrientes, para atender a demanda do cafeeiro, deve iniciar-se, ainda na fase de pré-floração, período em que os elementos minerais devem estar no solo, prontos para serem absorvidos (VALARINI; BATAGLIA; FAZUOLI, 2005).

O cafeeiro adulto exhibe mudanças súbitas na velocidade de absorção de nutrientes, associadas com os estados fisiológicos mais importantes. Nota-se que a absorção de NO_3^- , ocorre em maior quantidade durante períodos curtos antes da floração, no auge do crescimento e quando os frutos começam a amadurecer. A absorção diminui durante a floração e depois da colheita. A absorção de NH_4^+ , ainda quando quantitativamente similar a de NO_3^- , não mostra diferença tão marcante durante os estádios fisiológicos. A absorção de K mostra-se de alguma forma antagônica com respeito à de NO_3^- . Neste caso o pico mais alto observa-se imediatamente depois da colheita, enquanto que outros dois secundários ocorrem antes da maturação e depois da floração (CARVAJAL, 1984; CARVAJAL et al., 1969).

A maior parte da absorção de nutrientes é realizada por raízes finas nos 30 cm da camada superficial do perfil do solo. É, portanto, importante que as camadas superiores do solo mantenham uma boa estrutura e um alto teor orgânico (WILSON, 1985b). É bem conhecido que o teor de matéria orgânica da superfície do solo declina rapidamente seguindo ao desmatamento da floresta e cultivo, e atinge um nível de equilíbrio dependendo do sistema de cultivo e prática de manejo. Desde que a matéria orgânica desempenha um papel crucial na manutenção da produtividade de solos pobres, tentativas devem ser feitas para usar sistemas de produção que tenham relativamente níveis altos de matéria orgânica na superfície (KANG, 1997).

Quando o cafeeiro cresce a plena exposição solar, usa as reservas rapidamente e os frutos geralmente não se desenvolvem bem por insuficiência de minerais. Além do mais, com frequência ocorre seca dos ponteiros (WELLMAN, 1961) apud (CARVAJAL, 1984). Mesmo com o fornecimento de nutrientes ao cafeeiro nas quantidades adequadas, o sistema de manejo a pleno sol normalmente proporciona uma alternância

de safras altas e baixas, denominada ciclo bienal de produção. Os sistemas com arborização permitem uma produção mais constante e o aumento da longevidade do cafeeiro por evitar o estresse advindo de uma superprodução, características dos ciclos bienais a pleno sol. Outro aspecto ligado à regularidade da produção vincula-se aos nutrientes exigidos pela planta. Um dos grandes interesses em relação à presença do elemento arbóreo no cafeeiro é a relação deste com o aumento da eficiência na ciclagem de nutrientes, sobretudo do N (FERREIRA, 2005).

A necessidade de nutrientes dada à colheita varia segundo a espécie. Assim, quanto ao N, às espécies *Coffea arabica* e *Coffea canephora* aparentemente têm uma exigência similar. Quanto ao P, *Coffea arabica* requer menos que as demais espécies. O requerimento de K aparece maior em *Coffea arabica* e *Coffea liberica* e diminui notavelmente em outras espécies (CARVAJAL, 1984).

A análise da matéria seca do cafeeiro mostra que esta é constituída na proporção de uns 95% de três elementos: carbono (C), hidrogênio (H) e oxigênio (O). Os 5% restantes representam a contribuição do solo: N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cl, Co, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Zn, Na, Se, Si, e outros elementos não considerados essenciais (alguns tóxicos como Al) (MALAVOLTA, 1993).

Resultados de análise de solo estão muitas vezes em contradição com o comportamento da planta. Assim, normalmente, tais resultados informam qual o problema que pode ser esperado, mas freqüentemente não definem a extensão do problema. Em outras palavras, uma análise de solo completa, pode dar informação sobre o que o solo está oferecendo a planta, mas a quantidade que está sendo absorvida pela planta não pode ser adequadamente determinada. Esta informação pode somente ser dada pela análise da planta (LUCENA, 1997). Segundo Silva, Nogueira e Guimarães (2003), pela diagnose foliar podem-se avaliar o estado e o equilíbrio nutricional de uma planta, uma vez que o teor do nutriente é resultante da ação e da interação dos fatores que influem em sua disponibilidade no solo e sua absorção pela planta.

De acordo com Malavolta (1993), a técnica de diagnose foliar, na qual a folha é analisada em vez do solo, tem sido utilizada nas seguintes situações: 1) avaliação do estado nutricional e da probabilidade de resposta à adubação; 2) verificação do

equilíbrio na nutrição do cafeeiro, portanto, na fertilidade natural do solo ou nas adubações; 3) constatação de possível toxidez de um ou outro elemento; 4) acompanhamento, avaliação e ajustamento do programa de adubação dentro de um ano agrícola ou ao longo do ano.

O propósito do fornecimento de fertilizantes ao cafeeiro é suprir elementos minerais essenciais em quantidade adequada para a realização plena dos ciclos vegetativo e reprodutivo. Os solos agrícolas no geral são incapazes de suprir todos os elementos requeridos em quantidade suficiente e, sobretudo, durante muitos anos de cultivo (CARVAJAL, 1984). Por outro lado e dada a sua dimensão, o manejo inadequado dos nutrientes, sobretudo o N, pode causar grandes impactos ambientais, como a contaminação dos lençóis freáticos e cursos de água, a poluição atmosférica e alterações da atividade biológica no solo (FERREIRA, 2005).

Para o estabelecimento de um programa apropriado de adubação é necessário identificar os principais problemas inerentes à nutrição da planta e, posteriormente, determinar quais são os nutrientes limitantes, suas quantidades, épocas e formas de aplicação corretas (MARTINEZ et al., 2003). Os pesquisadores têm chegado à conclusão que o uso da análise foliar, de maneira alternada ou simultânea com a análise de solo procedente da faixa de fertilização do cafeeiro, provê elementos de juízos de valor inquestionáveis para o estabelecimento de programas de adubação para aplicação a curto e médio prazo (CARVAJAL, 1984).

Um dos indicadores do manejo do solo com relação ao fornecimento de nutrientes no sistema de produção agrícola é a medida do teor de carbono orgânico do solo. Porém, as mudanças dos teores deste elemento no solo se dão de forma lenta (FERREIRA, 2005). A composição foliar de nutrientes do cafeeiro pode variar em alguma amplitude durante o ano e ser afetada pela variação climática e condições de sombreamento (WILSON, 1985b). O desenvolvimento do sistema radicular também pode influir sobre a dinâmica de variação dos elementos minerais nas folhas, seja por constituir um destino que compete com estas e mais ainda pela influência que tem seu crescimento sobre a absorção relativa dos minerais (VELASCO et al., 2001).

O cafeeiro sombreado consome as mesmas quantidades de macro e micronutrientes para produzir uma saca beneficiada. A produção, entretanto, é menor

porque a luz é fator limitante em qualidade, intensidade e duração. Faltam, entretanto, ensaios de adubação comparando café sombreado com pleno sol e arborizado. Pode-se esperar, porém, um comportamento do cafeeiro sombreado semelhante ao do cacauzeiro, com plantas sombreadas respondendo pouco à adubação. Conseqüentemente nesses casos a adubação pode ser significativamente reduzida com redução de custos (MALAVOLTA E LIMA FILHO, 2002). Plantas sombreadas não fertilizadas produzem em um nível mais alto do que as plantas a pleno sol e não fertilizadas. Contudo, as plantas a pleno sol têm uma maior resposta ao fertilizante, de modo que as maiores produções são dadas por cafeeiros não sombreados intensamente fertilizados e com ampla disponibilidade hídrica (WILSON, 1985b).

Uma das dificuldades enfrentadas pelos produtores está na estimativa da disponibilização de nutrientes ao cafeeiro provenientes da adubação orgânica e da fitomassa vegetal de plantas espontâneas e da arborização. O dimensionamento inadequado, mesmo para estes adubos, pode levar a um excesso de aporte de N, com conseqüências ao meio ambiente, além de promover desequilíbrios nutricionais ao cafeeiro. Por outro lado, se o fornecimento de N for insuficiente, ocorre queda da produção (FERREIRA, 2005).

Um experimento de longo prazo num solo entisol (fluvisol) aluvial fértil na Costa Rica mostrou que o cafeeiro sombreado requereu menor nível de fertilização do que o cafeeiro não sombreado, para obter a mesma produção. A resposta à fertilização foi mais linear em cafeeiro não sombreado (CATIE, 1992) apud (SZOTT; KASS, 1993).

a composição mineral dos tecidos vegetais pode ser influenciada por uma série de fatores pertinentes à própria planta e ao ambiente: espécie, variedade ou porta-enxerto, estágio vegetativo e idade da planta, distribuição, volume e eficiência do sistema radicular, produção pendente, variações climáticas, disponibilidade de água e nutrientes no solo, estado fitossanitário da planta, tipo e manejo do solo e interações entre nutrientes (MARTINEZ et al., 2003). Conforme relato de Aranguren, Escalante e Herrera (1982), a atual quantidade de nitrogênio e de outros nutrientes exportados com a colheita de culturas perenes tropicais, as quais podem ser cultivadas sob sombreamento, é pequena quando comparada às quantidades removidas pelas culturas anuais com produções elevadas. Esta, relativamente, pequena quantidade exportada

pode ser balanceada pela entrada de nitrogênio da fixação biológica de N_2 ou do nitrogênio liberado pela decomposição da liteira depositada pelas árvores sombreadoras.

2.1.4.1 Nitrogênio (N)

N é constituinte de aminoácidos, amidas, amins, bases nitrogenadas, alcalóides, clorofila e muitas coenzimas. A deficiência de nitrogênio se manifesta nas folhas mais velhas sob a forma de clorose foliar devido à sua alta mobilidade com conseqüente redução da formação de clorofila. Muitos aminoácidos são precursores das cadeias polipeptídicas das proteínas e, desse modo, o nitrogênio influencia muitas reações enzimáticas (COSTA, (2001). O N ocupa uma posição única entre os elementos classificados como essenciais para o desenvolvimento de plantas e crescimento da população dos microorganismos. A grande quantidade demandada e sua baixa disponibilidade, o torna um dos nutrientes mais limitantes à produtividade da maioria das culturas (FERREIRA, 2005). O N é absorvido pelo cafeeiro principalmente nas formas de NO_3^- e NH_4^+ , que se convertem continuamente em compostos orgânicos (CARVAJAL, 1984).

A nutrição nitrogenada adequada, não havendo outros fatores limitantes, é evidenciada no desenvolvimento rápido, no aumento da ramificação dos galhos frutíferos e na formação de folhas verdes e brilhantes (MALAVOLTA, 1986). A capacidade fotossintética das folhas está relacionada principalmente ao teor de N, devido as proteínas do ciclo de Calvin e tilacóides que constituem à maior parte do N foliar (EVANS, 1989). Segundo este autor, dado que o N é um valioso recurso, pode-se esperar que a planta otimizará a partição do N tal que, a fotossíntese seja maximizada. Contudo, o ótimo dependerá de fatores tais como a radiação e a temperatura e por isso varia com o habitat. De acordo Malavolta (1986), a capacidade fotossintética, o florescimento e, conseqüentemente, a capacidade produtiva, são limitados pelo sombreamento. Por este motivo, nestas condições as necessidades de adubos, particularmente as de N, são diminuídas.

Para Ferrar e Osmond (1986), o teor de N foliar é provavelmente um importante fator na aclimação de plantas a pleno sol, um aumento na quantidade e atividade da

principal proteína foliar, a RUBP carboxilase, quase invariavelmente ajusta-se à aclimatação a luz. O aumento da irradiância tende a influenciar a partição de N para tilacóides e proteínas solúveis em direções opostas. Segundo Evans (1989) geralmente uma maior proporção do N é direcionada para os tilacóides quando as plantas estão crescendo em irradiância mais baixa. Plantas tolerantes a sombra tendem a apresentar habilidade para partição de muito mais N para os tilacóides do que plantas ao sol. Uma segunda característica geral é que plantas sob baixa irradiância apresentam redução no teor de N por unidade de área foliar.

Malavolta (1986) relata que quando o solo não tem muita matéria orgânica mineralizável ou não se usa suficiente N na adubação, a deficiência aparece comumente, sendo os sintomas mais intensos durante o crescimento dos frutos. As folhas formadas nessas condições são geralmente menores. As folhas mais velhas e depois as mais novas apresentam uma clorose uniforme no limbo e as nervuras se tornam amareladas ou esbranquiçadas. Caso a deficiência seja muito severa as folhas ficam quase brancas ou necrosam. Num estágio muito avançado da deficiência, tem lugar a morte descendente dos ramos frutíferos. Entretanto, além da falta de N, a falta de outros elementos também pode provocar secamento dos ramos.

Quando as folhas mais velhas senescem, a proteína é degradada e formas solúveis de N são retranslocadas pelo floema para os pontos de crescimento da planta, razão pela qual os sintomas de deficiência de N se manifestam primeiramente nas partes mais velhas (COSTA, 2001). A deficiência de N pode ser agravada por um período de seca prolongado quando a baixa umidade do solo acarreta a diminuição da mineralização da matéria orgânica e o caminhamento dos nitratos para a raiz pelo processo do fluxo de massa (MALAVOLTA, 1986). A taxa de conversão do nitrogênio orgânico para nitrato e amônio controla a disponibilidade de N nos solos, mas apesar de sua importância, há falta de estudos sobre a mineralização do N em solos florestais tropicais (VITOUSEK; SANFORD Jr, 1986).

De um modo geral, quanto melhor a estrutura do solo, maior a biomassa microbiana ativa, maior a quantidade de substâncias facilmente trocáveis no solo, e maior a quantidade de N proveniente da matéria orgânica que é mineralizado e disponibilizado para as plantas. O suprimento de N às culturas muitas vezes depende

mais da atividade metabólica dos microrganismos do solo do que do seu conteúdo de N total. Por outro lado, esta atividade é extremamente dependente do manejo do solo (SHELLER, 1999) apud (FERREIRA, 2005).

De Castro e Rodriguez (1955) apud Wilson (1985b), relataram que perdas de nitrogênio por erosão em áreas não protegidas superaram a quantidade removida pela cultura do café. Conforme relato de Aranguren, Escalante e Herrera (1982), a atual quantidade de nitrogênio e de outros nutrientes exportados com a colheita de culturas perenes tropicais, as quais podem ser cultivadas sob sombreamento, é pequena quando comparada às quantidades removidas pelas culturas anuais com produções elevadas. Esta relativamente pequena quantidade exportada pode ser balanceada pela entrada de nitrogênio da fixação biológica de N_2 ou do nitrogênio liberado pela decomposição da liteira depositada pelas árvores sombreadoras.

Segundo Carelli e Fahl (1991), o N absorvido pelas plantas, em sua grande maioria na forma de nitrato, pode ser assimilado nas raízes ou na parte aérea. A parcela com que cada um desses sistemas contribui na assimilação de N varia grandemente com a espécie e com as condições ambientais.

Carelli, Fahl e Magalhães (1990) obtiveram dados que mostram que o acúmulo de nitrato nas folhas das plantas cultivadas a pleno sol foi bem maior do que nas sombreadas, enquanto a atividade da redutase de nitrato foi superior naquelas cultivadas à sombra. Tais resultados sugerem que a menor atividade da redutase de nitrato em pleno sol pode ter sido responsável pelo acúmulo de nitrato nos tecidos. O excesso de N provoca alterações nas relações N/P e N/K das folhas e diminuição na produção, estimulando preferencialmente a vegetação em prejuízo da produção (MALAVOLTA, 1986).

De acordo Ramalho et al. (1997) o cafeeiro teria uma habilidade limitada para crescimento a pleno sol, admitindo-se que a fertilização nitrogenada contribui para reduzir o dano foliar quando as plantas são expostas a altas intensidades luminosas durante vários dias.

Ferrar e Osmond (1986) afirmam que a mudança observada na taxa de fotossíntese foliar quando as plantas cultivadas na sombra são transferidas para a luz, mostra que a nutrição nitrogenada tem efeito notável na aclimatação.

Ramalho et al. (2000) relatam que a habilidade para aclimatação mostrada pelas folhas maduras das plantas que foram adubadas com maior quantidade de N, foi acompanhada por um aumento nos mecanismos de dissipação de energia. Estes incluem, na maioria das vezes, a presença de maiores teores de algumas xantofilas (zeaxantina e luteína) e carotenos, que ajudam a diminuir a sobrecarga energética nos fotossistemas. O aumento na relação carotenóide/clorofila total e o decréscimo nas relações alfa/beta caroteno e clorofila/N refletem mudanças também características de plantas de sol e devem ser consideradas como parte do processo de aclimatação.

2.1.4.2 Potássio (K)

A simples verificação das quantidades de K nas partes vegetativas, bem como nos frutos do cafeeiro é suficiente para mostrar que esse elemento desempenha um papel dominante na nutrição da rubiácea. Em geral, altos teores de K estão associados com colheitas elevadas, sendo a hipótese de “alimentação de luxo” afastada. A exigência de K aumenta muito com a idade, sendo particularmente intensa quando a planta atinge a maturidade devido às quantidades adicionais exigidas pelos frutos. Os frutos em desenvolvimento retiram K das folhas adjacentes (MALAVOLTA, 1986).

Segundo Nogueira (2001), o K é o segundo nutriente mais importante, depois do nitrogênio, para a cultura do cafeeiro. A introdução de variedades ou cultivares melhoradas geneticamente, com alto potencial de produção, tem compelido a uma maior demanda de aplicação de fertilizantes potássicos nos países tropicais. Em solos férteis e profundos, o cafeeiro pode extrair suficiente K do solo. A adição regular de cobertura vegetal morta mantém a disponibilidade de K em um nível elevado. Sob tais condições, nenhuma resposta experimental significativa ao fertilizante potássico é obtida (WILSON, 1985b). Tem-se observado que não existe uma boa correlação entre o teor de K intercambiável e a sua absorção pelas plantas, e que a natureza da argila e a porcentagem de K dentro do teor total de cátions (Ca^{++} , Mg^{++} , K^+) são muito importantes (CARVAJAL, 1984).

O potássio é responsável pela manutenção da turgescência celular, controle de abertura e fechamento dos estômatos e osmorregulação celular. Ele é requerido para a síntese de proteínas e para o metabolismo dos carboidratos e lipídios, sendo ativador de

um grande número de enzimas. O K é translocado livremente no floema e é exportado das folhas mais velhas para as mais novas, razão pela qual o sintoma de deficiência se manifesta primeiramente nas folhas mais velhas (COSTA, 2001). Um dos efeitos metabólicos da deficiência é a acumulação nos tecidos de carboidratos solúveis e de açúcares redutores (CARVAJAL, 1984). A ativação de enzimas é, provavelmente, a função mais importante do K no crescimento da planta. Ao contrário do N, do fósforo (P) e de outros nutrientes essenciais, o K não participa da estrutura molecular da planta, mesmo sendo um nutriente essencial. Entretanto, mesmo estando desvinculado desta estrutura influencia significativamente o seu desenvolvimento (NOGUEIRA, 2001).

Os sintomas de falta de K no cafeeiro seguem o mesmo padrão geral encontrado em outras plantas, ocorrendo necrose das margens das folhas nos casos mais severos. Aparecem primeiramente manchas pardas perto das margens, na porção próxima da ponta; gradualmente as manchas coalescem, uma faixa marrom escura, quase negra, se forma na ponta da folha e a folha se destaca facilmente do ramo. Com frequência, apenas 1 a 2 pares de folhas permanecem presos ao ramo que começa a morrer da ponta para a base (“dieback”) (MALAVOLTA, 1986). Os frutos também logo ficam escuros devido ao ataque de fungos. A síntese protéica, a fotossíntese e a expansão celular são comprometidas em plantas deficientes em K, levando à morte celular (COSTA, 2001). O excesso de K parece provocar queda maior de frutos, os quais sofrem fermentação no solo, prejudicando a qualidade. Muito K, por outro lado, pode induzir carência de Mg e em menor grau, de Ca (MALAVOLTA, 1986). O cafeeiro jovem que não está produzindo requer menos K em relação ao N (WILSON, 1985b).

Fatores climáticos como precipitação e temperatura têm profunda influência sobre a intemperização do solo e sobre suas atividades biológicas. Uma precipitação intensa pode, isoladamente, ser o fator de maior importância nas grandes perdas de K do solo. O K encontra-se na forma K^+ na solução, sendo assim absorvido pelas raízes das plantas. Nogueira (2001) afirma que nas condições tropicais, as grandes perdas de K no solo são atribuídas à lixiviação e ao escorrimento superficial das águas. Os solos predominantes nos trópicos têm baixa CTC e quase não têm minerais fixadores de K havendo assim pouca chance de uma maior retenção de K. Nestas condições, os minerais potássicos primários, tais como feldspato e muscovita, estão sujeitos à

hidrólise em maior extensão. Os solos sob cultivo podem até ter inicialmente uma grande capacidade de suprimento de K, mas após cultivos sucessivos, ao longo do tempo, este nutriente é exaurido pelas colheitas, lixiviação e erosão.

2.1.5 Matéria Orgânica do Solo

Compreende-se por matéria orgânica do solo todo o carbono orgânico presente na forma de resíduos frescos ou em diversos estágios de decomposição, compostos humificados e materiais carbonizados, associados ou não à fração mineral; assim como a porção viva, composta por raízes e pela micro, meso e macrofauna. Entretanto, esta é uma conceituação teórica e na maioria das vezes o que se convencionou chamar de matéria orgânica do solo compreende somente parte dos componentes citados, dependendo enormemente do preparo da amostra e da metodologia utilizada na determinação (ROSCOE e MACHADO, 2002).

O reservatório global de carbono (C) do solo de 2500 gigatons (Gt) inclui cerca de 1550 Gt de carbono orgânico e 950 Gt de carbono inorgânico. O reservatório de C do solo é 3.3 vezes o tamanho do reservatório atmosférico (760 Gt) e 4.5 vezes o tamanho do reservatório biótico (560 Gt). O reservatório de carbono orgânico do solo até 1m de profundidade está, predominantemente, em uma faixa predominante de 50 a 150 tons/ha porém alcança de 30 tons/ha em regiões de clima árido até 800 tons em solos orgânicos de regiões frias (LAL, 2004). A fertilidade integral de um solo agrícola relaciona-se tradicionalmente com seu conteúdo em matéria orgânica. Entretanto, nas últimas décadas, a função da matéria orgânica foi relegada e a sua utilização restrita às terras “marginais” de agricultura de subsistência. Atualmente, devido à problemática gerada pela intensificação do uso do solo, volta a reconhecer-se à matéria orgânica a função que lhe corresponde na manutenção da sustentabilidade – produtiva, funcional e ambiental – do agrossistema (LABRADOR MORENO, 1996).

A matéria orgânica é um componente fundamental para a manutenção da qualidade do solo, estando envolvida em diversos processos físicos, químicos e biológicos. Desequilíbrios no seu suprimento e alterações nas taxas de decomposição podem provocar a sua redução em solos sob cultivo, desencadeando processos de degradação (ROSCOE & MACHADO, 2002). A conversão da floresta e a mudança no

uso do solo nos trópicos são os principais fatores, na agricultura tropical, que levam a perdas nos estoques de C e aumento da concentração de gases de efeito estufa na atmosfera. Práticas agrícolas que envolvem remoção da fitomassa acima do solo levam à redução nos estoques de C no ecossistema, em consequência da colheita com a subsequente queima e decomposição, perda de C do solo como CO₂, e perda de C do solo por erosão (MUTUO et al., 2005).

O saldo de carbono orgânico do solo é alcançado com o equilíbrio de ganhos e perdas. A conversão de ecossistemas naturais para agrícolas causa declínio do carbono orgânico do solo de 60% em solos de regiões temperadas e de 75% ou mais em solos cultivados dos trópicos. Alguns solos têm perdido de 20 a 80 tons de C/ha, principalmente emitidos para a atmosfera. O declínio severo do carbono orgânico degrada a qualidade do solo, reduz a produtividade de fitomassa pelas plantas e impacta adversamente a qualidade da água. Esse declínio da matéria orgânica pode ser exacerbado pelo aquecimento global projetado (LAL, 2004).

Como um resultado da degradação solo, incluindo a perda de nutrientes, biodiversidade, erosão, compactação e a perda associada de matéria orgânica, há uma necessidade de adotar práticas de manejo do agroecossistema mais sustentáveis (OELBERMANN et al., 2006). Mutuo et al. (2005) consideram haver necessidade de desenvolvimento de sistemas agrícolas sustentáveis para manter e melhorar o teor de C orgânico do solo enquanto mitiga a degradação e as emissões de gases de efeito estufa. Adicionalmente, solos agrícolas têm tornado-se crescentemente importantes no seqüestro de C para a mitigação do CO₂ atmosférico. O seqüestro de C no solo pode ser alcançado pela adoção de práticas de manejo e conservação tais como cultivo reduzido, cultivo mínimo, rotação de culturas, culturas de cobertura e manejo de resíduos. Em SAFs, a quantidade e qualidade dos resíduos de poda das árvores ou da liteira influenciam a agregação do solo e os aumentos nos níveis de matéria orgânica do solo, proporcionando um caminho para o seqüestro de C no solo a longo prazo (OELBERMANN et al., 2006).

A humificação e a mineralização dos restos orgânicos dependem tanto da natureza destes, como das características do meio. Desta maneira, serão os fatores externos, como o clima, o solo, a ação humana e internos, como a composição do

material orgânico, que irão dirigir e definir estes processos (LABRADOR MORENO, 1996). As mudanças no carbono orgânico do solo com a mudança no uso e manejo podem ser parcialmente explicadas pelo modo como o C é alocado em diferentes frações da matéria orgânica do solo (TAN et al., 2007).

A conversão de florestas em SAFs promoveriam perdas de C, embora menos do que se outros sistemas agrícolas fossem estabelecidos. Se, por outro lado, as vastas áreas de solos degradados fossem convertidas em SAFs, o estoque de C poderia ser aumentado (MONTAGNINI; NAIR, 2004; MUTUO et al., 2005). Nos trópicos úmidos, SAFs podem seqüestrar C na vegetação, aumentando o tempo médio de estoque de C no campo e elevando-o para mais de 60 Mg de C/ha. Contudo, o potencial para seqüestro de C nos 20 cm superficiais do solo é menor, e da ordem de 25 Mg C/ha, do que na vegetação (MUTUO et al., 2005).

A capacidade de dreno e permanência de C no solo estão relacionadas ao teor e mineralogia da argila, estabilidade estrutural, posição na paisagem, regimes de umidade e temperatura, e a habilidade para formar e manter microagregados estáveis (LAL, 2004).

Em pesquisa realizada por Tan et al. (2007) foi concluído que a perda de C orgânico do solo pela conversão da floresta para agricultura poderia ser atribuída à redução nas frações leve e pesada, enquanto que o ganho de C seguindo a conversão de cultivo convencional para pousio poderia ser atribuído ao aumento na fração leve. Para estes autores, as menores quantidades da fração leve nas classes de macroagregados em sítios de cultivo convencional, em comparação com sítios florestais em pousio, sugerem que o cultivo desfaz estes agregados, em particular, e liberam a fração leve protegida que é subsequente oxidada. A recuperação da matéria orgânica do solo nos SAFs e a acumulação de nutrientes importantes, tal como o N, não são bem compreendidas. A extensão e a duração da instabilidade de nutrientes após a conversão da floresta, e durante rotações agroflorestais prolongadas, requerem mais estudos (ISAAC et al., 2005).

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

2.2.1 Caracterização da área experimental

A pesquisa foi conduzida no período de março de 2006 a maio de 2008, em área experimental pertencente ao Departamento de Produção Vegetal da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” da Universidade de São Paulo (ESALQ/USP) em Piracicaba – SP, localizada nas coordenadas geográficas 22^o 42' 20" S, 47^o 37' 22" W e altitude 565 m. O clima local é, pela classificação de Köppen, mesotérmico com verão chuvoso e inverno seco (Cwa) transição para mesotérmico com inverno úmido (Cfa). A temperatura média anual é de 21,4^o C e médias mensais de 24,8^o C no verão e 17,1^o C no inverno. A precipitação anual, é em média, 1.278 mm, distribuídos em 1000 mm de outubro a março e 278 mm entre abril e setembro. O solo da área é classificado como Nitossolo Vermelho Eutrófico (EMBRAPA, 1999), eutrófico, latossólico, textura argilosa, horizonte A moderado, com declividade de até 1,5%.

A área experimental foi composta de seringueiras do clone PB 235, plantadas em dezembro de 1991, no espaçamento de 8,0 x 2,5 m e de cafeeiros cv. Obatã IAC 1669-20, plantado em janeiro de 2002, no espaçamento de 3,4 x 0,9 m. Os cafeeiros foram plantados sob diferentes condições de luminosidade, no sub-bosque do seringal (sob o dossel das seringueiras), interfaceando as árvores da seringueira e em monocultivo (pleno sol) (Figuras 1 e 2).

O manejo das culturas seguiu as recomendações técnicas para cada espécie com aplicação de 300 Kg de N e K em três parcelas de 100 Kg ha⁻¹ em setembro, novembro e dezembro de 2006. O cafeeiro da área experimental foi irrigado por gotejamento e a radiação solar disponível aos cafeeiros foi mensurada por Righi (2005), que conduziu experimento na mesma área, por meio de tubos solarímetros (TSUM-3, Delta-T Device Inc.) instalados acima das copas dos cafeeiros e conectados a uma estação automática de coleta de dados (Delta-T Device Inc.).

As medidas de radiação sobre o solo foram realizadas com o Sunscan Canopy Analysis System (Delta-T Device Inc.), entre fileiras das seringueiras em monocultivo, na projeção da copa e entre fileiras dos cafeeiros no sistema agroflorestal (SAF) e em monocultivo.

**(a)****(b)****(c)**

Figura 2 - Cafeeiros no sub-bosque das seringueiras (a), interfaceando as seringueiras (b) e em monocultivo (c)

2.2.2 Delineamento experimental

O delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado. O experimento de avaliação da fertilidade do solo constou de quatro repetições e seis tratamentos, constituídos pelas radiações sobre o solo nas diferentes posições em relação à primeira fileira de seringueiras interfaceando a cultura do cafeeiro (Tabela 1): 1) 6,4% (projeção da copa dos cafeeiros em SAF); 2) 7% (projeção da copa das seringueiras em monocultivo); 3) 35,4% (projeção da copa das seringueiras em SAF); 4) 47,5% (projeção da copa dos cafeeiros em SAF); 5) 60,9% (projeção da copa dos cafeeiros em SAF); 6) 64,9% (projeção da copa dos cafeeiros em monocultivo (a pleno sol)). O experimento de avaliação dos teores foliares de N e K do cafeeiro constou de quatro repetições e quatro tratamentos, constituídos pelas radiações sobre os cafeeiros: 1) 35%; 2) 45%; 3) 90%; 4) 100%. Estas e as demais avaliações que constituíram este estudo e os respectivos tratamentos estão na Tabela 2.

Tabela 1 – Tratamentos de avaliação da fertilidade do solo e estado nutricional do cafeeiro sob diferentes radiações

Distância da primeira fileira de seringueiras (m) ⁽¹⁾	Solo		Cafeeiro	
	Tratamento	Radiação	Tratamento	Radiação
-36,0	7 S	7%		
-5,7	6,4 S	6,4%	35 C	35%
-4,0	35,4 S	35,4%		
1,5	47,5 S	47,5%	45 C	45%
8,3	60,9 S	60,9%	90 C	90%
21,9	64,9 S	64,9%	100 C	100%

⁽¹⁾ As distâncias negativas correspondem as posições no interior do SAF e no seringal em monocultivo e as positivas às posições na interface com a primeira fileira de seringueiras e no cafeeiro em monocultivo

Tabela 2 - Avaliações que constituíram o estudo e os respectivos tratamentos (radiações)

Radiação (Tratamentos)	Variáveis analisadas					Frações da matéria orgânica
	Serapilheira		Solo			
	Quantidade depositada	Velocidade de decomposição	Atributos químicos	Evolução da fertilidade		
7,0%	X	X	X			X
6,4%			X			X
35,4%	X	X	X	X		X
47,5%			X			X
45,8%	X	X				
60,9%			X			X
71,6%	X	X				
64,9%			X			X
100,0%	X	X		X		

Radiação (Tratamentos)	Variáveis analisadas						
	Cafeeiro						
	Teores foliares de N e K		Crescimento	Peso foliar específico	Anatomia foliar	Maturação dos frutos	Produção
35,0%	X	X	X	X	X	X	X
45,0%	X	X	X	X	X	X	X
90,0%	X	X	X	X	X	X	X
100,0%	X	X	X	X	X	X	X

Nota: A radiação no solo em cada sistema de produção é, em termos absolutos, menor que aquela que atinge o topo da copa das plantas cultivadas

2.2.3 Parâmetros avaliados

2.2.3.1 Deposição de serapilheira

Para estimativa da deposição de serapilheira, foi instalada, aleatoriamente, em cada repetição, uma bandeja coletora de 0,6 x 0,55 m, localizada no centro da entre fileiras dos cafeeiros, suspensa 35 cm do solo, com fundo de tela de náilon e laterais de madeira com 10 cm de altura (Figura 3).

A análise estatística dos dados revelaram que os mesmos não eram normais. Portanto, realizou-se análise não paramétrica, empregando-se os testes de Kruskal-Wallis e Mann-Whitney a 5 % de significância.



Figura 3 - Bandeja coletora de serapilheira instalada no centro da entre fileiras de cafeeiros

A coleta da serapilheira foi realizada quinzenalmente, no período de maio de 2006 a abril de 2008. Após coleta, o material foi posto para secar em estufa a 65^o C até atingir peso constante, e em seguida pesado em balança eletrônica.

2.2.3.2 Avaliação da velocidade de decomposição da serapilheira

Para instalação do experimento, foram inicialmente confeccionados setenta e cinco sacolas de serapilheira (“litter-bags”), com tela de náilon de 1mm², de cor branca, 25 mesh, de 20 x 20 cm. Amostras de serapilheira de folhas recém caídas, com peso em torno de oito gramas, foram colocadas dentro das sacolas. Em 11/07/2007, as sacolas foram colocadas sobre a superfície do solo sob cinco tratamentos de radiação: 1) 7% (entre fileiras de seringueiras em monocultivo); 2) 35,4% (entre fileiras de seringueiras em SAF); 3) 45,8% (entre fileiras de cafeeiro em SAF); 4) 71,6 % (entre fileiras do cafeeiro em SAF); 5) 100% (entre fileiras do cafeeiro em monocultivo (pleno sol)). Em cada tratamento foram dispostas quinze sacolas sobre o solo (Figura 4), que constituíram cinco repetições de três sacolas, coletadas em cinco épocas de amostragem: 1. 09/09/2007 (aos 60 dias após instalação); 2. 08/11/2007 (aos 120 dias); 3. 28/01/2008 (aos 201 dias); 4. 28/03/2008 (aos 261 dias); 5. 07/05/2008 (aos 301 dias).



Figura 4 - Disposição das sacolas de serapilheira sobre a superfície do solo

As sacolas de serapilheira coletadas em cada época de amostragem foram levadas ao laboratório e as folhas que constituíram a serapilheira foram colocadas em sacos de papel, postas para secar em estufa a 65 °C até atingir peso constante e em seguida limpas com pincel e pesadas em balança eletrônica.

O modelo teórico proposto para modelar a decomposição da serapilheira pode ser definido pelas eq. (1) e (2):

$$m = m_i \cdot e^{-k(t-60)} \quad \text{se } t \geq 60 \quad (1)$$

$$m = m_i \quad \text{se } t < 60 \quad (2)$$

onde:

m é a massa presente após decorrido um tempo t;

m_i é a massa inicial;

t é o tempo decorrido;

k é o coeficiente de decomposição da serapilheira;

e = 2,718281... base do sistema de Logaritmos Neperiano.

O coeficiente de decomposição K foi calculado utilizando-se a eq. (3):

$$K = \ln(m_i/m)/(t - 60) \quad (3)$$

O tempo de meia-vida foi determinado a partir da eq. (4) citada por Rezende et al. (1999):

$$T^{1/2} = \ln(2)/K \quad (4)$$

2.2.3.3 Fertilidade do solo

2.2.3.3.1 Amostragem do solo

As amostragens de solo para fins de análise química foram realizadas em 28/03/2006 e 19/04/2007 na projeção da copa de uma planta em cada uma das quatro repetições dos tratamentos com cafeeiros e dos tratamentos com seringueiras, em três profundidades: 1. 0-2 cm; 2. 2-7 cm; 3. 7-27 cm (Figura 5), definidas a partir da observação *in situ* em uma trincheira, com base na diferenciação de coloração entre camadas. A primeira camada, a mais escura (0-2 cm) e as adjacentes com coloração mais clara, a medida que aumentava a profundidade do perfil. As repetições foram constituídas por três amostras simples para com uma amostra composta em cada profundidade.

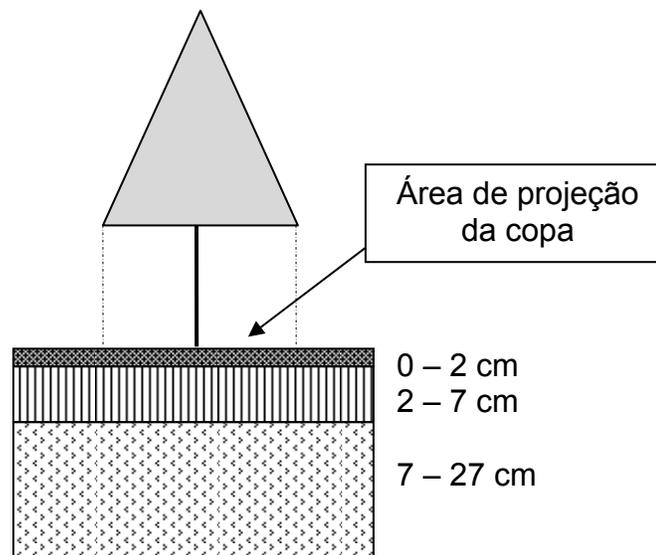


Figura 5 – Profundidades de amostragem do solo sob a projeção da copa da planta

2.2.3.3.2 Evolução da fertilidade do solo à sombra e a pleno sol

Para avaliação da evolução dos atributos de fertilidade do solo foram estabelecidos dois tratamentos de radiação: 1) 35,4% (sombra); 2) 100% (pleno sol), com quatro repetições. No período de avaliação, 13/09/2006 a 13/12/2007, foram coletadas noventa e seis amostras de solo, com a utilização de anéis metálicos coletores de amostras de terra de 5,5 cm de diâmetro e 5 cm de altura. A coleta de amostras ocorreu sempre na entrelinha do cafezal.

Em 13/09/2006 foram coletados doze anéis contendo amostras de solo em cada uma das quatro repetições nos tratamentos de sombra e pleno sol. Em seguida, os conteúdos de terra de dez anéis coletados no tratamento sombra foram permutados com aqueles de dez anéis coletados no tratamento a pleno sol, em cada uma das repetições. Dessa forma, as amostras de solo coletadas na sombra passaram a ser avaliadas na posição a pleno sol e as amostras coletadas no pleno sol passaram a ser avaliadas na posição de sombra.

Para a avaliação inicial dos atributos de fertilidade, em 13/09/2006, em cada um dos tratamentos, utilizaram-se amostras de solo simples de dois anéis para formar uma amostra composta, em cada repetição. Adicionalmente, foram coletadas a cada três meses: 13/12/2006, 13/03/2007, 13/06/2007, 13/09/2007 e 13/12/2007, amostras de solo simples de dois anéis, nas posições dos tratamentos na sombra e no pleno sol, para constituírem uma amostra composta, em cada uma das repetições.

2.2.3.3.3 Fracionamento químico da matéria orgânica

Para quantificação das frações da matéria orgânica do solo (M.O.), foram amostradas as profundidades de 0-2 cm e 2-7 cm, em cada um dos tratamentos (Tabela 1), com quatro repetições.

O fracionamento químico da matéria orgânica do solo foi realizado de acordo a metodologia proposta pela Sociedade Internacional de Substâncias Húmicas (SWIFT, 1996), como segue:

- 1) Tomou-se 20g de amostra em base de peso seco em estufa e removeram-se as raízes, peneirando as amostras em peneira com abertura de malha de 2 mm;

- 2) As amostras foram agitadas por 12h em 200 ml de uma solução de NaOH 0,1 N;
- 3) Centrifugaram-se as amostras por 30 min a 10.000 rpm;
- 4) O precipitado foi armazenado em câmara fria a 0 °C para posterior quantificação da fração húmica; O sobrenadante das amostras foi coletado e centrifugado novamente a 10.000 rpm por 30 min;
- 5) Foi adicionado HCl 6M às amostras até pH 1-2 e então se permitiu a sua decantação por um período de 12 -16h;
- 6) Sifonou-se e centrifugou-se a solução não precipitada (ác. fúlvico) da precipitada (ác. húmico) durante 30 min a 10.000 rpm;
- 7) A fração ácido fúlvico foi armazenada em frascos de vidro a 0 °C em câmara fria;
- 8) Redissolveu-se os ácidos húmicos adicionando um volume mínimo de KOH 0,1 M e KCl para atingir uma concentração de 0,3 M e então as amostras foram agitadas por 4h para uma melhor redissolução e centrifugadas por 30 min a 10.000 rpm;
- 9) Reprecipitou-se novamente os ácidos húmicos adicionando HCl 6M a pH 1-2 e permitiu-se sua decantação por um período de 12h;
- 10) Sifonou-se e centrifugou-se os ácidos húmicos (precipitado), sendo descartado o sobrenadante;
- 11) Suspendeu-se os ácidos húmicos em uma solução de 0,1 M HCl e 0,3 M HF em tubos de policarbonato e agitou-se durante 12h;
- 12) As amostras foram centrifugadas durante 30 min a 10.000 rpm, descartando-se o sobrenadante;
- 13) Repetiu-se o passo 11 novamente;
- 14) Para quantificação, as frações da matéria orgânica foram postas em frascos de vidro, secas em estufa a 50 °C até atingir peso constante e então pesadas em balança eletrônica.

. Determinação de cinzas

Para determinação das cinzas foram pesadas 0,02 g das amostras de ácidos fúlvicos e ácidos húmicos e 5 g das amostras contendo húmica, que em seguida foram

queimadas em mufla a 600 °C por 6 horas. Em seguida as amostras foram postas em dessecador e pesadas em balança de precisão.

2.2.3.4 Teores foliares de N e K do cafeeiro

2.2.3.4.1 Amostragem foliar

As amostragens de folhas do cafeeiro com a finalidade de avaliação do estado nutricional, em relação aos teores foliares de N e K, foram realizadas nas épocas de primavera e verão conforme recomendado por Malavolta, Vitti e Oliveira (1997), em 13/03/2006, 13/12/2006, 03/03/2007 e 24/09/2007, com a retirada de folhas do 3^o e 4^o pares, a partir da ponta, dos ramos a meia-altura e produtivos. Adicionalmente, para acompanhamento dos teores foliares de N e K, foram realizadas amostragens na época de inverno, em 25/06/2006 e 22/06/2007. Em cada parcela útil, composta por oito plantas selecionadas aleatoriamente, foram coletadas duas folhas de cada lado da planta. Em cada uma das repetições dos tratamentos envolvendo cafeeiros (35%, 45%, 90% e 100% de radiação solar disponível) constituiu-se uma amostra com trinta e duas folhas, que foi posta em saco de papel e encaminhada ao laboratório para análises.

2.2.3.5 Crescimento do cafeeiro

Foram avaliadas cinco plantas por parcela, selecionadas aleatoriamente, com quatro repetições em cada um dos quatro tratamentos (35%, 45%, 90% e 100% de radiação solar disponível), totalizando oitenta plantas.

Os cafeeiros foram avaliados semestralmente, sendo as avaliações realizadas em 22/03/2006, 25/09/2006, 14/03/2007 e 17/09/2007, quando foram medidos os seguintes parâmetros:

. Diâmetro do caule

A determinação do diâmetro do caule foi realizada a 5 cm do solo utilizando-se um paquímetro digital.

. Altura da planta

Para determinação da altura da planta utilizou-se de uma régua graduada, colocada paralelamente ao caule da planta, medindo-se a altura a partir do solo até a gema apical do ramo ortotrópico.

2.2.3.6 Peso foliar específico (PFE)

Para avaliação do peso foliar específico utilizou-se como amostra uma folha do 3^o par, a partir da ponta, de um ramo a meia-altura do cafeeiro em cada parcela, com quatro repetições e em cada um dos quatro tratamentos (35%, 45%, 90% e 100% de radiação solar disponível). A área foliar de cada amostra foi determinada no aparelho LAI 3100. Para determinação da matéria seca, as amostras foram inicialmente secas em estufa a 65^o C, até atingir peso constante, sendo em seguida pesadas em balança eletrônica.

O cálculo do peso foliar específico foi realizado por meio da divisão da matéria seca da folha em quilogramas pela sua respectiva área foliar em metros quadrados, eq. (5):

$$\text{PFE} = \text{MS}_{\text{folha}}/\text{AF} \text{ (Kg/m}^2\text{)} \quad (5)$$

2.2.3.7 Anatomia foliar do cafeeiro

2.2.3.7.1 Análise histológica

Para análise histológica, foram coletadas folhas do terceiro par, a partir da ponta, dos ramos a meia altura nos seguintes tratamentos: 35%, 45%, 90% e 100% de radiação solar disponível. As amostras foram fixadas em solução de Glutaraldeído e Formaldeído (KARNOVSKY, 1965), seguidas de desidratação crescente em série etílica (10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 e 100%), e inclusas em resina de hidroxietilmetacrilato (LEICA-HISTORESIN) de acordo com as recomendações do fabricante. Os blocos com as amostras foram cortados em seções transversais em micrótomo rotativo com aproximadamente 5 µm de espessura.

Os cortes foram corados com azul de toluidina (0,05%) em tampão, fosfatos e ácidos cítricos (SAKAI, 1973) e finalmente montados em lâminas histológicas com

resina sintética (Entellan[®]). As lâminas histológicas foram analisadas e fotomicrografadas em microscópio de luz (ZEISS-JENEMED2), as imagens foram capturadas na mesma escala com câmera SAMSUNG (SDC-313), e avaliadas para obtenção da área ocupada pelo tecido na folha.

. **Áreas dos tecidos:** Por meio de adaptações da técnica usual, as áreas dos diferentes tecidos das plantas analisadas foram obtidas pelo programa Quant[®] (VALE; FERNANDES FILHO; LIBERATO, 2003). Sendo o delineamento experimental inteiramente casualizado, composto de cinco repetições (cinco imagens/ 1 folha) por tratamento.

2.2.3.7.2 Número de estômatos

Para a determinação do número de estômatos foliares, foram coletadas folhas do terceiro par, a partir da ponta, dos ramos a meia altura nos seguintes tratamentos: 35%, 45%, 90% e 100% de radiação solar disponível. Em cada tratamento foram coletadas folhas de cinco plantas, que constituíram as repetições.

Para confecção das lâminas foi utilizado o terço mediano das folhas de cada tratamento, sendo essas impressas sobre películas de Adesivo Instantâneo Universal (éster de cianocrilato) e pressionadas por aproximadamente dez segundos, tempo necessário para que o adesivo se espalhasse (SEGATTO; BISOGNIN; BENEDETTI, 2004).

Com a impressão da epiderme abaxial deixada sobre a lâmina, foi possível visualizar os estômatos, sendo possível realizar a contagem.

. **Densidade estomática:** as lâminas foram analisadas em microscópio de luz equipado com ocular quadrada com área foliar de 0,78 mm².

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, composto de cinco repetições (1 folha/planta) por tratamento. Foram analisados cinco campos de contagens por folha, totalizando 25 contagens por tratamento.

2.2.3.8 Maturação dos frutos do cafeeiro

Foram realizadas avaliações da maturação dos frutos do cafeeiro, nas safras de 2006 e 2007, nas datas específicas de colheita de cada tratamento: 35%, 28/06/2006 e 26/06/2007; 45%, 17/07/06 e 12/07/2007; 90%, 07/08/06 e 02/08/2007 e 100%, 08/08/06 e 02/08/2007. Utilizou-se uma amostra de trezentos gramas de café da roça, realizando-se em seguida a quantificação através de contagem e classificando-se de acordo o seguinte:

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

2.2.3.8.1 Avaliação simultânea da maturação

Para avaliação simultânea da maturação dos frutos do cafeeiro nos diferentes tratamentos nas safras 2006 e 2007, foram realizadas amostragens em 13/07/2006 e 14/06/2007, coletando-se de cada tratamento uma amostra de trezentos gramas de café da roça, o qual foi obtido da colheita de uma planta por parcela.

Após coleta da amostra, realizou-se a quantificação por contagem e a classificação como anteriormente descrita.

2.2.3.9 Produção do cafeeiro

Para avaliação da produção nas safras de 2006 e 2007, foi utilizada uma amostra de duas plantas por parcela. As produtividades de cafés coco e beneficiado foram determinadas através das massas em quilogramas produzidas por parcela. Os dados foram posteriormente transformados em quilogramas por planta.

. Peso do café em coco

Os frutos foram colhidos por meio de derrça no pano e colocados para secar no terreiro até atingir umidade próxima a 11%, obtendo-se o café coco, que foi pesado em balança eletrônica.

. **Peso do café beneficiado**

O café em coco foi beneficiado para a retirada da polpa e do pergaminho. Para uniformizar a umidade das sementes, efetuou-se a determinação do peso e da umidade das amostras beneficiadas, que aplicados na eq. (6) abaixo, forneceram o peso corrigido para a umidade equivalente a 11%.

$$P_{11\%} = PB (100 - UB) / (100 - 11) \quad (6)$$

onde:

P_{11%} = Peso do café beneficiado, corrigido a umidade de 11%;

PB = Peso do café beneficiado;

UB = Umidade do café beneficiado.

. **Rendimento**

Foi determinado pela razão entre o peso do café beneficiado e o café coco.

. **Índice de bienalidade**

Para a determinação do índice de bienalidade (IB) da produção, utilizou-se a eq. (7), proposta por Lunz (2006) e modificada por Jaramillo Botero (2007):

$$IB = \sqrt{((Prod2 - Prod1)/Prod1)^2} + \sqrt{((Prod3-Prod2)/Prod2)^2} \dots \sqrt{((Prodn-Prodn-1)/Prodn-1)^2} / n \quad (7)$$

onde:

Prod n = Produção do ano atual

Prod n-1 = Produção do ano anterior

n = Intervalo entre anos

2.2.3.10 Qualidade da bebida do café

Para análise sensorial da bebida do café das safras de 2006 e 2007 foram encaminhadas para laboratórios de classificação amostras contendo 300 g de grãos beneficiados de café.

2.3 Resultados e discussão

2.3.1 Deposição de serapilheira

Observa-se na Figura 6, que as maiores deposições de serapilheira no período de avaliação de maio de 2006 à abril de 2008, ocorreram nos meses de junho e julho, época em que a seringueira, espécie de hábito decíduo, apresenta maior queda de folhas. Por outro lado, as menores deposições ocorreram de outubro a janeiro, no período chuvoso da região. Nos meses de abril e maio de 2007 ocorreu uma pequena oscilação que desvia dessa tendência que, porém, não a modifica acentuadamente. O tratamento SAF de seringueira e cafeeiros mais sombreados (35,4% de radiação sobre o solo) atingiu as produções mais elevadas de serapilheira, com o maior pico no mês de junho. Por sua vez, no tratamento com cafeeiro em monocultivo (100% de radiação sobre o solo), as produções de serapilheira foram sempre mais baixas do que as dos demais tratamentos, apresentando valores nulos em alguns meses. O tratamento seringueira em monocultivo (7% de radiação sobre o solo) atingiu na maior parte do período de avaliação, valores de produção de serapilheira inferiores ao SAF com cafeeiros mais sombreados e SAF com cafeeiros sob sombreamento intermediário (45,8% de radiação sobre o solo), e superiores aos dos tratamentos SAF com cafeeiros menos sombreados (71,6% de radiação sobre o solo) e ao tratamento de cafeeiros em monocultivo. Portanto, as maiores deposições de serapilheira ocorreram nos SAFs de seringueira e cafeeiros mais sombreados e sob sombreamento intermediário.

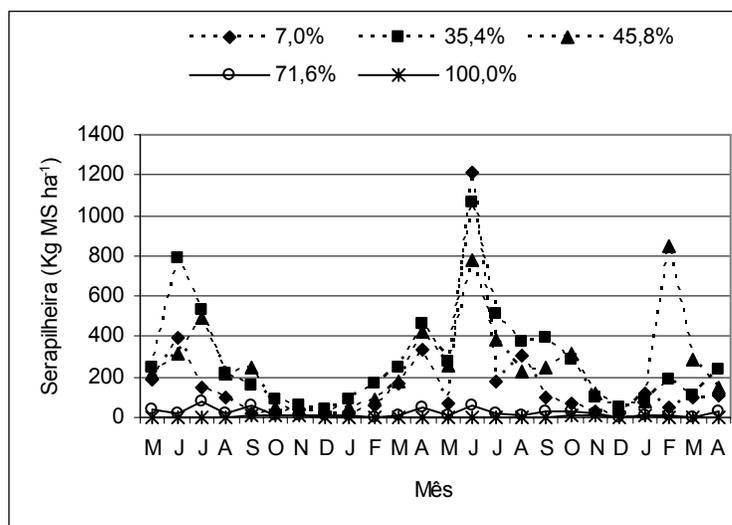


Figura 6 - Produção mensal de serapilheira em SAFs de seringueira e cafeeiro e em monocultivos de cafeeiro e seringueira no período de maio de 2006 a abril de 2008

Na Tabela 3, verifica-se que no primeiro ano de avaliação, o tratamento 35,4% teve a maior média de deposição, a qual não diferiu significativamente do tratamento 45,8%. As médias dos tratamentos 7% e 45,8%, próximas ao tratamento 35,4%, não diferiram entre si, mas diferiram dos tratamentos com as menores médias, 71,6% e 100%.

Tabela 3 – Produção de serapilheira nos diferentes sistemas nos períodos de 2006/2007 e 2007/2008

Ano	Tratamento	Matéria seca de serapilheira g 0,33m ² ⁻¹
2006/2007	7%	4,17 B
	35,4%	8,53 A
	45,8%	6,51 AB
	71,6%	0,88 C
	100%	0,11 D
2007/2008	7%	6,62 B
	35,4%	9,82 A
	45,8%	8,65 AB
	71,6%	0,71 C
	100%	0,15 D

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula, em cada ano, não difere pelo teste de Mann-Whitney ao nível de 5%.

Campanha et al. (2007) observaram que houve tendência de maior queda de material vegetal no período frio e seco (abril a setembro), em SAFs de cafeeiros e árvores de diferentes espécies, entre nativas e frutíferas e em cafeeiros em monocultivo.

Segundo esses autores, um dos picos de produção observado exclusivamente no SAF, corresponde a um comportamento típico da floresta subperenifólia, que sofre grande queda de folhas durante a estação seca. Severino e Oliveira (1999) verificaram pico de produção de serapilheira no início de agosto, decrescendo a partir do mês de setembro, em SAFs de cafeeiros e ingazeiros e de cafeeiros, ingazeiros e bananeiras. Arato, Martins e Ferrari (2003) relataram que, em SAF composto por espécies arbóreas nativas e frutíferas consorciadas com cafeeiros e bananeiras, os maiores valores de produção ocorreram no final da estação seca, atingindo o máximo em setembro. Esses mesmos autores, concluíram que o padrão sazonal de deposição de serapilheira no SAF, com produção máxima no final da estação seca, é típico de florestas semidecíduais, nas quais o pico de deposição de folhas nessa época do ano ocorre como resposta da vegetação à estacionalidade climática.

Na comparação de médias de deposição de serapilheira, entre meses, no primeiro ano de avaliação (Tabela 4), observa-se que os meses de junho diferiu significativamente dos meses de dezembro, janeiro e fevereiro.

Tabela 4 – Deposição mensal de serapilheira no período de maio de 2006 a abril de 2007

Mês	Matéria seca de serapilheira g 0,33m ² ⁻¹
Mai	4,28 A
Jun	9,59 AB
Jul	8,88 ABC
Ago	3,79 ABCD
Set	3,63 ABCDE
Out	1,30 ABDEF
Nov	1,02 BDEFG
Dez	0,73 FGH
Jan	1,16 DEFGHI
Fev	2,19 ADEFGHIJ
Mar	3,76 ABCDEFGHIJL
Abr	7,85 ABCDEFGL

Médias seguidas pelas mesma letra maiúscula, não difere pelo teste de Mann-Whitney ao nível de 5%

No período de avaliação de maio de 2007 à abril de 2008, (Figura 6), verifica-se que o maior pico de produção de serapilheira ocorreu no mês de junho, como observado no período anterior, sendo atingido desta vez pelo tratamento seringueira em

monocultivo. Nesse mesmo mês, os tratamentos SAF de seringueira e cafeeiros mais sombreados e SAF de seringueiras e cafeeiros sob sombreamento intermediário, alcançaram os valores de produção mais próximos ao do tratamento de seringueira em monocultivo, enquanto que os tratamentos SAF de seringueiras com cafeeiros menos sombreados e de cafeeiros em monocultivo alcançaram os valores mais baixos. Outro pico de produção ocorreu em fevereiro, no tratamento SAF de seringueira e cafeeiros sob sombreamento intermediário. No geral, as menores produções de serapilheira ocorreram no período de novembro a janeiro.

No segundo ano de avaliação (2007/2008), verifica-se que os tratamentos 35,4% e 45,8% (Tabela 3), que alcançaram as maiores médias, não diferiram entre si. O tratamento 45,8% não diferiu do tratamento 7%, que teve média de deposição intermediária, entretanto, diferiu juntamente com 35,4% e 7% dos tratamentos 71,6% e 100%, os quais tiveram as menores médias. Na comparação de médias entre meses (Tabela 5), observa-se que o mês de junho com a maior média de deposição, não diferiu da maioria dos meses.

Tabela 5 – Deposição mensal de serapilheira no período de maio de 2007 a abril de 2008

Mês	Matéria seca de serapilheira g 0,33 m ² ⁻¹
Mai	4,38 A
Jun	15,30 AB
Jul	7,45 ABC
Ago	5,36 ABCD
Set	5,43 ABCDE
Out	5,13 ABCDEF
Nov	1,98 ABCDEFG
Dez	0,89 ACDEGH
Jan	1,66 ABCDEFGHI
Fev	5,07 ABCDEFGHIJ
Mar	3,29 ACDEFGHIJL
Abr	3,44 ABCDEFGIJL

Médias seguidas da mesma letra maiúscula, não difere pelo teste de Mann-Whitney ao nível de 5%

Na Figura 7, observa-se que as maiores produções totais ocorreram nos tratamentos SAF de seringueiras e cafeeiros mais sombreados e SAF de seringueira e cafeeiros sob sombreamento intermediário, com valores de 3.100,46 e 2.366,52 Kg MS

ha⁻¹ (2006/2007) e 3.679,40 e 3.739,16 Kg MS ha⁻¹ (2007/2008), respectivamente. Produções intermediárias foram atingidas pelo tratamento seringueira em monocultivo 1.515,43 (2006/2007) e 2.353,03 Kg MS ha⁻¹ (2007/2008). Entre os tratamentos de SAF, aquele com cafeeiros menos sombreados foi o que teve as menores produções, 318,33 Kg MS ha⁻¹ (2006/2007) e 240,61 Kg MS ha⁻¹ (2007/2008). Por outro lado, o tratamento com cafeeiros em monocultivo foi, no geral, o que alcançou os menores valores, 40,08 Kg MS ha⁻¹ (2006/2007) e 50,61 Kg MS ha⁻¹ (2007/2008). A baixa produção de serapilheira neste último tratamento pode ter sido influenciada pela localização dos coletores, no centro das entre fileiras dos cafeeiros, portanto, afastadas da área de projeção da copa, local onde há maior deposição de serapilheira pelo cafeeiro. O qual, apesar de não ser uma espécie caducifólia, pode sofrer perda acentuada de folhas em ambientes ou condições não favoráveis a planta como relatado por Matiello et al. (2005). Campanha et al. (2007) também obtiveram produção total de serapilheira menor nos cafeeiros em monocultivo do que no SAF.

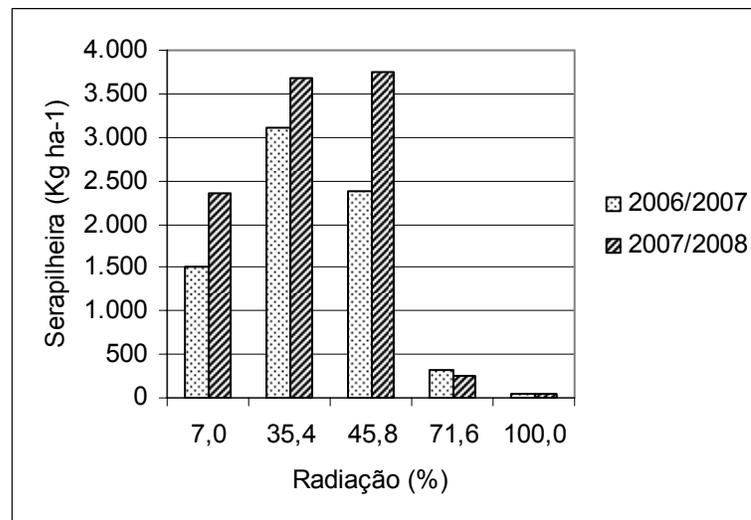


Figura 7 - Produção total de serapilheira em SAFs de seringueira e cafeeiro e em monocultivos de cafeeiro e seringueira nos períodos de maio/06 a abril/07 e maio/07 a abril/08

À exceção do tratamento de SAF de seringueiras e cafeeiros menos sombreados, os tratamentos tiveram produção de serapilheira menor no primeiro período de avaliação (2006/2007) do que no segundo período (2007/2008). No entanto, não foi verificada diferença estatística entre estes períodos (Tabela 6). As produções observadas nos

tratamentos de seringueira em monocultivo e nos SAFs com cafeeiros mais sombreados e com cafeeiros sob sombreamento intermediário foram afetadas no primeiro período de avaliação, devido à ocorrência de um mini-ciclone em Piracicaba-SP, em 29 de março de 2006, o qual ocasionou danos às copas das árvores de seringueira. Righi et al. (2001) avaliaram o IAF e a fenologia de três cultivares de seringueira, em Piracicaba, e relataram queda abrupta das folhas iniciada a partir do final do mês de maio e refolhamento a partir do mês de julho. Portanto, o mini-ciclone ocorreu em época muito próxima ao período de maior deposição de folhas pela seringueira.

Tabela 6 - Produção de serapilheira nos períodos de 2006/2007 e 2007/2008

Ano	Matéria seca de serapilheira g 0,33m ² ⁻¹
2006/2007	4,01 A
2007/2008	4,90 A

Médias seguidas da mesma letra não difere pelo teste de Mann-Whitney ao nível de 5%

Considerando-se a média das produções de serapilheira em cada tratamento e os teores de macronutrientes nas folhas de seringueira que constituíram a serapilheira, temos na Tabela 7, as quantidades de macronutrientes depositadas no solo em cada tratamento.

Tabela 7 - Deposição de macronutrientes no solo pela serapilheira (folhas) da seringueira

Tratamento	N	P	K	Ca	Mg	S
	----- Kg ha ⁻¹ ano ⁻¹ -----					
7%	28,99	2,39	15,47	52,26	8,94	5,16
35,4%	50,82	4,20	27,12	91,60	15,66	9,05
45,8%	45,76	3,79	24,42	82,49	14,10	8,15
71,6%	4,19	0,35	2,24	7,55	1,29	0,75
100%

Nota: Sinal convencional utilizado .. Não se aplica dado numérico

2.3.2 Avaliação da velocidade de decomposição da serapilheira

Observa-se na Figura 8, que 60 dias após as amostras de serapilheira terem sido colocadas no campo para decompôr em sacolas de serapilheira (“litter bags”), todos níveis de radiação (tratamentos) apresentaram valores de massa remanescente muito próximos e não verificou-se decomposição do material. Ressalta-se que a média de massa de matéria seca de amostras coletadas anteriormente à instalação do experimento foi de 5,5 g, podendo a pouca umidade característica desse período, ocorrido no inverno, ter contribuído para a estabilidade do material.

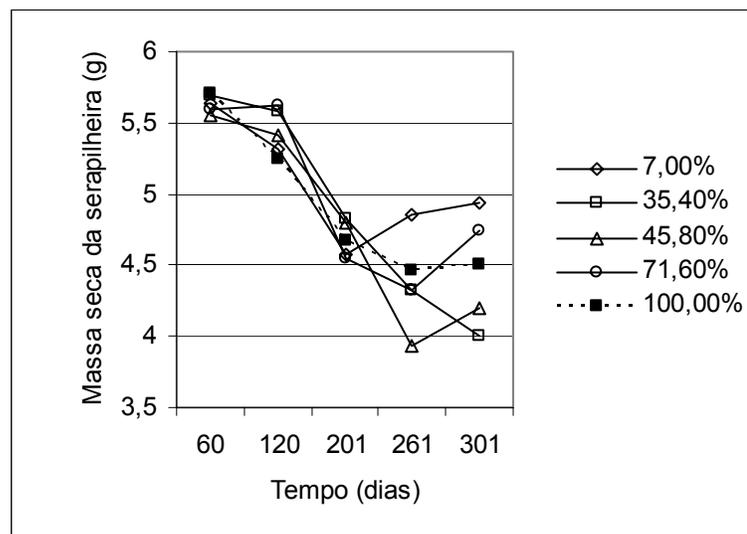


Figura 8 - Massa seca de serapilheira sob diferentes radiações no período de 301 dias

Decorridos 120 dias, verifica-se (Figura 8) redução da massa de serapilheira nos níveis de radiação 7%, 45,8% e 100%. Por sua vez, aos 201 dias após a instalação, alguns meses após o início do período úmido para a região (outubro a março), nota-se que houve decomposição em todos os níveis de radiação. Passados 261 dias, verificam-se sob as radiações de 35,4%, 45,8% e 71,6% os valores mais baixos de massa remanescente. Finalmente, após 301 dias das amostras de serapilheira no campo (Figura 8 e 9) observa-se que os níveis de radiação 35,4% e 45,8%, nos SAFs mais sombreados, foram os que apresentaram menores massas remanescentes, que foram os tratamentos que apresentaram os maiores coeficientes de decomposição (K),

0,001462 e 0,001156, respectivamente (Tabela 8). As condições microclimáticas nos SAFs sob menores radiações devem ter favorecido a ação dos organismos decompositores. Segundo Luizão et al. (2000) apud Campanha et al. (2007), o processo de decomposição no SAF pode ser acelerado uma vez que o ambiente mais ameno (redução da amplitude térmica e aumento da umidade dentro da lavoura) favorece a atividade microbiana. Souto (2006), em estudo realizado em área de caatinga, observou que baixos valores de pluviosidade e a temperatura do solo elevada, com reflexos na água do solo, tornaram o processo de decomposição mais lento. Segundo esta autora, isso indica que as condições climáticas adversas limitaram a atividade dos organismos decompositores.



Figura 9 – Estado de decomposição de amostras de serapilheira de uma repetição, sob diferentes níveis de radiação, após 301 dias de instalação do experimento

Tabela 8 - Coeficiente de decomposição da serapilheira (K) nos diferentes níveis de radiação solar

Radiação	Coeficiente de decomposição (K)
7,0%	0,00055
35,4%	0,001462
45,8%	0,001156
71,6%	0,000683
100,0%	0,000981

Os maiores valores dos coeficientes de decomposição de serapilheira observados nos SAFs com cafeeiros sob maior sombreamento e sob sombreamento intermediário,

onde as radiações sobre o solo foram de 35,4% e 45,8%, respectivamente, promovem em conjunto com as maiores deposições de serapilheira por eles apresentadas, ciclagens de nutrientes mais rápidas e em maior quantidade nestes sistemas, o que significa maior liberação de nutrientes e em um menor tempo para as culturas.

Machado (2006) avaliando a decomposição de serapilheira (folhas) de seringueira verificou após 20 meses, 74% de massa remanescente de serapilheira do clone IAN 873. Por outro lado, restavam 19% de massa remanescente do clone RRIM 600. Para este autor, a maior fertilidade do solo sob este último clone e, possivelmente, a maior atividade biológica do solo, devem ser motivos para que o clone de seringueira RRIM 600 tenha uma decomposição maior e, com isso, libere maior quantidade de nutrientes para o solo.

O tratamento 35,4% foi o que apresentou menor tempo de meia-vida, sendo de 474 dias, seguido do tratamento 45,8% com 599 dias, enquanto que os tratamentos 7%, 71,6% e 100% apresentaram tempos de meia-vida elevados, de 1260, 1014 e 706 dias, respectivamente. Os tempos de meia-vida elevados devem-se às taxas de decomposição muito baixas, verificadas nos tratamentos. O tratamento 7%, sob seringueiras em monocultivo, teve o tempo de meia-vida mais elevado devido à pouca radiação e conseqüentemente à temperatura mais baixa nesse ambiente, tendo esta condição sido desfavorável à ação da biota do solo na decomposição da serapilheira. Entretanto, este ambiente favorece à matéria orgânica do solo permanecer por maior tempo. Os tratamentos 71,6% e 100% tiveram decomposição intermediária, as radiações mais elevadas nesses ambientes não possibilitaram que a decomposição ocorresse mais rapidamente, possivelmente devido a uma menor umidade nessas condições. Por outro lado, os tratamentos 35,4% e 45,8% alcançaram as maiores taxas de decomposição, devido às melhores condições de umidade e temperatura.

Verifica-se na Figura 10, que a curva experimental da massa remanescente de serapilheira no tratamento 7% apresenta uma aderência ao modelo teórico exponencial mantida até os 200 dias. O mesmo não observa-se em relação à curva ajustada por regressão não linear (Figura 11), a qual não apresenta aderência à curva experimental.

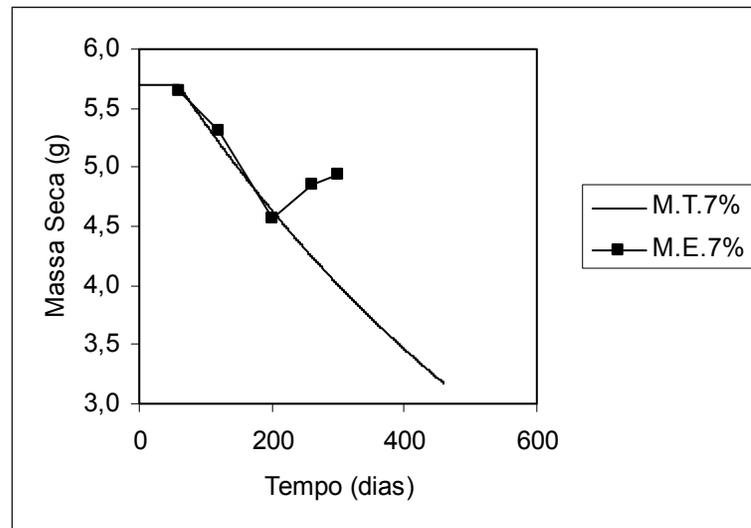


Figura 10 - Comparação da distribuição da massa remanescente de serapilheira sob radiação de 7% pelos modelos experimental e teórico exponencial

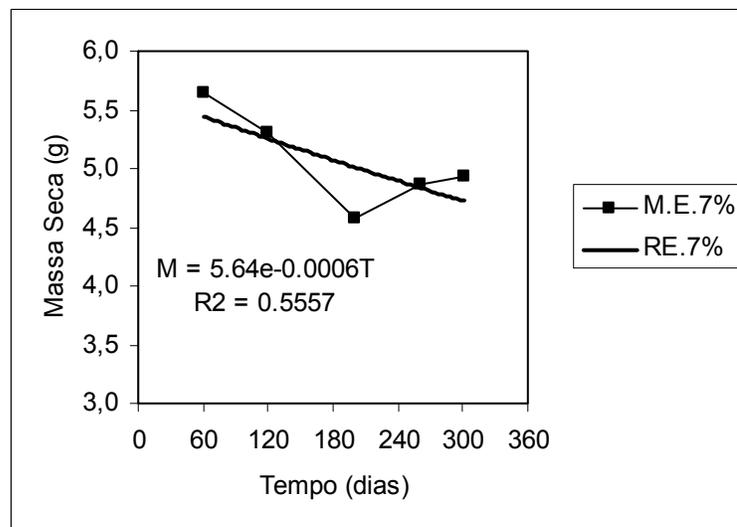


Figura 11 - Comparação da distribuição da massa remanescente da serapilheira sob a radiação de 7% pelos modelos experimental e de regressão exponencial

Na Figura 12, observa-se que as curvas experimental e teórico exponencial para a massa remanescente sob 35,4% de radiação apresentam um maior distanciamento até em torno dos 200 dias. Observa-se também que a curva experimental apresenta aderência ao modelo teórico exponencial apenas no período entre 261 e 301 dias. Por outro lado, o modelo de regressão não adere à curva experimental, embora esteja mais próximo no período de 180 a 301 dias (Figura 13).

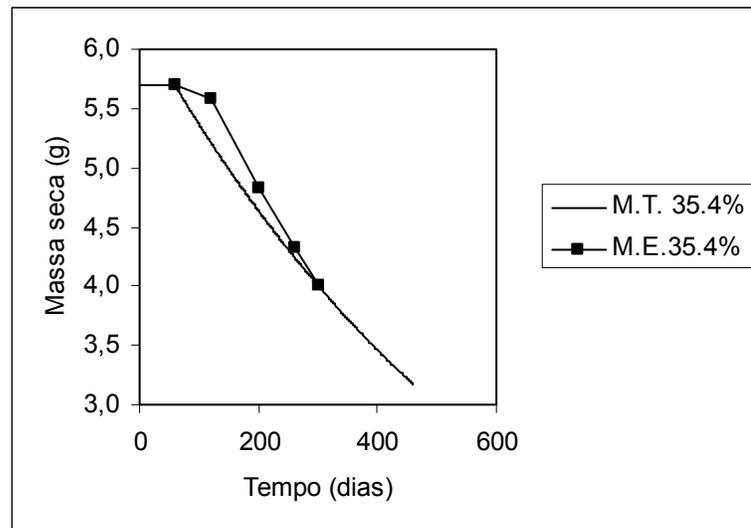


Figura 12 - Comparação da distribuição da massa remanescente de serapilheira sob a radiação de 35,4% pelos modelos experimental e teórico exponencial

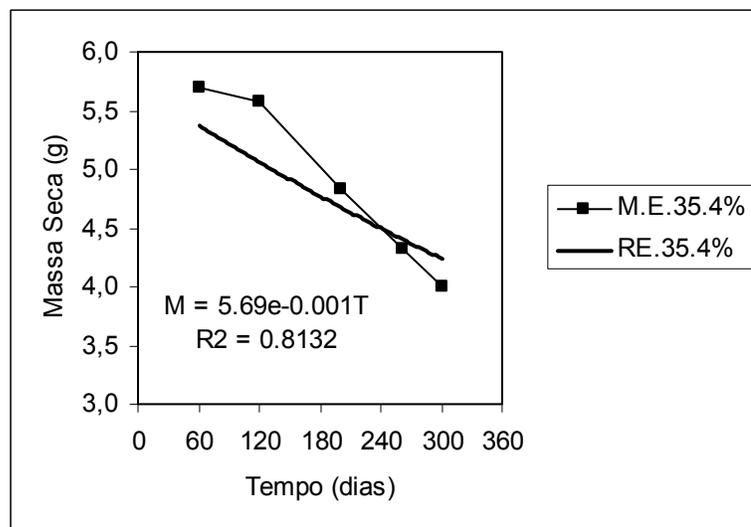


Figura 13 - Comparação da distribuição da massa remanescente de serapilheira sob a radiação de 35,4% pelos modelos experimental e de regressão exponencial

As curvas dos modelos experimental e teórico exponencial para a massa de serapilheira sob 45,8% de radiação apresentam uma maior aproximação até em torno 200 dias (Figura 14). Observa-se na Figura 15, que a curva experimental apresenta um comportamento em relação à curva de regressão semelhante ao verificado em relação ao modelo teórico exponencial, embora com um maior distanciamento .

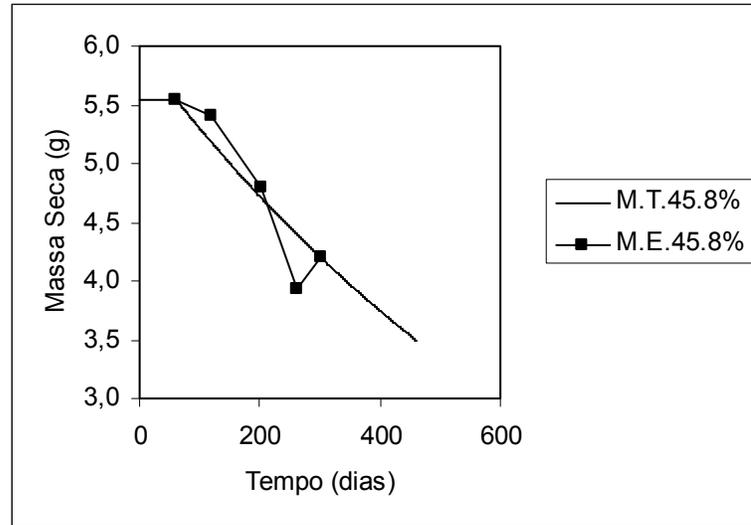


Figura 14 - Comparação da distribuição da massa remanescente de serapilheira sob a radiação de 45,8% pelos modelos experimental e teórico exponencial

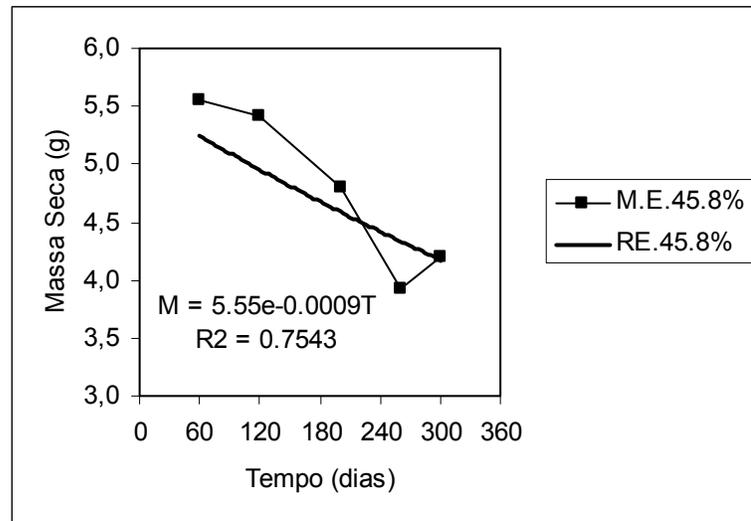


Figura 15 - Comparação da distribuição da massa remanescente de serapilheira sob radiação de 45,8% pelos modelos experimental e de regressão exponencial

Observa-se na Figura 16, que a curva experimental da massa remanescente de serapilheira sob 71,6% não apresenta aderência em relação ao modelo teórico, o que também verifica-se em relação à curva de regressão (Figura 17).

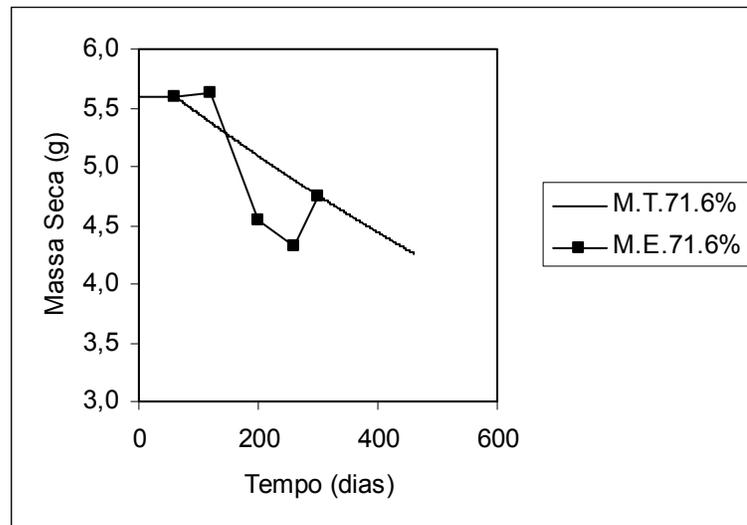


Figura 16 - Comparação da distribuição da massa remanescente de serapilheira sob radiação de 71,6% pelos modelos experimental e teórico exponencial

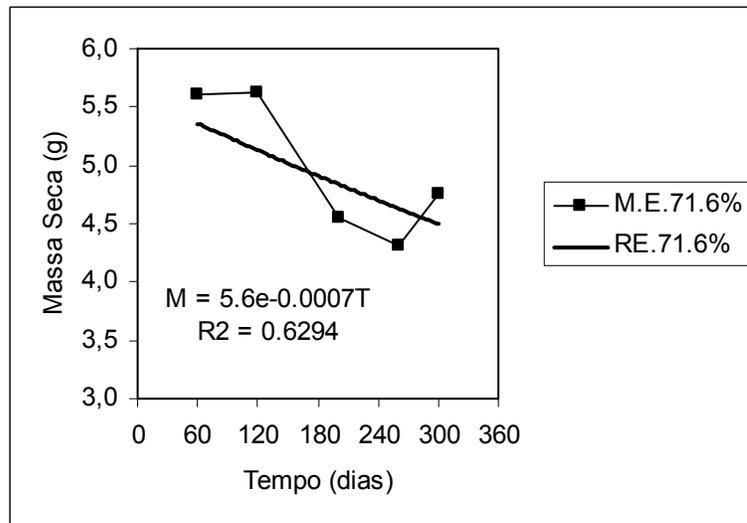


Figura 17 - Comparação da distribuição da massa de serapilheira sob radiação de 71,6% pelos modelos experimental e de regressão exponencial

A massa remanescente de serapilheira sob radiação de 100% apresentou modelo experimental (Figura 18) com melhor ajuste ao modelo teórico exponencial até os 120 dias, apresentando entre os 120 e 261 dias um maior distanciamento. Verifica-se também que a curva de regressão não linear apresentou o maior coeficiente de correlação (R2) em relação a curva experimental (Figura 19).

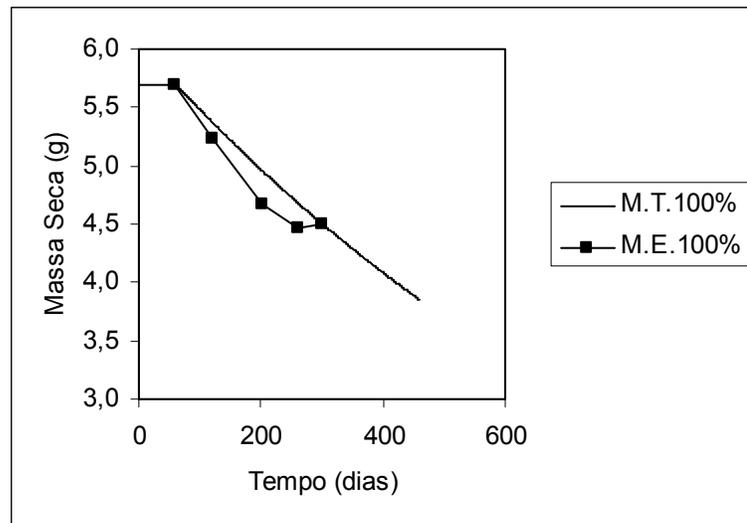


Figura 18 - Comparação da distribuição da massa de serapilheira sob radiação de 100% pelos modelos experimental e teórico exponencial

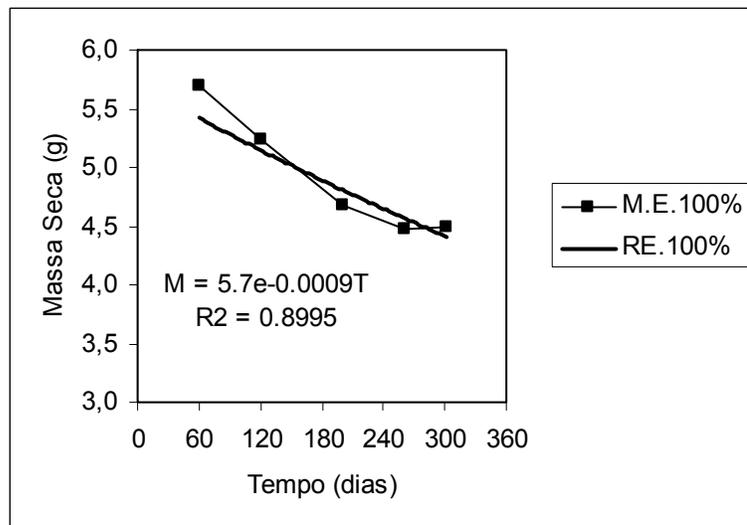


Figura 19 - Comparação da distribuição da massa de serapilheira sob radiação de 100% pelo modelo experimental e de regressão exponencial

Nas figuras 20 e 21, verifica-se, de acordo o modelo teórico proposto para a decomposição, a massa remanescente de serapilheira ao longo dos períodos de 5 anos (1825 dias) e 10 anos (3650 dias), respectivamente. Nas duas situações, os tratamentos 35,4% e 45,8%, sob SAF, são os que mantêm maiores perdas de massa, sendo que aos 10 anos, observa-se que as massas desses dois tratamentos já foram quase totalmente decompostas.

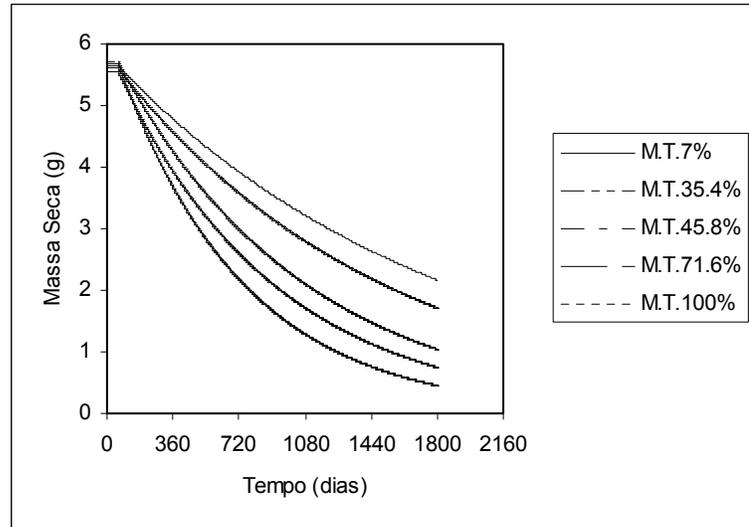


Figura 20 - Massa seca de serapilheira da seringueira sob diferentes radiações no período de 5 anos

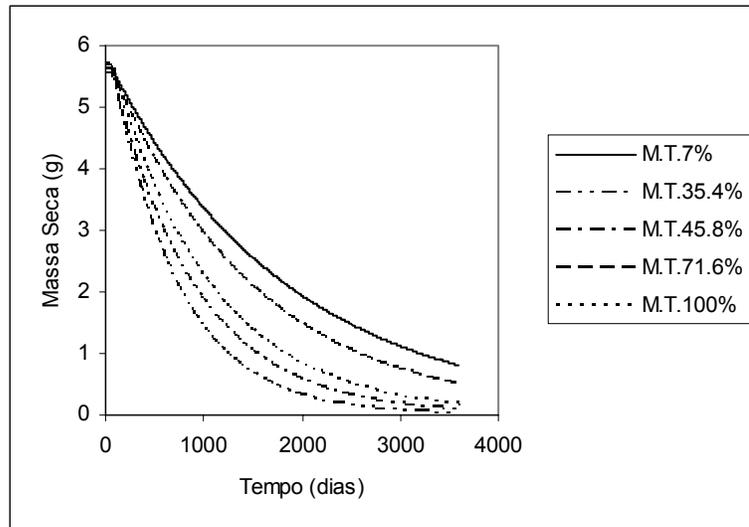


Figura 21 – Massa seca de serapilheira da seringueira sob diferentes radiações no período de 10 anos

2.3.3 Fertilidade do solo

Os resultados das análises dos atributos químicos do solo estão apresentados nas Figuras 22 (A a J) e 23 (A a J), nas quais a profundidade está expressa como valor da profundidade intermediária da camada.

Os teores mais elevados para pH (Figura 22A) e saturação por bases (Figura 22B) ocorreram nos tratamentos 7,0% e 35,4% de radiação, sob seringueira em

monocultivo e SAF de seringueiras e cafeeiros mais sombreados, respectivamente, sendo seguidos pelos tratamentos 6,4% e 47,5% de radiação, na projeção da copa de cafeeiros em SAF, sob maior sombreamento e sob sombreamento intermediário, respectivamente. A maior deposição de serapilheira observada nesses tratamentos contribuiu para elevação dos teores de bases trocáveis, principalmente Ca, elemento que teve o teor mais elevado nas folhas de seringueira depositadas sobre o solo (Tabela 9).

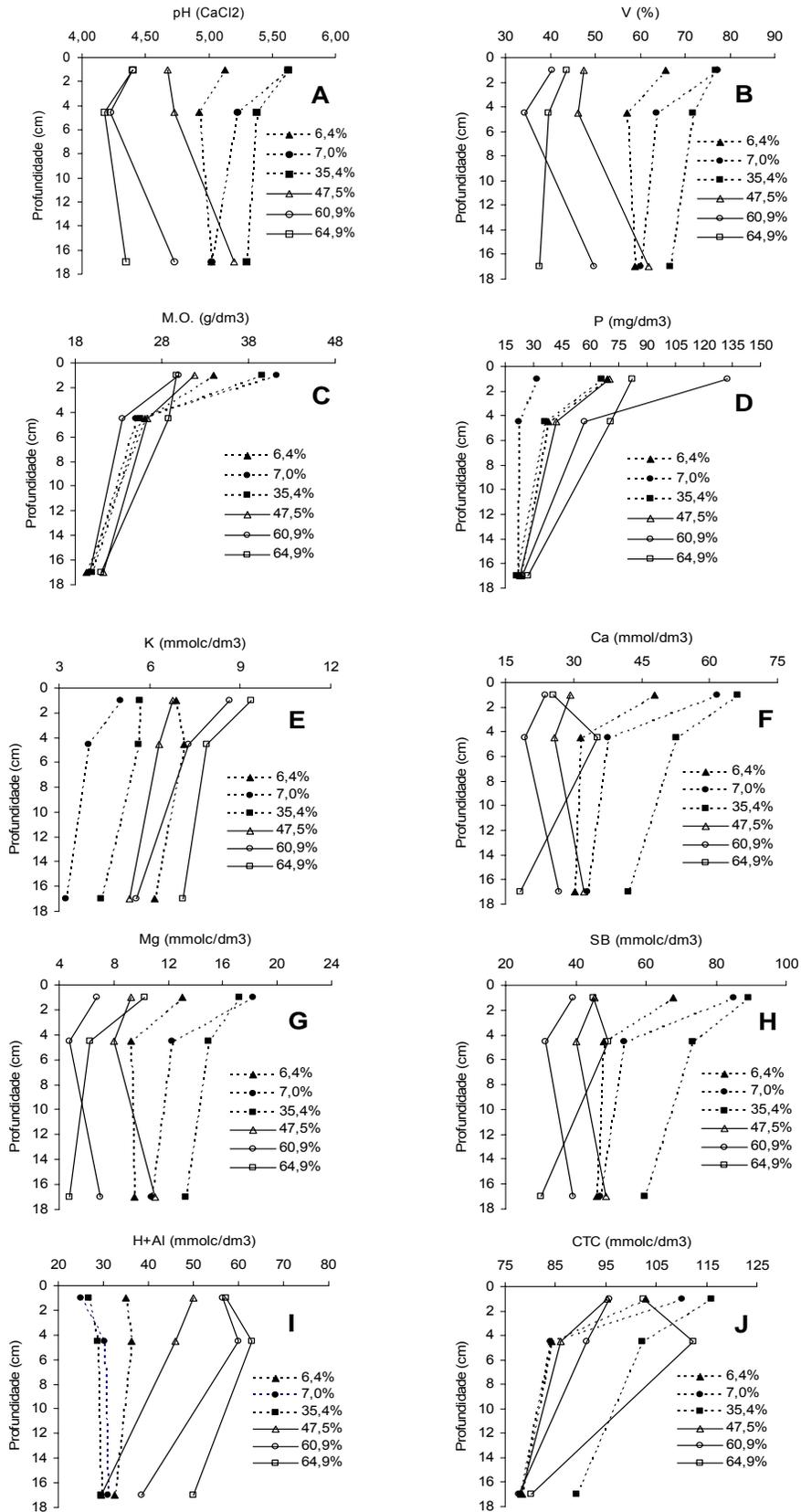


Figura 22 - Resultados da análise química do solo efetuada em 2006

Tabela 9 - Teores médios de macronutrientes nas folhas de seringueira que constituíram a serapilheira

N	P	K	Ca	Mg	S
----- g Kg ⁻¹ -----					
14,99	1,24	8	27,02	4,62	2,67

De acordo com Wong, Hairiah e Alegre (2004), em experimentos feitos com a adição de resíduos de planta em solos ácidos, aumentou o pH e decresceu a saturação por Al, com melhoria nas condições para o crescimento das plantas. A concentração de cátions básicos, tais como Ca, Mg e K, está estreitamente relacionada à capacidade dos resíduos de neutralizar a acidez do solo em razão de vários mecanismos. O rápido aumento que se verifica no pH em curto prazo ocorre devido à complexação de prótons por ânions orgânicos. Segundo Young (1989) as árvores tendem a moderar os efeitos de lixiviação através a adição de bases à superfície do solo. Contudo, não se pode garantir, se a serapilheira das árvores pode ser um meio significativo de elevação do pH em solos ácidos, devido à ordem de magnitude envolvida, exceto através da liberação de bases que tenham sido acumuladas durante muitos anos de crescimento das árvores, como no desmatamento.

A maior cobertura e proteção do solo, proporcionadas pelas seringueiras e serapilheira depositada, geralmente promove uma menor lixiviação de bases trocáveis, assim como relatado por Pavan et al. (1986) em cafeeiro adensado.

O pH na profundidade de 0-2 cm, não diferiu entre os tratamentos 7,0% e 35,4% (Tabela 10), no entanto, estes diferiram em relação aos demais tratamentos. Na camada de 2-7 cm houve similaridade em relação à camada anterior, sendo que o tratamento 7% não apresentou diferença significativa em relação ao 6,4%. Na maior profundidade (7-27 cm), o tratamento 35,4% diferiu daqueles sobre as maiores radiações (60,9% e 64,9%), por sua vez, o tratamento 7,0% diferiu apenas do 64,9%. Entre profundidades, verificaram-se diferenças nos valores de pH em 7,0%, 47,5% e 60,9%.

Tabela 10 - Resultados da análise química do solo efetuada em 2006

Profundidade	Tratamento	pH									
		(CaCl ₂)	V	M.O.	P	K	Ca	Mg	SB	H+Al	CTC
cm			%	g dm ⁻³	mg dm ⁻³	----- mmolc mol ⁻³ -----					
0-2	6,4%	5,13Ba	67,75Aa	34,00ABa	69,25	6,88	48,00ABa	13,00ABa	67,88ABa	35,00BCa	102,88
	7,0%	5,63Aa	77,25Aa	41,25Aa	31,50	5,05	61,75Aa	18,25Aa	85,05Aa	25,00Cb	110,05
	35,4%	5,63Aa	76,75Aa	39,50ABa	66,00	5,68	66,25Aa	17,25Aa	89,18Aa	26,75Ca	115,93
	47,5%	4,68BCb	47,50Bb	31,75ABa	70,25	6,78	29,25BCa	9,25Bab	45,28BCa	50,00ABa	95,28
	60,9%	4,40Cab	40,50Ba	30,00Ba	132,75	8,65	23,75Ca	6,75Ba	39,15Ca	56,50Aa	95,65
	64,9%	4,40Ca	43,75Ba	29,75Ba	82,25	9,38	25,50Ca	10,25Ba	45,13BCa	57,25Aa	102,38
CV (%)		4,37	11,75	13,32			19,71	23,00	17,60	16,21	
2-7	6,4%	4,93BCa	57,00ABCb	26,00Ab	37,50	7,13	31,50Ab	9,25BCa	47,88ABb	36,25BCa	84,13
	7,0%	5,23ABb	63,75ABb	25,00Ab	22,00	3,98	37,50Ab	12,25ABb	53,73ABb	30,25Ca	83,98
	35,4%	5,38Aa	71,75Aab	25,50Ab	36,00	5,65	52,75Ab	15,00Aab	73,40Aab	28,75Ca	102,15
	47,5%	4,73Cb	46,25BCDb	26,25Ab	42,25	6,33	25,75Aa	8,00BCDb	40,08ABa	46,00Ba	86,08
	60,9%	4,23Db	34,25Da	23,50Aab	57,25	7,30	19,25Aa	4,75Da	31,30Ba	60,00Aa	91,30
	64,9%	4,18Da	39,50CDa	28,75Aa	70,75	7,90	35,25Aa	6,25CDa	49,40ABa	63,00Aa	112,40
CV (%)		4,09	18,46	9,19			49,32	21,47	37,51	12,76	
7-27	6,4%	5,03ABa	58,75Ab	19,25Ac	23,25	6,15	30,25ABb	9,50ABa	45,90ABb	32,50Ba	78,40
	7,0%	5,03ABb	60,00Ab	19,75Ab	21,50	3,23	33,00ABb	10,75ABb	46,98ABb	31,00Ba	77,98
	35,4%	5,30Aa	66,75Ab	20,00Ab	20,75	4,40	42,00Ab	13,25Ab	59,65Ab	29,50Ba	89,15
	47,5%	5,20ABa	62,00Aa	21,25Ac	23,00	5,35	32,25ABa	11,00ABa	48,60ABa	29,50Bb	78,10
	60,9%	4,73BCa	50,50ABa	19,75Ab	23,75	5,55	26,75ABa	7,00BCa	39,30Ba	38,50Bb	77,80
	64,9%	4,35Ca	37,50Ba	21,00Ab	27,25	7,10	18,25Ba	4,75Ca	30,10Ba	50,00Aa	80,10
CV (%)		4,51	13,12	6,51			23,10	20,00	18,31	14,06	

Médias seguidas das mesmas letras maiúsculas, entre tratamentos, para cada profundidade, e minúsculas, entre profundidades, dentro do tratamento, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, considerando um nível de significância de 5%.

Comparando os resultados de pH obtidos nas análises de 2006, com os limites de interpretação propostos por Raij et al. (1997) (Tabela 11), obteve-se acidez baixa na camada de 0-2 cm nos solos sob 7,0% e 35,4% de radiação, acidez média em 6,4%, enquanto que os tratamentos 47,5%, 60,9% e 64,9% apresentaram acidez alta. No geral, na camada de 2-7 cm, houve diminuição do pH, os tratamentos 7,0% e 35,4% apresentaram acidez média, a acidez manteve-se alta nos tratamentos 6,4% e 47,5% e foi muito alta em 60,9% e 64,9%. No tratamento 35,4%, a acidez na camada de 7-27 cm foi idêntica à profundidade anterior (2-7 cm), enquanto em 47,5% passou a acidez média. Os tratamentos 6,4%, 7,0% e 60,9% apresentaram acidez alta e o 64,9% manteve a acidez muito alta.

Os valores de saturação por bases (V) nos tratamentos 6,4%, 7,0% e 35,4% não diferiram entre si, nas profundidades de 0-2 e 2-7 cm, mas diferiram dos tratamentos sobre as maiores radiações (47,5%, 60,9% e 64,9%) entre 0-2 cm. Por outro lado, na maior profundidade, o tratamento sob a maior radiação diferiu dos demais, à exceção do 60,9%. Os tratamentos 47,5%, 60,9% e 64,9%, na profundidade de 2-7 cm, apresentaram baixa saturação por bases, enquanto que o tratamento 6,4% nas três profundidades, 7% em 2-7 e 7-27 cm e o 35,4% em 7-27 cm tiveram média saturação por bases (Tabela 11). Saturação por bases elevada ocorreu somente nos tratamentos 7,0% e 35,4% (0-2 cm) e 35,4% (2-7 cm).

Tabela 11 - Limites de interpretação de acidez e saturação por bases, estabelecidos por Raij et al. (1997) para o Estado de São Paulo

Acidez	pH CaCl ₂	Saturação por bases	V (%)
Muito alta	Até 4,3	Muito baixa	0-25
Alta	4,4-5,0	Baixa	26-50
Média	5,1-5,5	Média	51-70
Baixa	5,6-6,0	Alta	71-90
Muito baixa	> 6,0	Muito alta	> 90

Os teores de matéria orgânica (MO) foram elevados na profundidade de 0-2 cm em todos os tratamentos (Figura 22C). Nessa profundidade, o tratamento 7,0% apresentou o maior teor, sendo seguido por 6,4%, 35,4% e 47,5%, os quais não diferiram entre si (Tabela 10). Verificou-se diferença apenas entre o tratamento 7,0% e

aqueles sob as duas maiores radiações (60,9% e 64,9%), que se deve ao aporte de serapilheira e proteção do solo pelas árvores de seringueira, o que, conseqüentemente, diminuiu a incidência dos raios solares e a menor taxa de decomposição da serapilheira observada em 7%. Estes fatores podem ter contribuído para a redução da temperatura e da lixiviação, preservando a MO na camada superficial. Por outro lado, nas camadas subjacentes 2-7 e 7-27 cm, o teor de MO do solo no tratamento sob maior radiação, apresentou valor mais elevado do que os demais tratamentos. Esse fato pode estar associado à formação e morte de raízes na camada superficial do solo de cafeeiro em monocultivo, devido à menor proteção proporcionada pelas plantas, sem a cobertura das árvores. À exceção do tratamento sob a maior radiação, os demais tratamentos apresentaram diferença para o teor de MO entre 0-2 cm e as demais profundidades. Entre as profundidades de 2-7 e 7-27 cm as diferenças ocorreram nos tratamentos 6,4%, 47,5% e 64,9%.

A pequena diferença ocorrida entre sistemas quanto aos teores de MO, deve-se ao baixo acúmulo de matéria orgânica relacionados aos maiores coeficientes de decomposição de serapilheira apresentados pelos SAFs com cafeeiros sob a menor radiação e com cafeeiros sob radiação intermediária (Tabela 8), apesar do maior aporte de material orgânico neles verificados (Figura 7). Enquanto que os demais sistemas, apesar das menores deposições de serapilheira, apresentaram coeficientes de decomposição mais baixos, o que teria contribuído para manutenção dos teores de matéria orgânica próximos aos dos referidos SAFs. Além disso, a maior queda de folhas do cafeeiro a pleno sol e à presença de intensa vegetação espontânea na entre fileiras podem explicar a similaridade nos teores de MO.

Os teores de MO na camada de 0-2 cm estão dentro dos limites para solos argilosos estabelecidos por Raij et al. (1997) (Tabela 12), com exceções dos tratamentos 60,9% e 64,9%, os quais apresentaram teores típicos de solo de textura média, fato que também ocorreu em todos os tratamentos nas demais profundidades.

Tabela 12 - Limites de interpretação para matéria orgânica (MO) estabelecidos por Raij et al. (1997) para o Estado de São Paulo

n	MO g dm ⁻³
Arenosa	≤ 15
Média	16-30
Argilosa	31-60

O teor de P na menor profundidade alcançou no tratamento 60,9% valor muito acima aos dos demais tratamentos (Figura 22D), o que pode ser atribuído à própria amostragem. Considerando-se os demais tratamentos, o 64,9% teve a maior quantidade de P. Esse tratamento, na maior radiação, também apresentou os teores mais elevados nas profundidades de 2-7 e 7-27 cm, sendo seguido pelos tratamentos 47,5% e 60,9%, na profundidade 2-7 cm. As adubações fosfatadas realizadas nos cafeeiros, anteriormente ao início do experimento, podem ter ocasionado as grandes quantidades de fósforo nesses tratamentos. Semelhante ao que ocorreu na camada superficial, os valores desse nutriente (P) tenderam a uma redução na profundidade de 7-27 cm, obtendo-se valores ainda mais próximos entre os tratamentos, o que está relacionado à baixa mobilidade do P no solo.

Teores mais elevados de P disponível foram relatados por Mendonça et al. (2001), em solos com cafeeiros em SAF, nas seguintes espécies arbóreas: *Milinia multiflora*, *Pitptadenia gonoacantha* e *Cacia ferruginea*, enquanto Moreira (2003) verificou em sistema sombreado com *Platycyamus regnelli*, comparativamente ao sistema a pleno sol. O potencial de alguns materiais em aumentar a disponibilidade de P, não somente pela liberação do resíduo em decomposição, mas principalmente pela capacidade de redução da fixação, pode ser um critério importante à seleção de espécies agroflorestais (PALM, 1995) apud Mendonça et al. (2001). Murbach et al. (2003) relataram baixos teores de P na serapilheira da seringueira, devido à sua alta taxa de redistribuição na planta.

Verificou-se que os teores de P na camada superficial (0-2 cm) nos tratamentos 6,4%, 35,4%, 47,5%, 60,9% e 64,9%, e na camada de 2-7 cm no tratamento 64,9% são muito altos, segundo Raij et al. (1997) (Tabela 13). O tratamento 7,0% na camada superficial e 6,4%, 35,4%, 47,5% e 60,9% de 2-7 cm apresentaram teores altos para o

cafeeiro. Teores médios foram determinados no tratamento 7,0% na camada de 2-7 cm e por todos os tratamentos na maior profundidade (7-27 cm).

Tabela 13 - Limites de interpretação para K e P estabelecidos por Raij et al. (1997) para o Estado de São Paulo

Teor	K ⁺ trocável mmolc dm ⁻³	P resina	
		Florestais	Perenes
		----- mg dm ⁻³ -----	
Muito baixo	0,0-0,7	0-2	0-5
Baixo	0,8-1,5	3-5	6-12
Médio	1,6-3,0	6-8	13-30
Alto	3,1-6,0	9-16	31-60
Muito Alto	> 6,0	> 16	> 60

Os teores de K foram mais elevados no tratamento sob maior radiação (64,9%), em todas as profundidades (Figura 22E), o que pode ser devido à adubação dos cafeeiros e a maior queda e deposição de folhas do cafeeiro sobre o solo, observadas a pleno sol (monocultivo), com a liberação do K durante a decomposição. Por outro lado, os menores teores foram observados nos tratamentos 7,0% e 35,4%. Os resultados observados por Campanha et al., (2007) também mostram o K como o nutriente que teve maior aporte na serapilheira do cafeeiro em monocultivo.

A absorção de K pela seringueira nestes tratamentos teria ocasionado os mais baixos teores desse nutriente no solo. Ressalta-se que durante o período de avaliação do experimento, as seringueiras não foram adubadas e nem exploradas. Cheng, Wang e Jiang (2007), relataram uma maior taxa de declínio de K em relação aos principais nutrientes do solo em cultivo de seringueira. Ricci et al. (2006) relataram que o cultivo do cafeeiro sombreado com bananeira e eritrina reduziu o teor de K do solo. Entretanto, Moreira (2003) obteve teores mais elevados em solos no sistema sombreado com *Platycamus regnelli* ou “pau pereira”, do que no sistema a pleno sol. Para esse autor, as folhas que caem no solo contêm uma grande proporção dos nutrientes extraídos do solo pelas árvores. Murbach et al. (2003) relataram, assim como para o P, baixos teores de K na serapilheira da seringueira, devido à alta taxa de redistribuição desse elemento na planta.

Embora os menores valores para K tenham sido verificados nos tratamentos 7,0% e 35,4%, os mesmos alcançaram teores altos (Tabela 13), em todas as profundidades, enquanto que em 47,5% e 60,9%, isto ocorreu somente na camada de 7-27 cm. Nas demais profundidades amostradas, estes tratamentos apresentaram teores muito altos. Por sua vez, 6,4% e 64,9% alcançaram teores muito altos em todas as profundidades.

Os teores de Ca foram mais elevados nos tratamentos 6,4%, 7,0% e 35,4% na superfície (Figura 22F), possivelmente devido ao maior aporte de serapilheira da seringueira. Nas análises de macronutrientes da serapilheira, verificou-se maior teor para o Ca seguido pelo N (Tabela 9), o que corrobora Murbach et al. (2003) que verificaram que os nutrientes Ca e N retornaram em maiores quantidades ao solo com a serapilheira da seringueira. Por outro lado, os menores teores nos tratamentos sob as maiores radiações (47,5%, 60,9% e 64,9%) estão relacionados à extração pelos cafeeiros, o Ca é o terceiro nutriente mais exportado pela colheita dos frutos (MALAVOLTA,1986). Na camada subjacente, de 2-7 cm, houve uma elevação no teor de Ca no tratamento 64,9%, sob cafeeiro em monocultivo, provavelmente, pela maior lixiviação de Ca da camada superficial, ou ainda, pelo fornecimento por meio de fertilizante contendo cálcio. Contudo, o teor não superou os dos tratamentos 7,0% e 35,4%, os quais apresentaram, também, quantidades mais elevadas na profundidade de 7-27 cm. Os tratamentos 6,4%, 7,0% e 35,4% não apresentaram diferenças entre si, comparando-se os resultados da camada superficial (Tabela 10). Entretanto, no tratamento 47,5% determinou-se valor intermediário, que não diferiu do tratamento 6,4%, assim como, os tratamentos 60,9% e 64,9%, os quais continham nessa camada (0-2 cm) valores mais baixos, não diferiram entre si. Não observou-se diferença para o teor de Ca na camada de 2-7 cm entre os tratamentos, enquanto que na profundidade de 7-27 cm, houve diferença apenas entre os tratamentos 35,4% e 64,9%. Entre profundidades houve diferença entre 0-2 cm e as demais profundidades, nos tratamentos 6,4%, 7,0% e 35,4%. Os teores de cálcio foram altos (Tabela 14) para todos os tratamentos e em todas as profundidades.

Tabela 14 - Limites de interpretação para Ca e Mg estabelecidos por Raij et al. (1997) para o Estado de São Paulo

Teor	Ca ²⁺	Mg ²⁺
	----- mmolc dm ⁻³ -----	
Baixo	0-3	0-4
Médio	4-7	5-8
Alto	>7	>8

Os teores de Mg foram em geral mais elevados nos tratamentos sob as menores radiações (Figura 22G), possivelmente devido a maior deposição de serapilheira e maior cobertura e proteção das árvores, as quais geralmente contribuem para menor lixiviação de bases. No tratamento 60,9% determinaram-se os valores mais baixos nas profundidades de 0-2 e de 2-7 cm, enquanto no tratamento 64,9% o valor mais baixo ocorreu na camada mais profunda (7-27 cm). Os valores de Mg em 6,4%, 7,0% e 35,4% na superfície não diferiram entre si, assim como o tratamento 6,4% também não diferiu dos demais tratamentos (Tabela 10). Na profundidade de 2-7 cm, os tratamentos sob seringueira em monocultivo e no SAF com cafeeiros sob maior sombreamento, 7,0% e 35,4%, respectivamente, os quais tiveram os valores mais elevados, não diferiram entre si. Por outro lado, os tratamentos sob as maiores radiações, 47,5%, 60,9% e 64,9%, e que tiveram os valores mais baixos, também não diferiram entre si. Na profundidade de 7-27 cm, o tratamento 35,4% com o maior valor, diferiu dos tratamentos 60,9% e 64,9%. Pela análise entre profundidades, os valores de Mg diferiram nos tratamentos 7,0%, 35,4% e 47,5%. Os teores de Mg foram altos (Tabela 14) para os tratamentos 6,4%, 7,0%, 35,4%, 47,5% e 64,9% (0-2 cm); nos tratamentos 6,4%, 7,0% e 35,4% (2-7 cm) e em 6,4%, 7,0%, 35,4% e 47,5% na profundidade entre 7-27 cm. Teores médios foram obtidos nos tratamentos 60,9% (0-2 cm), 47,5% e 64,9% (2-7 cm) e em 64,9% na maior profundidade (7-27 cm).

A soma de bases (SB), na profundidade de 0-2 cm, foi mais elevada nos tratamentos 6,4%, 7,0% e 35,4% (Figura 22H), devido aos teores mais elevados de Ca e Mg. Nas camadas mais profundas a SB esteve mais equilibrada nos tratamentos sob proteção das árvores, 6,4%, 7,0%, 35,4%, 47,5% e 60,9%, do que sob cafeeiro em monocultivo, 64,9%, em razão da permanência das bases trocáveis no solo, menos

sujeitas à lixiviação nesses tratamentos. Com base nos dados apresentados na Tabela 10, verifica-se que os valores da SB, na camada superficial, não diferiram entre os tratamentos 6,4%, 7,0% e 35,4%, sendo que os dois últimos diferiram dos demais tratamentos. Na camada intermediária (2-7 cm) o tratamento 35,4% só não diferiu do tratamento 7%, enquanto que na camada mais profunda (7-27 cm), o tratamento 35,4% diferiu dos tratamentos 60,9% e 64,9%. Os valores de SB apresentaram diferenças estatísticas entre profundidades, nos sistemas 6,4%, 7,0% e 35,4%.

A acidez potencial (H+Al) foi mais elevada nos tratamentos 60,9% e 64,9% (Figura 22I), sob cafeeiros em SAF com a menor cobertura e proteção das seringueiras e sob cafeeiros em monocultivo, respectivamente. Portanto, com baixos aportes de serapilheira, mais sujeitos à lixiviação de bases trocáveis, principalmente Ca e Mg, e com a permanência dos cátions H+Al no complexo de troca, como havia sido relatado por Theodoro et al. (2003). Os teores de H+Al não diferiram entre os tratamentos sob as maiores radiações, 47,5%, 60,9% e 64,9%, na camada superficial (Tabela 10), enquanto que 60,9% e 64,9% diferiram dos tratamentos 6,4%, 7,0% e 35,4%. Na camada de 2-7 cm, os tratamentos 60,9% e 64,9% apresentaram diferença estatística em relação aos demais tratamentos. Por sua vez, na camada mais profunda (7-27 cm) somente o tratamento 64,9% diferiu dos demais. As diferenças estatísticas, entre profundidades, ocorreram nos tratamentos 7,0%, 47,5% e 60,9%.

A capacidade de troca catiônica (CTC) atingiu valores mais elevados nos tratamentos 7,0% e 35,4% na superfície do solo (Figura 22J), seguidos por 6,4% e 64,9%. Na camada de 2-7 cm, o tratamento 64,9% apresentou o maior valor, possivelmente pela maior quantidade de MO, nessa profundidade. Por sua vez, os valores de CTC na profundidade de 7-27 cm, foram semelhantes entre os tratamentos. Determinou-se que a CTC apresentou maiores valores na camada superficial e redução com o aumento da profundidade, acompanhando os teores de MO, confirmando a correlação entre estas características químicas do solo por vários autores (MENDONÇA; ROWELL, 1996; RAIJ; PEECH, 1972; SOUZA; LOBATO, 2002).

Com algumas exceções, os resultados de análises das características químicas do solo em 2007 foram semelhantes aos obtidos no ano anterior. Alterações de pH ocorreram principalmente no tratamento 64,9%, nas profundidades de 0-2 e 2-7 cm

(Figura 23A). Os tratamentos 7,0% e 35,4% não diferiram do 6,4%, assim como, 60,9% e 64,9% não diferiram do 47,5% (Tabela 15). Entre profundidades, as diferenças estatísticas ocorreram apenas nos tratamentos 7,0% e 47,5%. Os padrões de acidez sofreram mudanças nos tratamentos 60,9% e 64,9%, na profundidade de 2-7 cm, que passaram à acidez alta, no tratamento 6,4%, na profundidade de 7-27 cm, que passou à acidez média, assim como no tratamento 47,5% que passou à acidez alta.

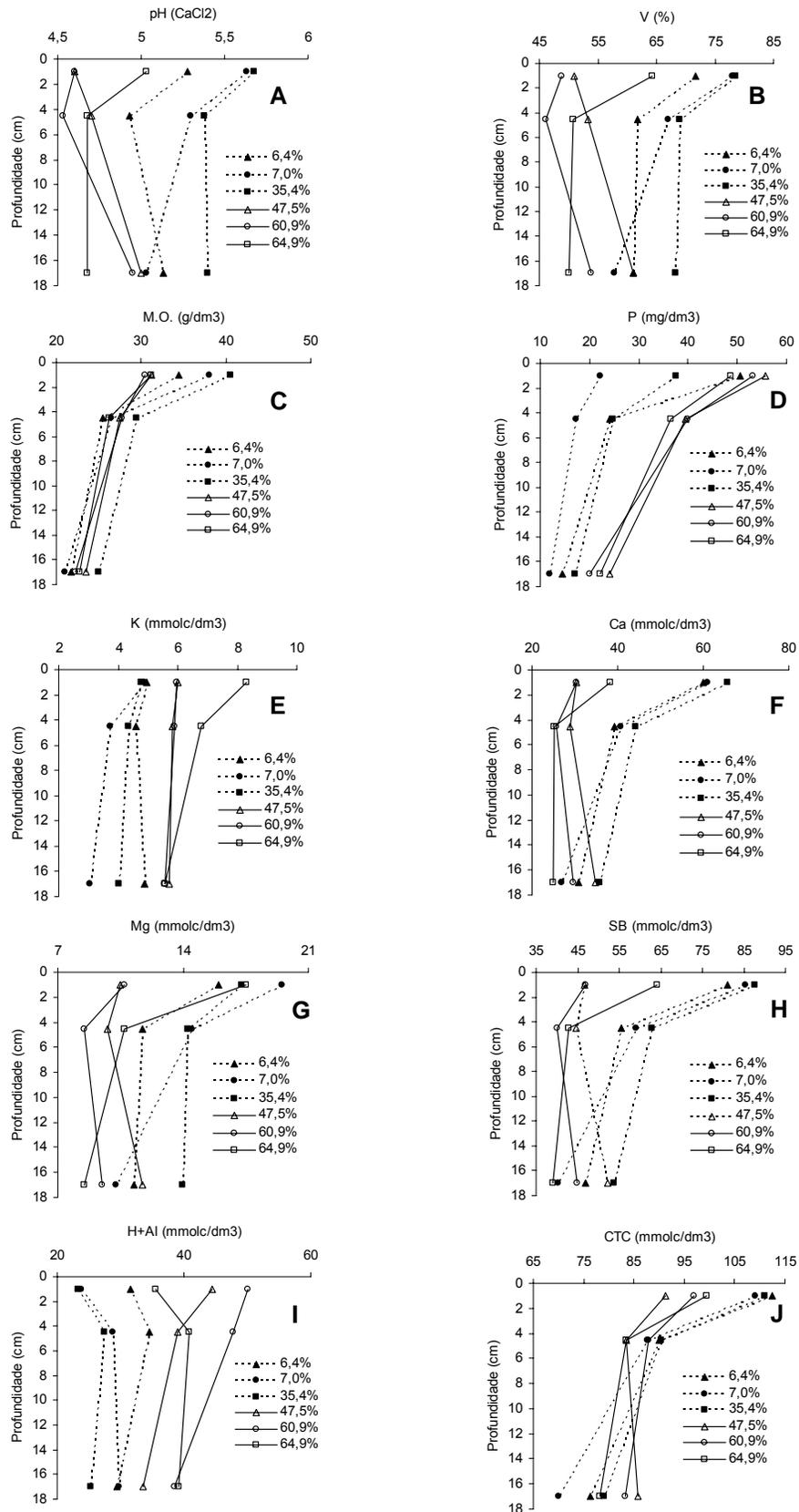


Figura 23 - Resultados da análise química do solo efetuada em 2007

Nos valores de V, as alterações foram ainda menores, ressaltando-se, na profundidade de 0-2 cm, o tratamento 64,9% (Figura 23B). Verifica-se na Tabela 15, que o tratamento 60,9%, com o menor valor nas profundidades de 0-2 e 2-7 cm, apenas não diferiu do 47,5%, na profundidade 0-2 cm, diferindo-se dos tratamentos 7,0% e 35,4%, na profundidade de 2-7 cm. Na última camada (7-27 cm), os tratamentos sob as maiores radiações (60,9% e 64,9%), com os menores valores, apenas não diferiram do 35,4%. Ocorreram algumas mudanças nos padrões de V nas profundidades de 0-2 e 2-7 cm.

O tratamento 35,4% alcançou os maiores valores de MO nas profundidades de 0-2, 2-7 e 7-27 cm (Figura 23C). Observa-se (Tabela 15), que ocorreu diferença estatística apenas entre os tratamentos 35,4% e 60,9%, na profundidade de 0-2 cm. Os teores de MO diferiram nos tratamentos 6,4%, 7,0%, 35,4% e 64,9%, entre a profundidade de 0-2 cm e as demais, e nos tratamentos 47,5% e 60,9%, entre todas as profundidades. Os tratamentos 60,9% e 64,9% alcançaram na camada de 0-2 cm, teores que os enquadram dentro dos limites estabelecidos por Raij et al. (1997) para solos argilosos.

Tabela 15 - Resultados da análise química do solo efetuada em 2007

Profundidade	Tratamento	pH									
		(CaCl ₂)	V	M.O.	P	K	Ca	Mg	SB	H+Al	CTC
cm			%	g dm ⁻³	mg dm ⁻³	----- mmolc mol ⁻³ -----					
0-2	6,4%	5,28ABa	71,75ABa	34,50ABa	50,50	4,95	60,00Aa	16,00ABa	80,95Aa	31,50	112,45Aa
	7,0%	5,63Aa	78,00ABa	38,00ABa	22,25	4,88	61,00Aa	19,50Aa	85,38Aa	23,75	109,13Aa
	35,4%	5,68Aa	78,50Aa	40,50Aa	37,50	4,78	65,75Aa	17,25ABa	87,78Aa	23,25	111,03Aa
	47,5%	4,60Cb	51,00Cdb	31,25ABa	55,75	6,00	30,25Ba	10,50Ba	46,75Ba	44,50	91,25Aa
	60,9%	4,60Ca	48,75Da	30,50Ba	53,25	5,95	30,25Ba	10,75Ba	46,95Ba	50,00	96,95Aa
	64,9%	5,03BCa	64,25BCa	31,25ABa	48,75	8,30	38,35Ba	17,50ABa	64,05ABa	35,50	99,50Aa
CV (%)		4,84	9,67	12,67			18,07	21,33	17,19		9,65
2-7	6,4%	4,93ABa	61,75ABCa	25,50Ab	24,00	4,60	39,25ABCb	11,75ABa	55,60ABb	34,50	90,10Ab
	7,0%	5,30Aab	67,00ABab	26,50Ab	17,25	3,73	40,75ABb	14,50Ab	58,98ABb	28,75	87,73Ab
	35,4%	5,38Aa	69,00Aa	29,50Ab	24,75	4,33	44,25Ab	14,25ABa	62,83Ab	27,50	90,33Ab
	47,5%	4,70Bb	53,25ABCb	27,50Ab	39,50	5,83	29,00BCa	9,75ABa	44,58ABa	39,00	83,58Aa
	60,9%	4,53Ba	46,00Ca	27,75Ab	40,00	5,88	25,75Ca	8,50Ba	40,13Ba	47,75	87,88Aab
	64,9%	4,68Ba	50,75BCb	26,25Ab	36,50	6,80	25,25Ca	10,75ABb	42,80ABab	40,75	83,55Aa
CV (%)		4,72	12,52	9,48			19,31	22,75	18,62		9,64
7-27	6,4%	5,13ABa	61,00ABa	21,75Ab	14,50	4,88	30,75ABb	11,25ABa	46,88ABCb	29,50	76,38ABb
	7,0%	5,03ABb	57,75ABb	21,00Ab	12,00	3,05	27,00ABb	10,25ABc	40,30BCc	29,75	70,05Bc
	35,4%	5,40Aa	68,25Aa	25,00Ab	17,00	4,00	35,75Ab	14,00Aa	53,75Ab	25,25	79,00ABb
	47,5%	5,00ABa	61,00ABa	23,50Aa	24,00	5,70	34,75ABa	11,75ABa	52,20ABa	33,50	85,70Aa
	60,9%	4,95ABa	53,75Ba	22,25Ac	20,00	5,58	29,75ABa	9,50Ba	44,83ABCa	38,50	83,33Ab
	64,9%	4,68Ba	50,00Bb	22,75Ab	22,25	5,58	25,00Ba	8,50Bb	39,08Cb	39,25	78,33ABa
CV (%)		4,17	10,79	7,99			15,28	16,26	12,61		6,34

Médias seguidas das mesmas letras maiúsculas, entre tratamentos, para cada profundidade, e minúsculas, entre profundidades, dentro do tratamento, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, considerando um nível de significância de 5%

Os valores de P foram mais baixos do que os alcançados no ano anterior (Figura 23D). O tratamento 6,4% alcançou, na profundidade de 0-2 cm, valor próximo aos dos tratamentos sob as maiores radiações (47,5%, 60,9% e 64,9%). Verificou-se nessa mesma profundidade, que todos os tratamentos, à exceção do 7,0%, que apresentou teor médio, alcançaram teores altos. Na profundidade de 2-7 cm, os tratamentos 6,4% e 35,4% tiveram valores mais baixos do que os verificados anteriormente e alcançaram teores médios. O tratamento 7,0%, na profundidade de 7-27 cm, foi o único a apresentar teor baixo. As principais mudanças nos valores de K (Figura 23E) ocorreram com as reduções nos valores nos tratamentos 6,4%, 47,5% e 60,9%, principalmente nas camadas de 0-2 e 2-7 cm. Diferentemente da última amostragem, apenas o tratamento 64,9% atingiu teor muito alto nas profundidades de 0-2 e 2-7 cm.

Os teores de Mg elevaram-se, principalmente no tratamento 64,9%, nas profundidades de 0-2 e 2-7 cm (Figura 23G). Diferenças estatísticas ocorreram na profundidade de 0-2 cm (Tabela 15), entre o tratamento 7,0% e os tratamentos 47,5% e 60,9%. Na profundidade de 2-7 cm, verificou-se diferença entre os tratamentos 7,0% e 60,9%. Na profundidade seguinte, ocorreram diferenças entre 7,0% e os tratamentos 60,9% e 64,9%. Entre profundidades, as diferenças ocorreram nos tratamentos 7,0% e 64,9%. Os teores de Mg foram altos para todos os tratamentos e em todas as profundidades.

A SB (Figura 23H) alcançou valores mais elevados nos tratamentos 6,4%, 7,0% e 35,4%, principalmente nas profundidades de 0-2 e 2-7 cm. Por outro lado, os teores de H + Al (Figura 23I) foram mais baixos do que os verificados anteriormente. Em relação à CTC (Figura 23J), o teor mais elevado ocorreu na profundidade de 0-2 cm, no tratamento 6,4%, o qual foi acompanhado de perto pelos tratamentos 7,0% e 35,4%. Na profundidade de 7-27 cm, o tratamento 7,0% diferiu dos tratamentos 47,5% e 60,9%. Não ocorreram diferenças estatísticas, entre profundidades, nos tratamentos 47,5% e 64,9%.

2.3.3.1 Evolução da fertilidade do solo à sombra e a pleno sol

Os únicos atributos químicos de fertilidade do solo nos quais ocorreram interação significativa para os fatores tratamento e época foram o S ($p=0,00126$) e K ($p=0,0019$). As diferenças estatísticas entre épocas para S ocorreram nos tratamentos sombra e sol (Tabela 16), enquanto que para o K, as diferenças estatísticas ocorreram apenas no tratamento a pleno sol (Tabela 17).

Tabela 16 – Teor de S do solo na sombra e no pleno sol em diferentes épocas

Tratamento	Época	S (mg dm^{-3})
Sombra	Set/06	7,75 A
	Dez/06	5,50 AB
	Mar/07	0,75 C
	Jun/07	8,75 A
	Set/07	9,50 A
	Dez/07	3,25 BC
	Sol	Set/06
Dez/06		8,00 B
Mar/07		2,75 C
Jun/07		10,75 AB
Set/07		9,25 B
Dez/07		4,25 BC
CV (%) 25,67		

Médias seguidas das mesmas letras, em cada tratamento, não diferem pelo teste de Tukey ao nível de 5%

Tabela 17 – Teor de K do solo na sombra e no pleno sol em diferentes épocas

Tratamento	Época	K (mg dm ⁻³)
Sombra	Set/06	12,68 A
	Dez/06	7,48 A
	Mar/07	6,75 A
	Jun/07	3,85 A
	Set/07	5,17 A
	Dez/07	5,35 A
Sol	Set/06	7,88 A
	Dez/06	6,18 A
	Mar/07	19,45 B
	Jun/07	6,53 A
	Set/07	6,60 A
	Dez/07	6,00 A
CV (%) 48,84		

Médias seguidas das mesmas letras, em cada tratamento, não diferem pelo teste de Tukey ao nível de 5%

Embora tenha ocorrido interação significativa para os fatores tratamento e época para S e K, não foi possível definir uma tendência de evolução do S nos tratamentos de sombra e pleno sol (Figura 24) e para o K no tratamento de pleno sol, contudo o K, no tratamento de sombra, teve uma tendência de redução no período de setembro de 2006 a junho de 2007, sofrendo em seguida uma pequena elevação e estabilização (Figura 25).

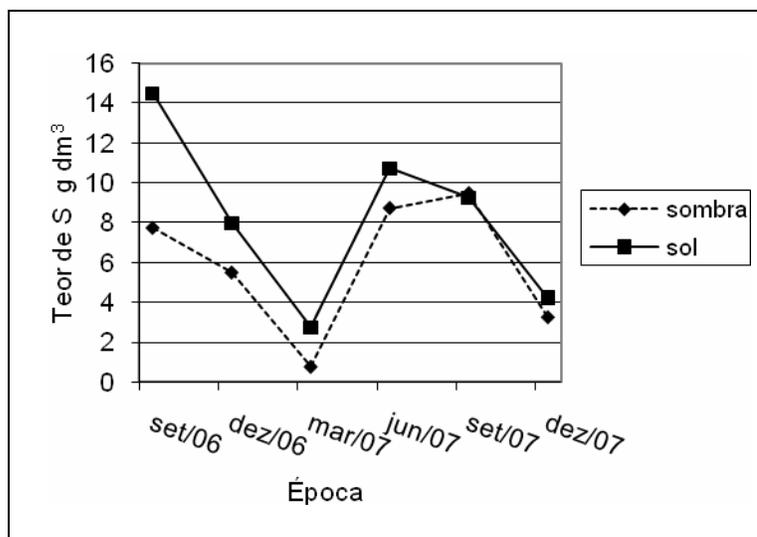


Figura 24 - Teor de S do solo na sombra e pleno sol no período de setembro de 2006 a dezembro de 2007

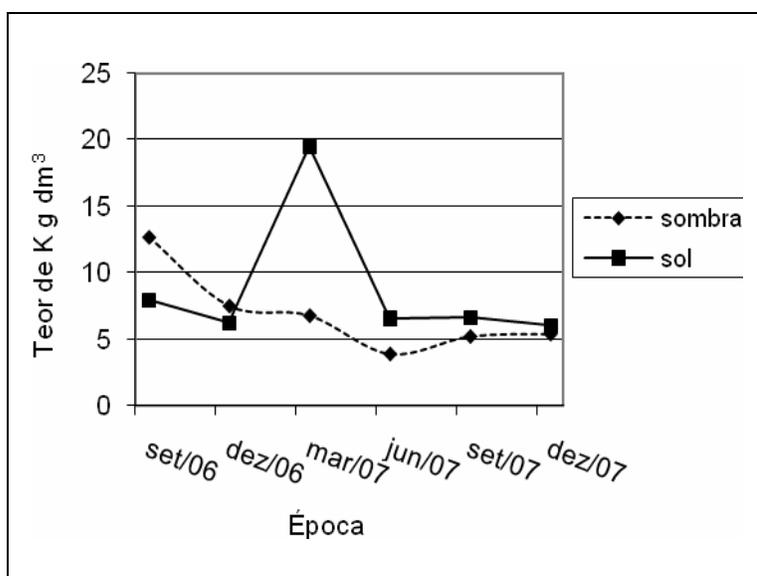


Figura 25 - Teor de K do solo na sombra e no pleno sol no período de setembro de 2006 a dezembro de 2007

O período de 15 meses de avaliação dos atributos químicos da fertilidade do solo não pareceu suficiente para demonstrar uma tendência consolidada de evolução. A ampliação do período poderia possibilitar uma melhor avaliação das alterações dos atributos químicos relacionadas à inversão entre os sistemas de manejo de sombra e pleno sol.

2.3.3.2 Fracionamento químico da matéria orgânica

Os resultados do fracionamento químico da MO apresentados na Figura 26, demonstram que houve predomínio da fração humina em todos os tratamentos nas duas profundidades (0-2 e 2-7 cm). A fração humina (H) é seguida pela fração ácidos fúlvicos (AF), enquanto a fração ácidos húmicos (AH) representa a menor proporção.

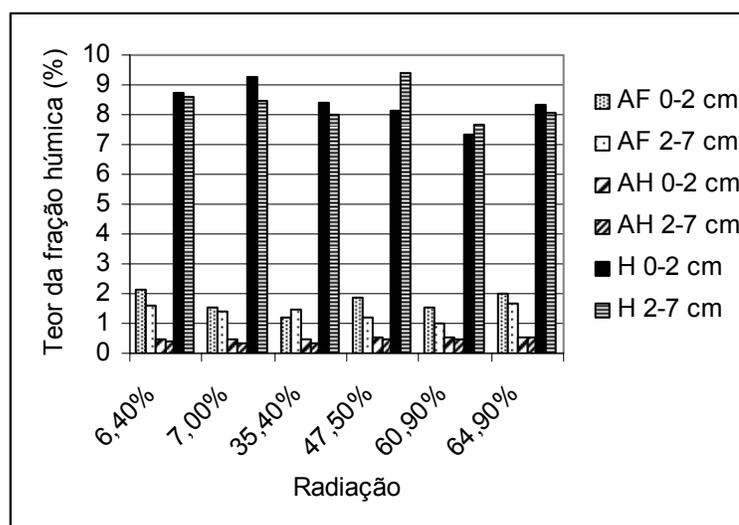


Figura 26 - Frações húmicas de ácidos fúlvicos (AF), ácidos húmicos (AH) e humina (H) do solo nas profundidades de 0-2 e 2-7 cm sob diferentes níveis de radiação

Uma maior proporção de humina em relação às demais frações húmicas do solo, tem sido relatada por vários autores (FONTANA et al., 2005; FONTANA et al., 2006; MARCHIORI JÚNIOR; MELO, 2000; MENDONÇA; LEITE; FERREIRA NETO, 2001; PINHEIRO et al., 2003; RIOS et al., 2006). Segundo Fontana et al. (2006), os elevados valores da humina podem estar relacionados ao tamanho das moléculas e ao maior grau de estabilidade desta fração. Esses mesmos autores afirmam, que as frações ácidos fúlvicos e ácidos húmicos, por apresentarem menor estabilidade, podem ser translocadas para camadas mais profundas, ser polimerizadas ou mineralizadas, diminuindo assim seu teor residual no solo. Para Fernandes, Cerri e Fernandes (1999), a elevação no teor de Ca pode provocar aumento no conteúdo de complexos húmicos mais estáveis, representado pelo aumento de humina.

Na análise de variância para humina (Tabela 18), verifica-se que não houve significância para os fatores avaliados, assim como para a interação entre os fatores.

Tabela 18 - Análise de variância para a fração humina

CV	GL	SQ	QM	F	Pr>F
Trat	5	10,37281875	2,07456375	1,29	0,2907
Prof	1	0,00226875	0,00226875	0,00	0,9703
Trat*Prof	5	5,23316875	1,05063375	0,65	0,6618

Em relação aos ácidos fúlvicos, a análise de variância também demonstra que não houve significância para os fatores tratamento e profundidade, nem para a interação entre eles (Tabela 19).

Tabela 19 - Análise de variância para a fração ácidos fúlvicos

CV	GL	SQ	QM	F	Pr>F
Trat	5	2,63553542	0,52710708	1,33	0,2730
Prof	1	1,277226875	1,27726875	3,23	0,0830
Trat*Prof	5	1,23011875	0,24602375	0,62	0,6842

Observa-se na Figura 27, uma tendência de elevação de ácidos húmicos do solo, nas profundidades de 0-2 e 2-7 cm, com o aumento da radiação. Allard et al. (1994) relataram que os ácidos húmicos possuem uma maior fração de unidades estruturais aromáticas do que os ácidos fúlvicos, o que pode explicar sua maior estabilidade. Esses mesmos autores verificaram uma maior degradação dos ácidos fúlvicos em relação aos ácidos húmicos, mantida pelo decréscimo mais rápido do carbono (C) orgânico total com o aumento da irradiância.

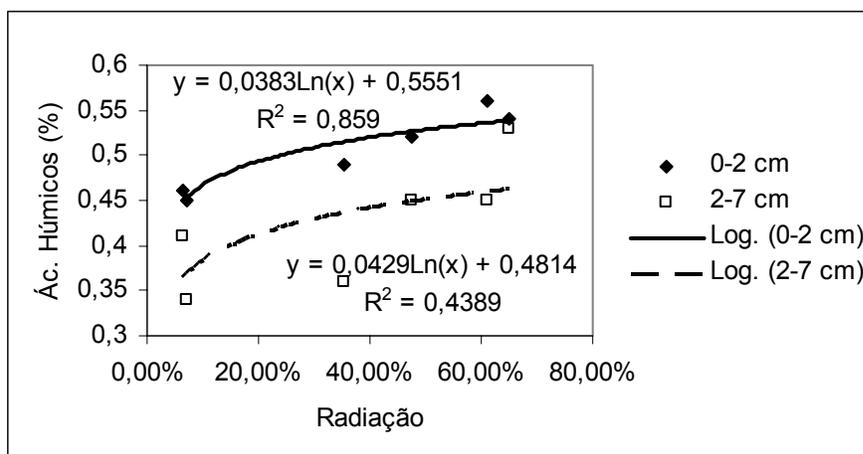


Figura 27 - Fração ácidos húmicos do solo em relação à radiação solar disponível

Marchiori Júnior e Melo (2000) relataram que o uso agrícola do solo aumentou a porcentagem de C orgânico na forma de ácidos húmicos e fúlvicos em relação à mata natural. Por outro lado, Watanabe et al. (2001) verificaram que as proporções de ácidos húmicos e fúlvicos na MO total variaram entre os diferentes usos do solo, sendo que no cultivo do cafeeiro, a fração ácidos fúlvicos alcançou valores mais elevados do que a fração ácidos húmicos, em todos os sítios avaliados em Sumatra, na Indonésia. Por sua vez, a proporção de ácidos húmicos foi maior, enquanto que a proporção de ácidos fúlvicos foi menor sob floresta primária do que sob os outros usos do solo. Mendonça, Leite e Ferreira Neto (2001) observaram maiores proporções de ácidos húmicos em relação aos ácidos fúlvicos em sistemas de cultivo de café convencional e agroflorestal. Fontana et al. (2005) obtiveram valores mais elevados de ácidos fúlvicos do que de ácidos húmicos em solos cultivados com cafeeiro. Rios et al. (2006) relataram teores mais elevados de ácidos fúlvicos em relação aos ácidos húmicos em solos cultivados com os clones de seringueira IAN 873 e RRIM 600.

A análise de variância para os ácidos húmicos revelou significância para tratamento e profundidade (Tabela 20), mas não para a interação entre esses fatores.

Tabela 20 - Análise de variância para a fração ácidos húmicos

CV	GL	SQ	QM	F	Pr>F
Trat	5	0,11176875	0,02235375	5,77	0,0005
Prof	1	0,07921875	0,07921875	20,46	0,0001
Trat*Prof	5	0,01911875	0,00382375	0,99	0,4388

Verifica-se na Tabela 21, que os tratamentos 60,9% e 64,9% diferiram daqueles sob as menores radiações (6,4%, 7,0% e 35,4%). Contudo, essas diferenças não ocorreram quando o fator profundidade foi considerado.

Tabela 21 – Teor da fração ácidos húmicos sob diferentes níveis de radiação

Radiação	Ácidos Húmicos (%)
6,4%	0,42AC
7,0%	0,40A
35,4%	0,43AD
47,5%	0,48AE
60,9%	0,50BCDE
64,9%	0,53BE

Médias seguidas das mesmas letras maiúsculas não diferem pelo teste de Tukey ao nível de 5%

2.3.4 Teores foliares de N e K do cafeeiro

Os teores foliares de nitrogênio (N) dos cafeeiros sob 35% e 45% de irradiância foram os mais elevados no verão de 2006, em 13/03 (Figura 28), fase de desenvolvimento dos frutos, sendo os teores adequados (Tabela 22). Enquanto os tratamentos sob 90% e 100% de irradiância não atingiram teores adequados.

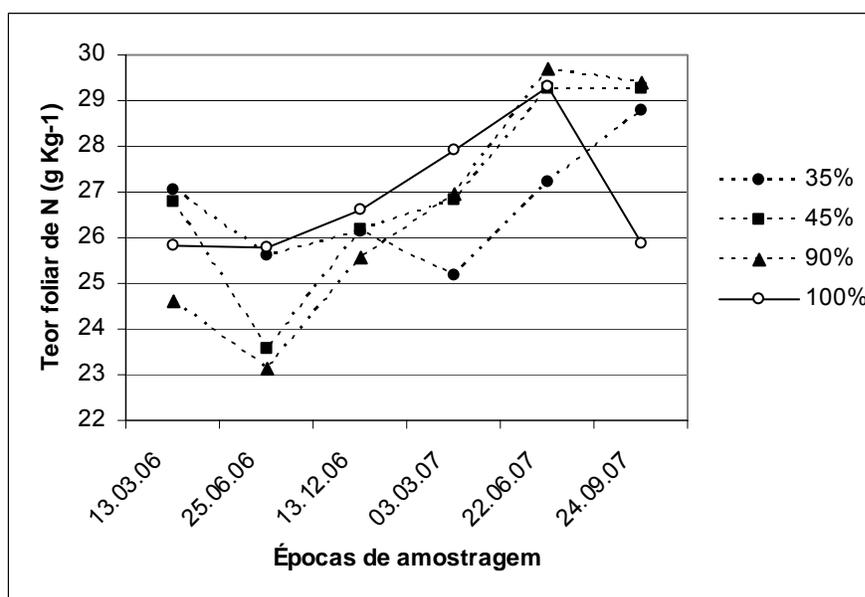


Figura 28 - Teores foliares de N do cafeeiro em SAF e em monocultivo em 2006 e 2007

Tabela 22 - Limites de interpretação de teores de N e K na matéria seca foliar do cafeeiro estabelecidos por Raij et al. (1997)

Faixa	Nutriente g Kg ⁻¹	
	N	K
Adequada	26-32	18-25

Considerando-se que maiores produções sob maiores irradiâncias foram observadas por outros autores (Camargo, 2007; Lunz, 2006) que desenvolveram estudos na mesma área, tratar-se de um ano de alta produção no ciclo bienal do cafeeiro, além de que, os frutos constituem o dreno preferencial de carboidratos e nutrientes, os menores teores de N nas plantas sob maiores irradiâncias estariam associados à maior extração de N pelos frutos. Segundo Valarini (2005) a análise química de frutos tem mostrado que o N e o K são os dois elementos exigidos pelo cafeeiro em maior proporção na formação dos frutos. De acordo Malavolta (1986) a distribuição porcentual dos elementos na parte vegetativa e nos frutos varia com a idade da planta. Em plantas que estejam em plena produção, a participação dos frutos diminui, devendo cair ainda mais nos anos de baixa produção. Valarini et al. (2005) verificaram diminuição mais acentuada no teor foliar de N entre fevereiro e maio,

período que coincide com a fase de amadurecimento dos frutos. Não ocorreram diferenças estatísticas entre tratamentos no ano de 2006 (Tabela 23).

Tabela 23 - Teores foliares de N do cafeeiro sob diferentes irradiâncias nos anos de 2006 e 2007

Tratamento	N (g Kg ⁻¹)	
	2006	2007
35%	26,27aA	27,06aA
45%	25,52aA	28,44bA
90%	24,43aA	28,68bA
100%	26,24aA	27,69aA
CV (%) 6,99		

Médias seguidas das mesmas letras minúsculas (entre anos no mesmo tratamento) na linha e maiúsculas (entre tratamentos no mesmo ano) na coluna, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5%.

No inverno (25/06), próximo ao início da colheita, os cafeeiros sob 35%, 45% e 90% de irradiância apresentaram teores mais baixos em relação à época de verão, enquanto que o tratamento sob 100% de irradiância alcançou teor similar ao teor apresentado no verão. Cietto et al. (1991) verificaram maiores conteúdos de N nas folhas de cafeeiros em monocultivo com três e cinco anos de idade, em junho, na maturação dos frutos. Por outro lado, nas plantas com quatro anos de idade, o maior acúmulo de N nas folhas foi verificado em janeiro, na fase de granação. Na primavera (13/12), fase de florescimento e de formação dos frutos, o teor de N foi mais elevado no tratamento a pleno sol, que igualmente aos tratamentos sob 35% e 45% de irradiância alcançou valor adequado, o mesmo não ocorreu com o cafeeiro sob 90% de irradiância. Malavolta et al. (2002) concluíram que as flores do cafeeiro constituem um dreno temporário de nutrientes. Por sua vez, durante a formação do fruto e nos diversos estádios de desenvolvimento, há variações na concentração e na quantidade dos elementos acumulados nos frutos, assim como na produção de matéria seca (Laviola et al., 2007). Valarini et al. (2005) relataram que durante o período de crescimento do fruto, entre dezembro e maio, houve decréscimo no teor de macronutrientes nas folhas, a exceção de cálcio que teve concentração aumentada. Em amostragem realizada em Viçosa-MG, no mês de dezembro, Campanha et al. (2004) obtiveram teores foliares de N, P e K do cafeeiro em SAF levemente mais baixos do que a pleno sol. Carelli et al. (1999) observaram aumento no teor de N com o aumento dos níveis de irradiância.

Ricci et al. (2006) relataram que o sombreamento proporcionou ao cafeeiro maiores teores de N do que o cultivo a pleno sol. Esses últimos autores relacionaram os maiores teores de N encontrados, à presença de uma leguminosa (Eritrina) no SAF e às menores perdas de N do solo do sistema sombreado. Bote (2007) verificou teores foliares de N do cafeeiro sob condições de sombra significativamente maiores do que os de cafeeiros sob pleno sol.

No verão seguinte, em 03/03/07, o cafeeiro sob a menor irradiância apresentou o teor mais baixo (Figura 28), não sendo este adequado (Tabela 22). Por outro lado, o cafeeiro sob 45% de irradiância manteve teor adequado e os tratamentos sob 90% e 100%, em oposição ao verão anterior, apresentaram teores adequados. Todos os tratamentos atingiram teores mais elevados no inverno (22/06) do que os alcançados no verão. Igualmente à primavera anterior, os tratamentos sob 35% e 45% de irradiância apresentaram teores adequados na primavera em 2007 (24/09). Por outro lado, o tratamento sob 90% de irradiância sofreu a maior mudança, atingindo o teor mais elevado, sendo este adequado, enquanto que o cafeeiro sob pleno sol saiu da condição de teor adequado, alcançando o teor mais baixo. Observaram-se diferenças estatísticas nos teores de N entre estações no ano de 2007, diferentemente do ocorrido em 2006 (Tabela 24).

Tabela 24 - Teores foliares de N do cafeeiro sob diferentes irradiâncias em três estações nos anos de 2006 e 2007

Estação	N (g Kg ⁻¹)	
	2006	2007
Verão	26,07aA	26,71aA
Inverno	24,66aA	28,87bB
Primavera	26,11aA	28,32bAB
CV (%) 6,99		

Médias seguidas das mesmas letras minúsculas (entre anos na mesma estação) na linha e maiúsculas (entre estações do mesmo ano) na coluna, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5%.

Segundo Hikosaka e Terashima (1995) apud Velasco et al. (2001), teores elevados de N são típicos de plantas cultivadas sob altas irradiâncias, quando se tem um bom suprimento deste elemento, o que se considera como uma resposta metabólica de reforço do aparato fotossintético. No entanto, neste estudo o teor foliar de N do

cafeeiro sob 100% de irradiância (pleno sol) alcançou valores mais elevados e valores mais baixos do que os dos tratamentos sob irradiâncias menores. Assim como observado no ano anterior, não houve diferenças significativas entre tratamentos no ano de 2007 (Tabela 23). Os resultados obtidos corroboram Velasco et al. (2001), que relataram não haver uma resposta consistente para o cafeeiro quanto ao teor de N, encontrando-se valores superiores tanto ao sol quanto à sombra. Observou-se, que apenas o cafeeiro sob 45% de irradiância apresentou estado nutricional adequado, em relação ao teor de N, nas épocas recomendadas para avaliação por Malavolta et al. (1997).

O teor foliar de potássio (K) no verão em 2006 foi mais elevado no cafeeiro sob 35% de irradiância (Figura 29), estando acima dos teores adequados (Tabela 22). O tratamento sob 45%, com valor intermediário, alcançou teor adequado, o que não ocorreu com os tratamentos sob 90% e 100%, que apresentaram os teores mais baixos. A maior demanda de K devido à maior frutificação nos cafeeiros sob maiores irradiâncias, em um ano de alta produção, teria ocasionado os menores teores foliares do nutriente. Segundo Nogueira et al. (2001), o K aparece em maior concentração nos frutos, em particular na polpa do café, mas sem participar de moléculas orgânicas. No inverno do mesmo ano, todos os tratamentos atingiram teores mais elevados do que os atingidos na época de verão.

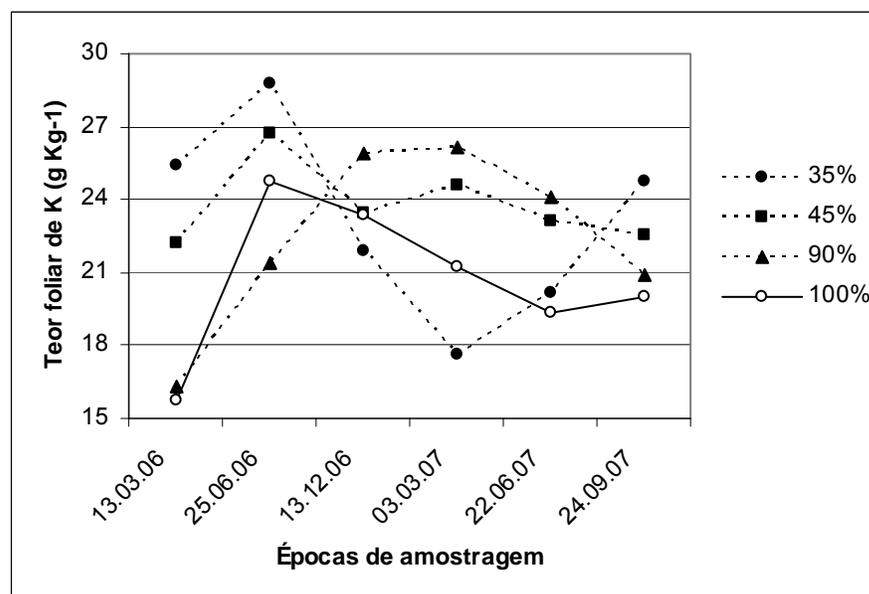


Figura 29 - Teores foliares de K do cafeeiro em SAF e em monocultivo em 2006 e 2007

Observaram-se diferenças estatísticas entre tratamentos nas estações de inverno e verão em 2006 (Tabela 25).

Tabela 25 - Teores foliares de K do cafeeiro sob diferentes irradiâncias em três estações nos anos de 2006 e 2007

Tratamento	K (g Kg ⁻¹)					
	Verão		Inverno		Primavera	
	2006	2007	2006	2007	2006	2007
35%	25,43aAR	17,66aBR	28,80abAR	20,15abBR	21,85acAR	24,74bAR
45%	22,18aARS	24,55aAS	26,73aARS	23,14aAR	23,45aAR	22,57aAR
90%	16,30aAS	26,14aBS	21,38abAS	24,10aAR	25,90bAR	20,91aAR
100%	15,75aAS	21,23aARS	24,75bARS	19,32aAR	23,40bAR	20,02aAR

CV (%) 11,20

Médias seguidas das mesmas letras minúsculas (entre anos na mesma estação e mesmo tratamento) na linha, maiúsculas A e B (entre estações do mesmo ano e mesmo tratamento) na linha, e maiúsculas R e S (entre tratamentos no mesmo ano e mesma estação) na coluna, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5%.

Os tratamentos sob 35, 45 e 100% de irradiância tiveram redução de teores na primavera, em relação ao inverno, e o tratamento sob 90% sofreu elevação de teor, sendo que todos alcançaram teores adequados na primavera. Distintamente do que ocorreu nas estações de verão e inverno, não foram observadas diferenças estatísticas entre tratamentos na primavera (Tabela 25). No verão de 2007, o tratamento sob a menor irradiância apresentou o menor valor, não alcançando teor adequado (Tabela 22). O tratamento sob 90%, igualmente ao ocorrido na estação anterior, atingiu o teor de K mais elevado, tendo ultrapassado a condição desejável para o cafeeiro. No inverno, o tratamento sob 90%, assim como aqueles sob 45% e 100%, apresentou um teor mais baixo do que o do verão. Por outro lado, o tratamento sob 35% de irradiância foi o único a sofrer elevação de teor em relação à época de verão. Este mesmo tratamento alcançou o valor mais elevado na primavera, atingindo teor adequado assim como os demais tratamentos. Ricci et al. (2006) não constataram alteração nos teores de K do cafeeiro no cultivo sombreado em relação ao cultivo a pleno sol. Valarini et al. (2005) observaram que em cafeeiros a pleno sol, os teores de K diminuíram acentuadamente entre dezembro e fevereiro, período que vai da fase de fruto chumbinho para o estágio de fruto verde, quando a redistribuição está direcionada,

provavelmente, para o enchimento do grão. Segundo esses mesmos autores, entre fevereiro e maio o decréscimo ocorreu com maior intensidade. Velasco et al. (2001) observaram tendência de decréscimo no teor de K mais acentuado a pleno sol do que à sombra. Esses mesmos autores afirmam que pelo papel fisiológico do K, não é de se esperar que a sua concentração se eleve nos cafeeiros a plena exposição solar como ocorre com o N e o P, que formam parte de estruturas moleculares importantes para o metabolismo. O tratamento sob 45% de irradiância foi o único que apresentou estado nutricional adequado em relação ao teor de K, assim como relatado para o N, nas épocas recomendadas para avaliação por Malavolta et al. (1997).

2.3.5 Crescimento do cafeeiro

Os cafeeiros apresentaram crescimento em altura em todas as épocas avaliadas, independentemente de estarem sob sombra ou a pleno sol (Figura 30), entretanto, os cafeeiros sob sombra tiveram alturas superiores às dos cafeeiros a pleno sol, sendo as maiores alturas sob sombra observadas nos cafeeiros sob a menor irradiância. Morais et al. (2003) observaram que o sombreamento induziu maior crescimento em altura. Para os mesmos autores, esse crescimento acentuado corresponde ao mecanismo denominado estiolamento, o qual otimiza a captação de luz. Righi et al. (2008) relataram que as plantas mais sombreadas apresentaram maior altura total, sendo que a altura das plantas a pleno sol, foi 26% menor em relação às sombreadas. Esses últimos autores, concluíram que o cafeeiro sob diferentes disponibilidades de luz apresenta adaptações morfológicas, sendo que as mais sombreadas tendem a maximizar a captura de luz através de um maior volume de copa e uma maior área foliar específica (AFE).

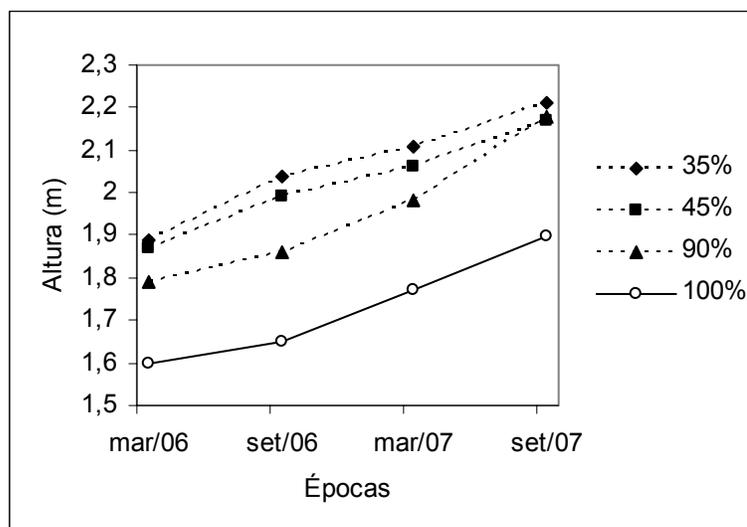


Figura 30 - Altura dos cafeeiros sob diferentes níveis de radiação solar

Campanha et al. (2004) relataram que durante o período produtivo, novembro a março, o cafeeiro em monocultivo cresceu menos, tendo o crescimento sido provavelmente afetado pela carga de frutos e maior temperatura do ar no interior da copa. Segundo Cannell (1985) a frutificação reduz consideravelmente o crescimento das partes vegetativas, desde que os frutos constituem o dreno preferencial de carboidratos e nutrientes. Carelli et al. (2002) relataram que a altura das plantas não foi influenciada pelos níveis de luz, que consistiram de pleno sol, 70%, 50% e 30%. Igualmente, Lemos et al. (2007) não verificaram diferenças de altura entre os sistemas sombreado e pleno sol. Por outro lado, Miranda, Pereira e Bergo (1999) relataram alturas dos cafeeiros, a pleno sol, nitidamente superiores às atingidas pelos cafeeiros sombreados.

Observa-se na Tabela 26, que as diferenças de média de altura entre épocas de avaliação foram significativas. Lunz (2006) não verificou efeito significativo da radiação sobre a altura dos cafeeiros em todas as épocas avaliadas.

Tabela 26 – Diferença de média para altura do cafeeiro (m) entre épocas de avaliação

Época (I)	Época (J)	Diferença de média (I-J)	Intervalo com 95% de confiança para a diferença	
		Limite inferior	Limite superior	Limite inferior
Mar/06	Set/06	- 0,101*	- 0,121	- 0,080
	Mar/07	- 0,196*	- 0,217	- 0,174
	Set/07	- 0,329*	- 0,354	- 0,304
Set/06	Mar/06	0,101*	0,080	0,121
	Mar/07	- 0,095*	- 0,109	- 0,081
	Set/07	- 0,228*	- 0,250	- 0,206
Mar/07	Mar/06	0,196*	0,174	0,217
	Set/06	0,095*	0,081	0,109
	Set/07	- 0,133*	- 0,149	- 0,117
Set/07	Mar/06	0,329*	0,304	0,354
	Set/06	0,228*	0,206	0,250
	Mar/07	0,133*	0,117	0,149

* A diferença de média é significativa ao nível de 5% pelo teste de Bonferroni

Não foram observadas diferenças significativas de altura entre o tratamento sob 35% de radiação solar disponível e os demais tratamentos sob sombra (Tabela 27). Por outro lado, verificou-se que apenas o tratamento sob pleno sol diferiu de todos os demais tratamentos.

Tabela 27 – Diferença de média de altura de cafeeiro (m) entre os tratamentos

Tratamento (I)	Tratamento (J)	Diferença de média (I-J)	Intervalo com 95% de confiança para a diferença	
		Limite inferior	Limite superior	Limite inferior
35%	45%	0,041	- 0,079	0,160
	90%	0,113	- 0,011	0,237
	100%	0,332*	0,267	0,398
45%	35%	- 0,041	- 0,160	0,079
	90%	0,073*	0,007	0,138
	100%	0,292*	0,216	0,368
90%	35%	- 0,113	- 0,237	0,011
	45%	- 0,073*	- 0,138	- 0,007
	100%	0,219*	0,130	0,309
100%	35%	- 0,332*	- 0,398	- 0,267
	45%	- 0,292*	- 0,368	- 0,216
	90%	- 0,219*	- 0,309	- 0,130

* A diferença de média é significativa ao nível de 5% pelo teste de Bonferroni

Analisando-se cada época de avaliação, verificou-se que o tratamento sob pleno sol apresentou diferença significativa em relação aos demais tratamentos em todas as épocas (Tabela 28).

Tabela 28 - Diferença de média de altura do cafeeiro (m) entre tratamentos nas diferentes épocas de avaliação

Época	Tratamento (I)	Tratamento (J)	Diferença de média (I-J)	Intervalo com 95% de confiança para a diferença	
			Limite inferior	Limite superior	Limite inferior
Mar/06	35%	45%	0,015	- 0,102	0,131
		90%	0,101	- 0,037	0,239
		100%	0,289*	0,195	0,383
	45%	35%	- 0,015	- 0,131	0,102
		90%	0,087*	0,017	0,156
		100%	0,275*	0,194	0,355
	90%	35%	- 0,101	- 0,239	0,037
		45%	- 0,087*	- 0,156	- 0,017
		100%	0,188*	0,092	0,284
	100%	35%	- 0,289*	- 0,383	- 0,195
		45%	- 0,275*	- 0,355	- 0,194
		90%	- 0,188*	- 0,284	- 0,092
Set/06	35%	45%	0,053	- 0,081	0,186
		90%	0,187*	0,061	0,312
		100%	0,389*	0,313	0,465
	45%	35%	- 0,053	- 0,186	0,081
		90%	0,134*	0,056	0,212
		100%	0,337*	0,243	0,430
	90%	35%	- 0,187*	- 0,312	- 0,061
		45%	- 0,134*	- 0,212	- 0,056
		100%	0,203*	0,105	0,300
	100%	35%	- 0,389*	- 0,465	- 0,313
		45%	- 0,337*	- 0,430	- 0,243
		90%	- 0,203*	- 0,300	- 0,105

Tabela 28 - Diferença de média de altura do cafeeiro (m) entre tratamentos nas diferentes épocas de avaliação

Época	Tratamento (I)	Tratamento (J)	(conclusão)		
			Diferença de média (I-J)	Intervalo com 95% de confiança para a diferença	
				Limite inferior	Limite superior
Mar/07	35%	45%	0,052	-0,081	0,184
		90%	0,131*	0,012	0,249
		100%	0,344*	0,274	0,414
	45%	35%	-0,052	-0,184	0,081
		90%	0,079	-0,008	0,166
		100%	0,293*	0,188	0,397
	90%	35%	-0,131*	-0,249	-0,012
		45%	-0,079	-0,166	0,008
		100%	0,214*	0,125	0,302
	100%	35%	-0,344*	-0,414	-0,274
		45%	-0,293*	-0,397	-0,188
		90%	-0,214*	-0,302	-0,125
Set/07	35%	45%	0,044	-0,074	0,162
		90%	0,034	-0,107	0,176
		100%	0,308*	0,233	0,382
	45%	35%	-0,044	-0,162	0,074
		90%	-0,010	-0,088	0,069
		100%	0,264*	0,184	0,343
	90%	35%	-0,034	-0,176	0,107
		45%	0,010	-0,069	0,088
		100%	0,273*	0,172	0,374
	100%	35%	-0,308*	-0,382	-0,233
		45%	-0,264*	-0,343	-0,184
		90%	-0,273*	-0,374	-0,172

* A diferença de média é significativa ao nível de 5% pelo teste de Bonferroni

Todos os tratamentos apresentaram aumento no diâmetro do caule (Figura 31), sendo que o tratamento com cafeeiros a pleno sol atingiu valores mais elevados do que os verificados nos cafeeiros sob 35%, 45% e 90% de radiação solar disponível, à exceção da última época de avaliação, na qual o tratamento sob 90% de irradiância superou o tratamento a pleno sol. Valores mais elevados para o diâmetro do caule nos cafeeiros a pleno sol foram também observados por Miranda, Pereira e Bergo (1999).

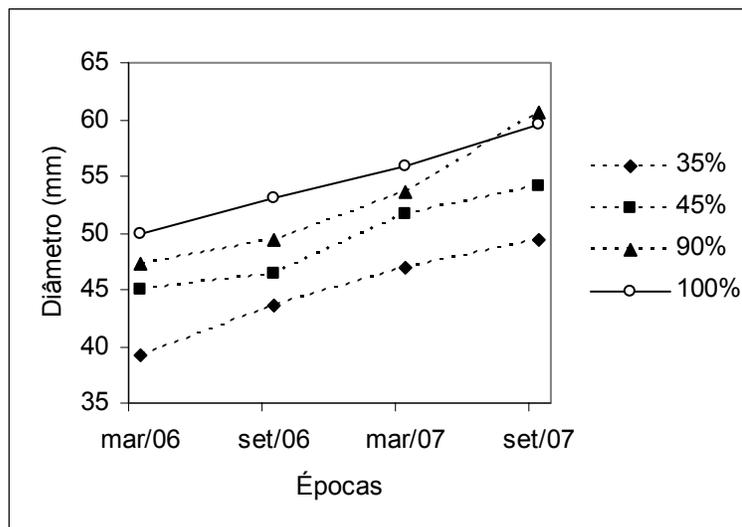


Figura 31 - Diâmetro do caule do cafeeiro sob diferentes níveis de radiação solar

Ocorreram diferenças significativas entre todas as épocas de avaliação do crescimento (Tabela 29). Lunz (2006) verificou que o diâmetro do caule foi afetado significativamente ($p < 0,01$) pela disponibilidade de radiação solar, em todas as épocas de avaliação.

Tabela 29 – Diferença de média para diâmetro do tronco do cafeeiro (mm) entre épocas de avaliação

Época (I)	Época (J)	Diferença de média (I-J)	Intervalo com 95% de confiança para a diferença	
		Limite inferior	Limite superior	Limite inferior
Mar/06	Set/06	- 2,826*	- 3,803	- 1,849
	Mar/07	- 6,765*	- 7,497	- 6,033
	Set/07	- 10,594*	- 11,568	- 9,621
Set/06	Mar/06	2,826*	1,849	3,803
	Mar/07	- 3,939*	- 4,852	- 3,026
	Set/07	- 7,768*	- 9,134	- 6,402
Mar/07	Mar/06	6,765*	6,033	7,497
	Set/06	3,939*	3,026	4,852
	Set/07	- 3,829*	- 4,614	- 3,045
Set/07	Mar/06	10,594*	9,621	11,568
	Set/06	7,768*	6,402	9,134
	Mar/07	3,829*	3,045	4,614

* A diferença de média é significativa ao nível de 5% pelo teste de Bonferroni

Observa-se na Tabela 30, que a diferença de média do diâmetro do caule não foi significativa apenas entre os tratamentos sob 90% e 100% de radiação disponível, quando se considerou todo o período de avaliação.

Tabela 30 – Diferença de média de diâmetro do tronco do cafeeiro (mm) entre tratamentos

Tratamento (I)	Tratamento (J)	Diferença de média (I-J)	Intervalo com 95% de confiança para a diferença	
		Limite inferior	Limite superior	Limite inferior
35%	35%	- 4,544*	- 8,567	- 0,522
	90%	- 7,962*	- 10,954	- 4,970
	100%	- 9,852*	- 13,168	- 6,536
45%	35%	4,544*	0,522	8,567
	90%	- 3,418*	- 6,791	- 0,044
	100%	- 5,308*	- 8,497	- 2,119
90%	35%	7,962*	4,970	10,954
	45%	3,418*	0,044	6,791
	100%	- 1,890	- 4,975	1,194
100%	35%	9,852*	6,536	13,168
	45%	5,308*	2,119	8,497
	90%	1,890	- 1,194	4,975

* A diferença de média é significativa ao nível de 5% pelo teste de Bonferroni

Verifica-se na Tabela 31, que em março de 2006 apenas o tratamento sob 35% de radiação disponível diferiu significativamente dos demais em relação ao diâmetro do caule. Em setembro do mesmo ano, o tratamento sob pleno sol foi o único a diferir de todos os demais tratamentos. Por sua vez, o tratamento sob a menor radiação solar disponível atingiu novamente diferença significativa em relação aos outros tratamentos em março e setembro de 2007, enquanto o tratamento sob 45% de radiação disponível diferiu dos demais tratamentos apenas em setembro de 2007.

Tabela 31 - Diferença de média de diâmetro de tronco do cafeeiro (mm) entre tratamentos em cada época de avaliação

(continua)

Época	Tratamento (I)	Tratamento (J)	Diferença de média (I-J)	Intervalo com 95% de confiança para a diferença	
			Limite inferior	Limite superior	Limite inferior
Mar/06	35%	45%	- 5,825*	- 10,601	- 1,049
		90%	- 8,116*	- 10,986	- 5,246
		100%	- 10,670*	- 15,070	- 6,269
	45%	35%	5,825*	1,049	10,601
		90%	- 2,291	- 6,658	2,076
		100%	- 4,844*	- 8,932	- 0,757
	90%	35%	8,116*	5,246	10,986
		45%	2,291	- 2,076	6,658
		100%	- 2,553	- 6,689	1,582
	100%	35%	10,670*	6,269	15,070
		45%	4,844*	0,757	8,932
		90%	2,553	- 1,582	6,689
Set/06	35%	45%	- 2,902	- 7,225	1,422
		90%	- 5,816*	- 8,940	- 2,692
		100%	- 9,519*	- 13,001	- 6,037
	45%	35%	2,902	- 1,422	7,225
		90%	- 2,914	- 6,316	0,487
		100%	- 6,618*	- 10,050	- 3,185
	90%	35%	5,816*	2,692	8,940
		45%	2,914	- 0,487	6,316
		100%	- 3,703	- 6,883	- 0,523
	100%	35%	9,519*	6,037	13,001
		45%	6,618*	3,185	10,050
		90%	3,703*	0,523	6,883

Tabela 31 - Diferença de média de diâmetro de tronco do cafeeiro (mm) entre tratamentos em cada época de avaliação

Época	Tratamento (I)	Tratamento (J)	(conclusão)		
			Intervalo com 95% de confiança para a diferença		
			Diferença de média (I-J)	Limite superior	Limite inferior
Mar/07	35%	45%	- 4,730*	- 8,803	- 0,657
		90%	- 6,577*	- 9,691	- 3,463
		100%	- 8,949*	- 12,311	- 5,588
	45%	35%	4,730*	0,657	8,803
		90%	- 1,847	- 5,082	1,388
		100%	- 4,220*	- 7,798	- 0,641
	90%	35%	6,577*	3,463	9,691
		45%	1,847	- 1,388	5,082
		100%	- 2,373	- 5,661	0,916
	100%	35%	8,949*	5,588	12,311
		45%	4,220*	0,641	7,798
		90%	2,373	- 0,916	5,661
Set/07	35%	45%	- 4,721*	- 8,451	- 0,991
		90%	- 11,339*	- 15,210	- 7,468
		100%	- 10,271*	- 13,971	- 6,571
	45%	35%	4,721*	0,991	8,451
		90%	- 6,618*	- 10,318	- 2,918
		100%	- 5,550*	- 8,565	- 2,535
	90%	35%	11,339*	7,468	15,210
		45%	6,618*	2,918	10,318
		100%	1,068	- 2,301	4,437
	100%	35%	10,271*	6,571	13,971
		45%	5,550*	2,535	8,565
		90%	- 1,068	- 4,437	2,301

* A diferença de média é significativa ao nível de 5% pelo teste de Bonferroni

2.3.6 Peso foliar específico (PFE)

Os cafeeiros sob os maiores níveis de radiação (90 % e 100%) tiveram os valores mais elevados de peso foliar específico (Figura 32). Por outro lado, os cafeeiros sob 35% e 45% de radiação alcançaram os valores mais baixos. Esses resultados

corroboram Voltan, Fahl e Carelli (1992) que obtiveram os valores mais elevados nos cafeeiros sob as maiores intensidades luminosas.

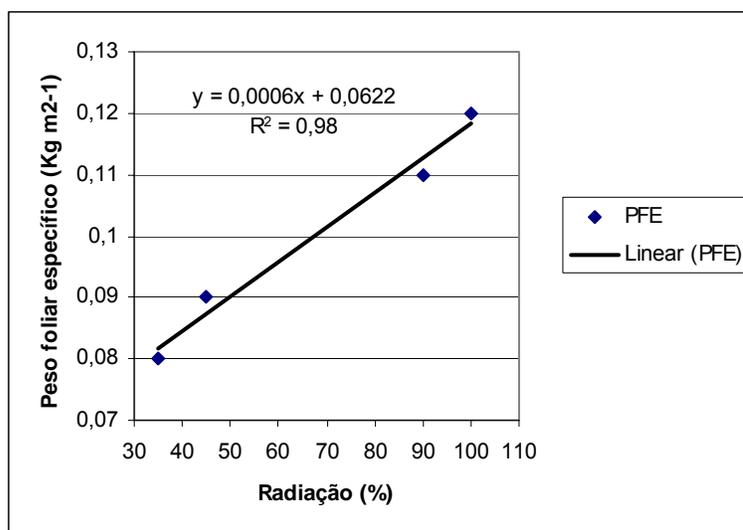


Figura 32 - Peso foliar específico do cafeeiro sob diferentes níveis de radiação solar

Segundo Voltan, Fahl e Carelli (1992), em condições de maior intensidade luminosa ocorre um espessamento foliar promovido principalmente pela expansão do mesofilo, ocorrendo também um aumento na massa foliar específica.

O peso foliar específico do tratamento 100%, que atingiu o maior valor, não diferiu estatisticamente do tratamento 90% (Tabela 32), mas diferiu aos valores alcançados pelos tratamentos 35% e 45% de radiação.

Tabela 32 – Peso foliar específico do cafeeiro sob diferentes níveis de radiação

Radiação	Peso foliar específico (Kg m ² -1)
35%	0,072 C
45%	0,088 BC
90%	0,098 AB
100%	0,110 A

CV (%) 15,30

Médias seguidas das mesmas letra maiúsculas não diferem pelo teste de Tukey ao nível de 5%

2.3.7 Anatomia foliar do cafeeiro

2.3.7.1 Análise histológica

Os resultados de análise histológica deram valores mais elevados de área do parênquima paliçádico nos cafeeiros sob as maiores radiações (90% e 100%) (Tabela 33). As folhas do sol são mais espessas e têm células paliçádicas mais longas do que as de sombra (TAIZ; ZEIGER, 2004). Em relação ao parênquima esponjoso, a maior área foi observada no cafeeiro a pleno sol, seguido pelo cafeeiro sob 35% de radiação, sendo que, os espaços intercelulares corresponderam a 30,8% e 38%, respectivamente. Os cafeeiros sob 45% e 90% de radiação tiveram os valores de área mais baixos para o parênquima esponjoso, assim como de espaço intercelular, o qual correspondeu a 25,52% e 24,58%, respectivamente.

Nascimento et al. (2006) relataram que o cafeeiro cultivado a pleno sol apresentou as maiores médias em espessura dos parênquimas paliçádico e esponjoso. Segundo os mesmos autores, este aumento do parênquima paliçádico e, conseqüentemente do limbo foliar constitui característica importante ao processo fotossintético. Segundo Taiz e Zeiger (2004), as propriedades das células paliçádicas que permitem a passagem direta da luz, e as propriedades das células do parênquima esponjoso, que servem à dispersão luminosa, determinam uma absorção luminosa mais uniforme através da folha. Para Zanela (2001), um aumento no número de camadas do parênquima esponjoso e o aumento nos espaços intercelulares são fatores importantes que devem ser considerados no sentido de aumentar a eficiência fotossintética, pois facilitam a realização das trocas gasosas nas folhas.

As maiores áreas de tecido paliçádico das folhas do cafeeiro nos tratamentos 90% e 100% não diferiram estatisticamente da alcançada pelo tratamento 45% (Tabela 33). O tratamento 90%, que atingiu o maior valor, diferenciou-se significativamente da menor radiação. Em relação ao tecido esponjoso, a maior área alcançada pelo tratamento 45%, não atingiu diferença estatística em relação aos tratamentos 35% e 100%, diferenciando-se apenas do tratamento 90%.

Segundo Taiz e Zeiger (2004) características anatômicas contrastantes também podem ser encontradas em folhas da mesma planta expostas a regimes luminosos diferentes.

Tabela 33 – Áreas de tecidos foliares dos cafeeiros sob diferentes níveis de radiação

Radiação	Epiderme adaxial	Parênquima paliçádico	Parênquima esponjoso	Epiderme abaxial
	----- μm^2 -----			
35%	22354,2 A	31760,0 B	196816,0 AB	16927,5 A
45%	16982,7 B	36082,0 AB	206139,0 A	10642,8 C
90%	23894,3 A	39687,0 A	190021,0 AB	16001,4 A
100%	19151,2 B	38220,0 AB	199842,0 AB	12671,5 B
CV (%)	7,66	11,03	2,83	5,96

Médias seguidas das mesmas letras maiúsculas (na coluna) não diferem pelo teste de Tukey ao nível de 5%

Os tratamentos 35% e 90% atingiram os maiores valores de área de tecido das epidermes adaxial e abaxial, não diferindo entre si (Tabela 33), entretanto, diferiram dos tratamentos 45% e 100%. O menor valor atingido de área de epiderme adaxial pelo tratamento 45%, não diferiu do valor alcançado pelo tratamento 100%. Por outro lado, em relação à área de tecido da epiderme abaxial, o menor valor também atingido pelo tratamento 45%, diferiu do valor intermediário alcançado pelo tratamento 100%.

2.3.7.2 Número de estômatos

Observa-se na Figura 33, que houve tendência de maior número de estômatos nas folhas dos cafeeiros com o aumento da radiação. Os cafeeiros a pleno sol atingiram o número mais elevado de estômatos, enquanto os cafeeiros sob a menor radiação (35%) alcançaram o número mais baixo. Voltan, Fahl e Carelli (1992) e Nascimento et al. (2006) também relataram maior número de estômatos para os cafeeiros a pleno sol, em relação aos cafeeiros sombreados. Por outro lado, Oliveira et al. (2004) não observaram diferença estatística no número de estômatos entre os cafeeiros em monocultivo e aqueles consorciados com seringueira, na fase de estabelecimento do plantio.

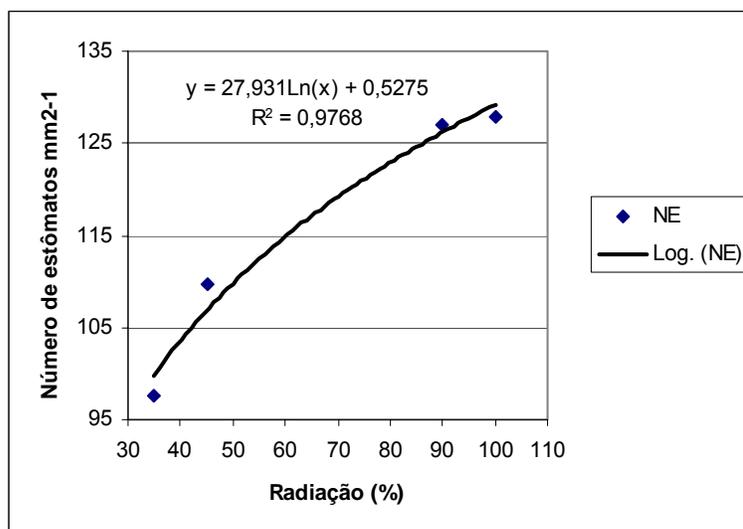


Figura 33 - Número de estômatos do cafeeiro sob diferentes níveis de radiação solar

Para Nascimento et al. (2006), os valores mais altos do índice estomático encontrados para o cultivo a pleno sol, podem ser atribuídos a uma diferença de demanda evaporativa do ar entre os diferentes sistemas de cultivo. Zanela (2001) relata que, geralmente o aumento na frequência estomática em condições de maior irradiância está relacionado a uma maior condutância estomática e transpiração, entretanto, não obteve correlação entre estas variáveis.

Os maiores números de estômatos foliares verificados nos tratamentos sob as maiores radiações (90% e 100%) não diferiram estatisticamente entre si e também em relação ao tratamento 45% (Tabela 34). Por outro lado, este último não diferiu do tratamento 35% de radiação, enquanto que os tratamentos 90% e 100% diferiram.

Tabela 34 – Número de estômatos foliares do cafeeiro sob diferentes níveis de radiação

Radiação	Número de estômatos mm ² -1
100%	127,85 A
90%	126,92 A
45%	109,64 AB
35%	97,64 B
CV (%) 7,40	

Médias seguidas das mesmas letra maiúsculas não diferem pelo teste de Tukey ao nível de 5%

2.3.8 Maturação dos frutos do cafeeiro

Na avaliação da maturação dos frutos do cafeeiro realizada em 13/07/06 (Figura 34), os tratamentos sob 45% e 90% de irradiância apresentaram as maiores porcentagens de frutos maduros, os quais são desejáveis para obtenção de bebidas de melhor qualidade. O tratamento sob 35% de irradiância apresentou a menor porcentagem de frutos verdes, porém, nesta data, estava com a grande maioria dos frutos no estágio seco. Segundo Severino e Oliveira (1999), a colheita dos frutos neste último estágio exerce efeito negativo na qualidade da bebida. Já o tratamento a pleno sol apresentou a maior porcentagem de frutos no estágio verde. A presença de frutos neste estágio representa prejuízo à qualidade da bebida (SEVERINO; OLIVEIRA, 1999).

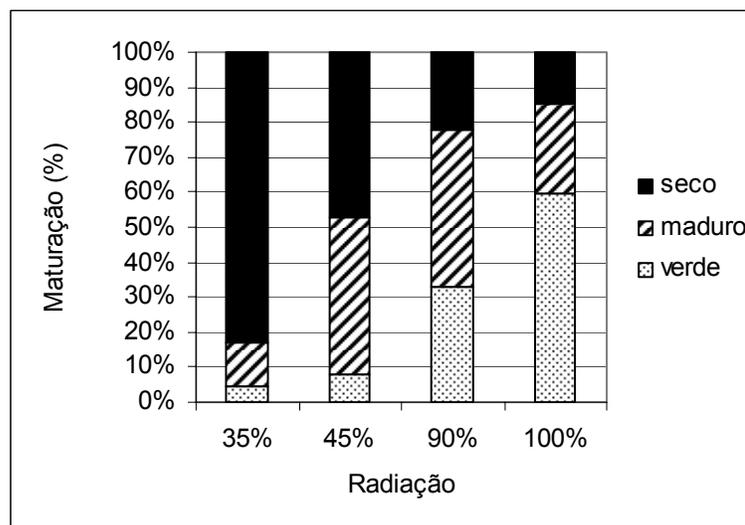


Figura 34 - Maturação dos frutos do cafeeiro em SAF e em monocultivo em 13/07/06

Quando a avaliação da maturação foi feita na data da colheita específica para cada tratamento (35% – 28/06/06; 45% – 17/06/06; 90% – 07/08/06; 100% – 08/08/06) (Figura 35), houve mudança no panorama da maturação dos frutos apresentado na avaliação de 13/07/06. Os tratamentos mais sombreados apresentaram as maiores porcentagens de frutos no estágio maduro, o que representa um aspecto positivo na obtenção de bebidas de melhor qualidade. Enquanto os tratamentos sob 90% e 100%

de irradiância apresentaram maiores porcentagens de frutos no estágio seco, notando-se uma breve permanência dos frutos no estágio maduro nestes tratamentos sob maiores irradiâncias, em oposição a uma permanência por um maior período nos tratamentos mais sombreados. Camargo (2007) constatou a permanência durante muito tempo, de frutos das plantas a pleno sol no estágio verde cana, os quais passavam a estágio seco praticamente sem passar pelo estágio cereja. Segundo Caramori et al. (2004), no cafeeiro a pleno sol o amadurecimento é forçado pelo excesso de radiação solar e temperatura, não proporcionando ao fruto desenvolver as propriedades organolépticas que conferem qualidade à bebida. Não é raro observarem-se frutos que passam rapidamente do estado de verde a maduro, sem o devido acúmulo de massa necessário para a sua formação adequada, ocasionando elevado número de grãos chochos, malformados e com peneiras baixas. Para Lunz (2006) a amenização da temperatura proporcionada pelo sombreamento ocasiona um período mais longo de maturação do fruto.

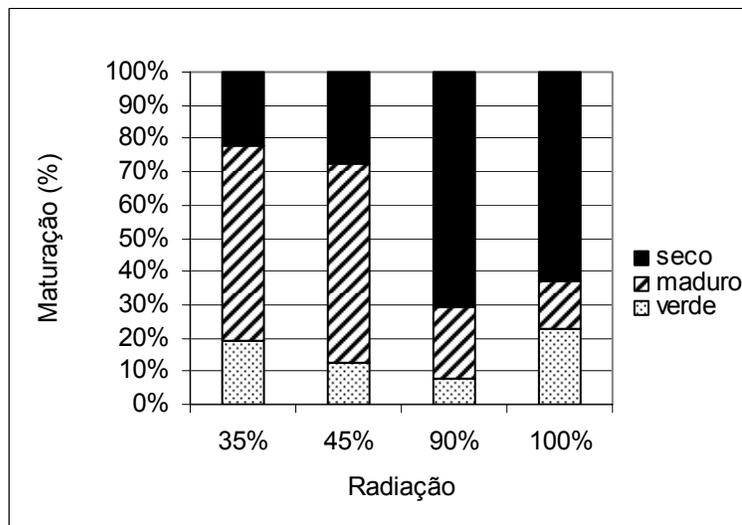


Figura 35 - Maturação dos frutos do cafeeiro em SAF e em monocultivo na data da colheita específica do tratamento em 2006

Na avaliação simultânea da maturação dos frutos nos tratamentos, realizada em 14/06/2007 (Figura 36), observou-se que os frutos no estágio verde constituíram aproximadamente 55% no tratamento sob 45% de irradiância e 90% nos tratamentos sob 90% e 100% de irradiância. Por sua vez, no tratamento sob o maior sombreamento,

representaram a menor proporção, em torno de 20%, enquanto que os frutos nos estádios cereja e seco constituíram 25% e 55%, respectivamente.

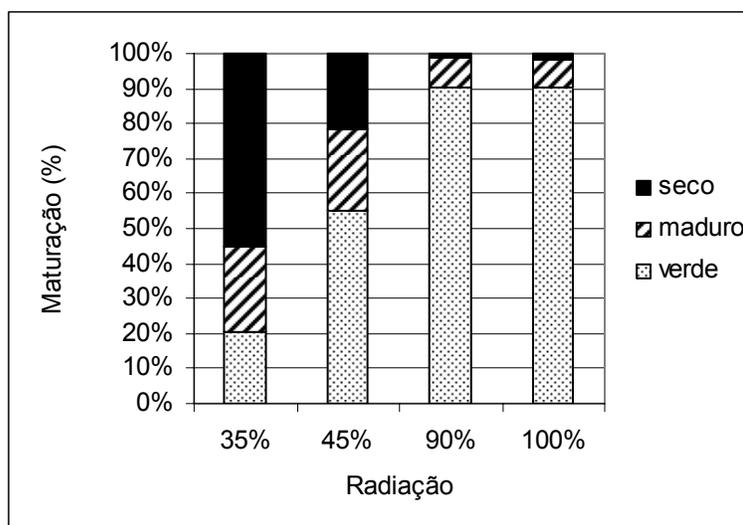


Figura 36 - Maturação dos frutos do cafeeiro em SAF e em monocultivo em 14/06/07

Observa-se na Figura 37, que a maturação dos frutos na data da colheita de cada tratamento (35% – 26/06/07; 45% – 12/07/07; 90% – 02/08/07; 100% – 02/08/07) apresenta menores porcentagens de frutos no estágio verde nos tratamentos mais sombreados. Estes possuem as maiores porcentagens de frutos no estágio seco, diferentemente da maturação observada na colheita, na data específica para cada tratamento, realizada no ano anterior, quando apresentaram maiores proporções dos frutos no estágio cereja, embora a colheita naquele ano tenha sido realizada em datas posteriores para os respectivos tratamentos. Como não foi realizado um acompanhamento fenológico das plantas, não é possível afirmar a causa para o amadurecimento antecipado dos frutos nestes tratamentos. Vaast et al. (2006) observaram maturação mais rápida em frutos a pleno sol. Segundo esses mesmos autores, quando a carga de frutos foi mais baixa, o amadurecimento ocorreu mais rapidamente independente de estar ao sol ou à sombra. Em um ano de alta produção, Jaramillo Botero (2007) observou que plantas sombreadas apresentaram menor número de frutos, frutos mais pesados e de maior tamanho e maturação mais tardia que as plantas a pleno sol.

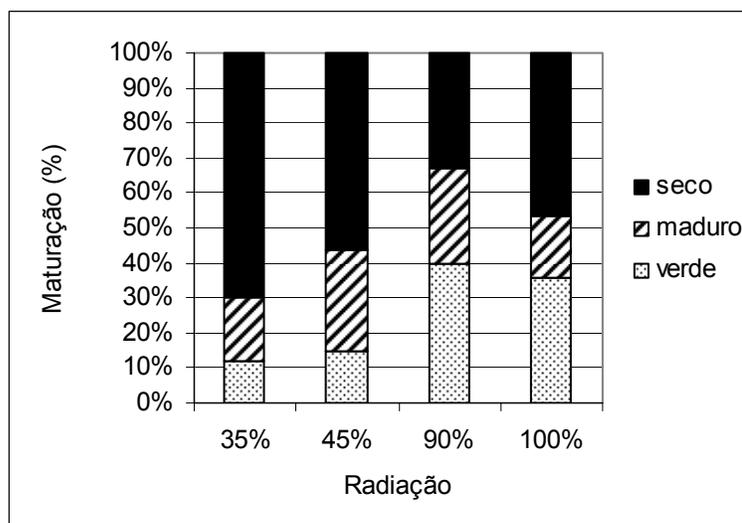


Figura 37 - Maturação dos frutos do cafeeiro em SAF e em monocultivo na data da colheita específica do tratamento em 2007

2.3.9 Produção do cafeeiro

Observa-se na Figura 38, na colheita em 2006, que os tratamentos sob 90% e 100% de irradiância apresentaram produções de café em coco mais elevadas do que as obtidas sob 35% e 45% de irradiância, e diferiram estatisticamente das mesmas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Produções mais elevadas sob maiores irradiâncias foram também relatadas por outros autores (BOTE, 2007; CAMARGO 2007; CAMPANHA et al., 2004; CARELLI; FAHL; ALFONSI, 2002; JARAMILLO BOTERO, 2007; LUNZ, 2006; MIRANDA; NEVES et al., 2002; PEREIRA; BERGO, 1999; RODRIGUES et al., 2001). A produção de café em coco a pleno sol correspondeu a 1,19; 2,37 e 6,92 vezes a produção obtida sob 90%, 45% e 35% de irradiância, respectivamente. Entretanto, as produções dos cafeeiros sob as radiações de 90% e 100% não diferiram entre si, assim como, não houve diferença estatística entre as produções dos cafeeiros sob 35% e 45% de irradiância. Os resultados de várias pesquisas demonstram que o sombreamento nas plantações de café induz uma série de efeitos nos cafeeiros, que se traduzem em reduções de fotossíntese, transpiração, metabolismo, crescimento, demanda de nutrientes e outros processos que afetam diretamente a produtividade da cultura (ALFARO-VILLATORO et al., 2004). A frutificação do cafeeiro é geralmente mais elevada a pleno sol, devido ao maior número de nós produtivos formados por ramo e à

maior formação de botões florais por nó, sendo criticamente dependente da radiação solar (CANNELL, 1985). Segundo DaMatta (2004) o cafeeiro sombreado tende a florescer e a produzir uma boa safra a cada ano, enquanto sob condições de pleno sol a cultura tende a alternar entre anos com florescimento pesado e leve.

Segundo Matiello et al. (2005), os trabalhos de pesquisa sobre a prática de sombreamento de café no centro-sul do Brasil, efetuados na década de 1950, sempre mostraram perdas de produção das parcelas com sombra, em relação àquelas sob pleno sol. Contudo, segundo esses mesmos autores, no Nordeste, em condições de período mais seco e com árvores apropriadas, o sombreamento tem resultado em melhor enfolhamento dos cafeeiros e em maior produtividade. No Paraná, Baggio et al. (1997) não observaram decréscimo na produção do cafeeiro sob sombra de *Grevillea robusta* em relação ao cafeeiro em monocultivo, em menores densidades de árvores. Soto-Pinto et al. (2000) ressaltam que a cobertura de sombra é mais importante que a densidade de árvores sombreadoras na produção de café.

Na colheita em 2007, ano de baixa produção, os cafeeiros a pleno sol foram os que mais produziram (Figura 38), alcançando, contudo, 64,36% da produção atingida no ano anterior. As produções dos cafeeiros sob 90% e 45% de irradiância também foram menores que as do ano anterior, alcançando 55,90% e 91,55%, respectivamente. Por sua vez, o tratamento sob 35% de irradiância foi o único que apresentou elevação de produção neste ano. Matiello et al. (2005) obtiveram em Garanhuns, Pernambuco, produção duas vezes maior em cafeeiros sob 50-75% de sombra em relação à obtida a pleno sol. Em Chiapas, no México, Soto-Pinto et al. (2000) verificaram maiores produções de café com sombreamento entre 30 e 45%. Em Viçosa, Minas Gerais, Jaramillo Botero (2007) verificou que em anos de alta produção, houve efeito negativo do sombreamento sobre a produção, e em anos de baixa produção, houve efeito positivo.

Houve diferenças estatísticas entre as produções de café em coco nos anos de 2006 e 2007 nos tratamentos sob 35%, 90% e 100% de irradiância (Figura 38), o que não se observou no tratamento sob 45% de irradiância.

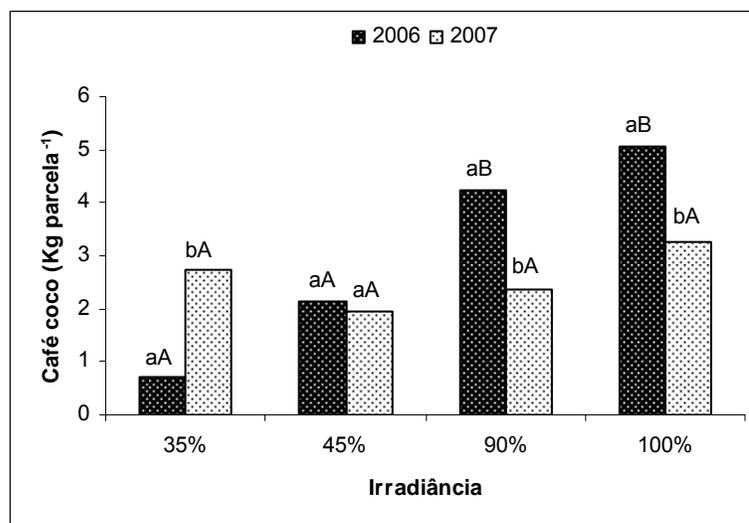


Figura 38 - Produção de café em coco (duas plantas por parcela) sob diferentes irradiâncias em 2006 e 2007. As mesmas letras minúsculas (entre anos no tratamento) e maiúsculas (entre tratamentos no ano), acima das colunas, correspondem que as produções não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5%

A produção de café beneficiado (Figura 39) demonstrou similaridade de comportamento em relação à produção de café em coco. As maiores produções no ano de 2006 foram observadas nos tratamentos sob 90% e 100% de irradiância, os quais diferiram estatisticamente dos tratamentos sob 35% e 45% de irradiância. As produções de café beneficiado nos tratamentos sob 90% e 100% de irradiância, no ano de 2007, foram menores do que as obtidas em 2006, sendo a redução correspondente a 50% e 42%, respectivamente. Por outro lado, o tratamento sob 45% de irradiância alcançou produção similar à atingida no ano anterior, enquanto o tratamento sob 35% de irradiância, neste ano de baixa produção, superou a produção alcançada no ano anterior. A produção no tratamento sob 35% de irradiância foi influenciada pela redução de sombreamento no interior do seringal, devido aos danos ocasionados às copas das seringueiras pelo mini-ciclone ocorrido em 29 de março de 2006.

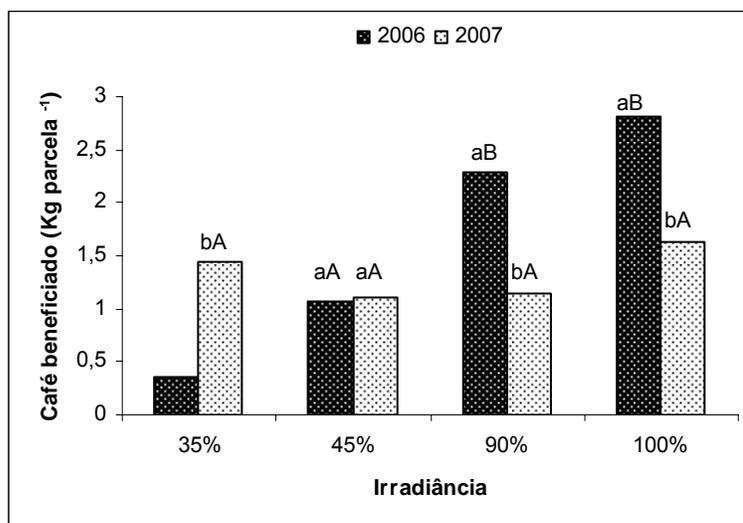


Figura 39 - Produção de café beneficiado (duas plantas por parcela) sob diferentes irradiâncias em 2006 e 2007. As mesmas letras minúsculas (entre anos no tratamento) e maiúsculas (entre tratamentos no ano), acima das colunas, correspondem que as produções não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5%

Os rendimentos de produção (Figura 40), no ano de 2006, foram mais elevados nos tratamentos sob 90% e 100% de irradiância. Entretanto, estes não diferiram estatisticamente dos rendimentos obtidos sob 35% e 45% de irradiância. No ano seguinte, estes últimos tratamentos foram os que apresentaram os rendimentos mais elevados, e não diferiram estatisticamente entre si. Por sua vez, o tratamento sob 45% de irradiância diferiu dos tratamentos sob 90% e 100% de irradiância. Maiores rendimentos também foram observados nas produções de cafeeiros sob menores irradiâncias por Lunz (2006). Vaast et al. (2006) relataram que maiores cargas de frutos reduziram o tamanho dos grãos, devido à competição por carboidratos entre frutos durante o enchimento dos grãos. Segundo Camargo (2007), a menor carga de frutos pendentes nos cafeeiros sob sombreamento respondeu pela maior quantidade de matéria seca, como resultado de saldo superior de carboidratos.

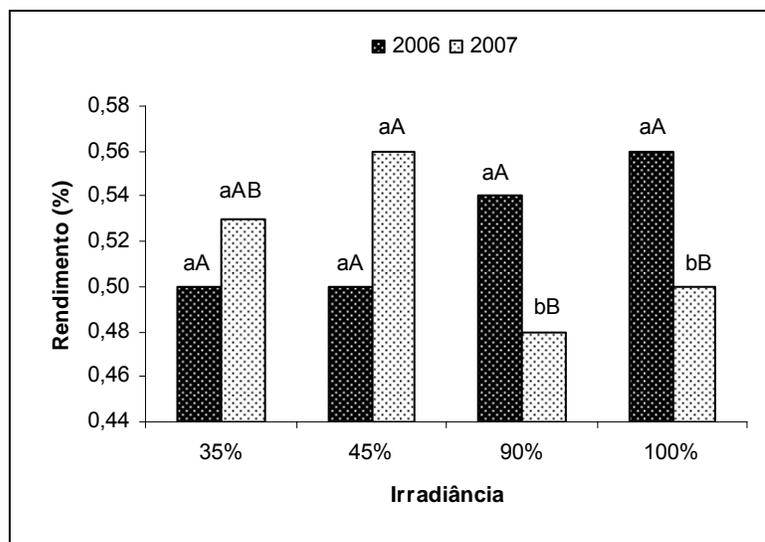


Figura 40 - Rendimento de produção de café sob diferentes irradiâncias em 2006 e 2007. As mesmas letras minúsculas (entre anos no tratamento) e maiúsculas (entre tratamentos no ano), acima das colunas, correspondem que as produções não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5%

O índice de bialidade obtido para a produção de café coco nos anos de 2006 e 2007 (Tabela 35), dos cafeeiros sob a menor radiação (35%) foi o mais elevado, sendo seguido pelo índice de bialidade dos cafeeiros a pleno sol. Por outro lado, os menores índices foram verificados para as produções dos cafeeiros sob as radiações intermediárias (45% e 90%). Índices de bialidade mais baixos são esperados para os cultivos de cafeeiros realizados sob sombreamento, em razão da redução dos ciclos bienais de produção em ambientes sombreados relatada por vários autores (BEER, 1997; DaMATTA; 2004; FERNANDES, 1986), entretanto, o maior índice de bialidade verificado para as produções dos cafeeiros sob 35% de radiação, foi influenciado pela ocorrência do mini-ciclone, o qual ocasionou danos às copas das árvores e permitiu uma maior luminosidade sobre os cafeeiros, proporcionando em 2007 uma produção muito superior à verificada no ano anterior, em oposição ao ocorrido nos cafeeiros sob maiores radiações, que tiveram produções menores em 2007 do que aquelas anteriormente verificadas.

Tabela 35 - Índice de bienalidade da produção do cafeeiro (café coco) sob diferentes níveis de radiação solar nos anos de 2006 e 2007

Radiação	Produção (Kg)		Índice de bienalidade (IB)
	2006	2007	
35%	0,73	2,73	2,74
45%	2,13	1,95	0,08
90%	4,24	2,37	0,44
100%	5,05	3,25	1,80

Lunz (2006) verificou uma redução significativa ($p < 0,01$) no índice de bienalidade de produção, com o aumento da radiação. Por outro lado, Jaramillo Botero (2007) observou redução do comportamento bienal na produção das plantas de café com o aumento do sombreamento, evidenciado pela diminuição do índice de bienalidade nas plantas sombreadas.

2.3.10 Qualidade da bebida do café

Na classificação pela análise sensorial da bebida (Tabela 36), em conformidade com as normas adotadas pela Associação Brasileira de cafés Especiais (ABCE), verifica-se que, no geral, os tratamentos apresentaram café bebida dura, à exceção do tratamento sob 45% de irradiância e sem broca (SB). Este tratamento deu café bebida apenas mole, que é de melhor qualidade, tendo atingido o maior conceito, com um total de 81 pontos. Ressalta-se que as amostras foram constituídas de grãos de frutos colhidos em diferentes estádios de maturação.

Tabela 36 - Classificação do café pela análise sensorial da bebida

Radiação disponível	Amostra ⁽¹⁾	Colheita	Conceito ⁽²⁾ (total)	Observações
35%	N	2006	78	Café bebida duro com gosto de velho; café com característica natural
45%	N	2006	79	Café bebida duro com um leve gosto de velho; café com característica natural
90%	N	2006	76	Café bebida duro com um amargor devido a quantidade de grãos pretos; café com característica natural
100%	N	2006	76	Café bebida duro verde; café com característica natural
35%	N	2007	77	Café bebida duro com um amargor devido a quantidade de grãos brocados; café com característica de cereja descascado
35%	SB	2007	77	Café bebida duro; café com característica de natural
35%	CB	2007	75	Café bebida duro muito amargo devido a quantidade de grãos brocados; café com característica de natural
45%	N	2007	77	Café bebida duro com um amargor devido a quantidade de grãos brocados; café com característica de cereja descascado
45%	SB	2007	81	Café bebida apenas mole com corpo, sabor e acidez; café com característica de cereja descascado
45%	CB	2007	74	Café bebida duro com um amargor muito forte devido a quantidade de grãos brocados; café com característica de natural
90%	N	2007	74	Café bebida duro com xícaras fermentadas; café com característica de natural
100%	N	2007	72	Café bebida duro verde; café com característica de natural

⁽¹⁾ Amostra: N = Normal (não foi realizada catação de grãos); SB = Sem broca (realizou-se catação de grãos para eliminação dos grãos brocados); CB = Com Broca (realizou-se catação para eliminação dos grãos não brocados)

⁽²⁾ O conjunto de notas de conceito de cada tratamento estão nas Figuras 40 a 43

Os demais tratamentos obtiveram conceitos que variaram de um mínimo de 72, atingido pelo tratamento sob 100% de radiação disponível da colheita de 2007 até um máximo de 79, atingido pelo tratamento sob 45% de irradiância da colheita de 2006. Observa-se que os conceitos mais elevados foram atingidos pelos tratamentos sob as menores irradiâncias, nas amostras normal e sem broca. Muschler (2001) e Vaast et al. (2006) relataram que a qualidade da bebida foi melhorada significativamente pelo sombreamento do cafeeiro sob condições sub-ótimas e ótimas na Costa Rica, respectivamente. Segundo Vaast et al. (2006), atributos negativos tais como amargor e

adstringência foram maiores para bebida preparada de grãos de cafeeiros a pleno sol do que aquela preparada de grãos de cafeeiros à sombra. Por sua vez atributos positivos tais como acidez e preferência foram significativamente maiores para os grãos obtidos da sombra. Outros autores (CAMARGO, 2007; LUNZ, 2006) relataram que a redução da irradiância disponível aos cafeeiros melhorou a qualidade da bebida. Lunz (2006) utilizando amostras formadas apenas de grãos obtidos de frutos no estágio cereja, verificou que os tratamentos com 35, 40, 45 e 80% de irradiância deram bebida com classificação de apenas mole e mole. Enquanto que tratamentos sob maiores níveis de radiação solar proporcionaram piores características às amostras, com bebida de pior qualidade.

Por outro lado, Avelino et al. (2008) verificaram que os cafés obtidos de plantas a pleno sol foram mais ácidos e mais apreciados pelos provadores do que os cafés obtidos de plantas sombreadas em condições de altitude muito elevada na Costa Rica. Esses mesmos autores concluíram que o sombreamento excessivo não melhora a qualidade do café em altitudes muito elevadas, quando variedades puras de café arábica são usadas. Vaast et al. (2006) reconhecem o manejo de sombra como uma das práticas agrícolas que podem limitar a carga de frutos, diminuindo o estresse do cafeeiro, melhorar a relação folha/fruto e favorecer o amadurecimento lento da polpa do café e o adequado enchimento dos grãos, ajudando a produzir café de melhor qualidade e grãos de maior tamanho.

Ressalta-se que os tratamentos sob 35% e 45% de irradiância e com grãos brocados (CB), mesmo classificados como bebida dura, apresentaram muito amargor devido aos grãos brocados. Por sua vez, os tratamentos sob 35% e 45% de irradiância e amostra normal da produção de 2007 e o tratamento sob 45% de irradiância e sem broca, deram café com característica de cereja descascado.

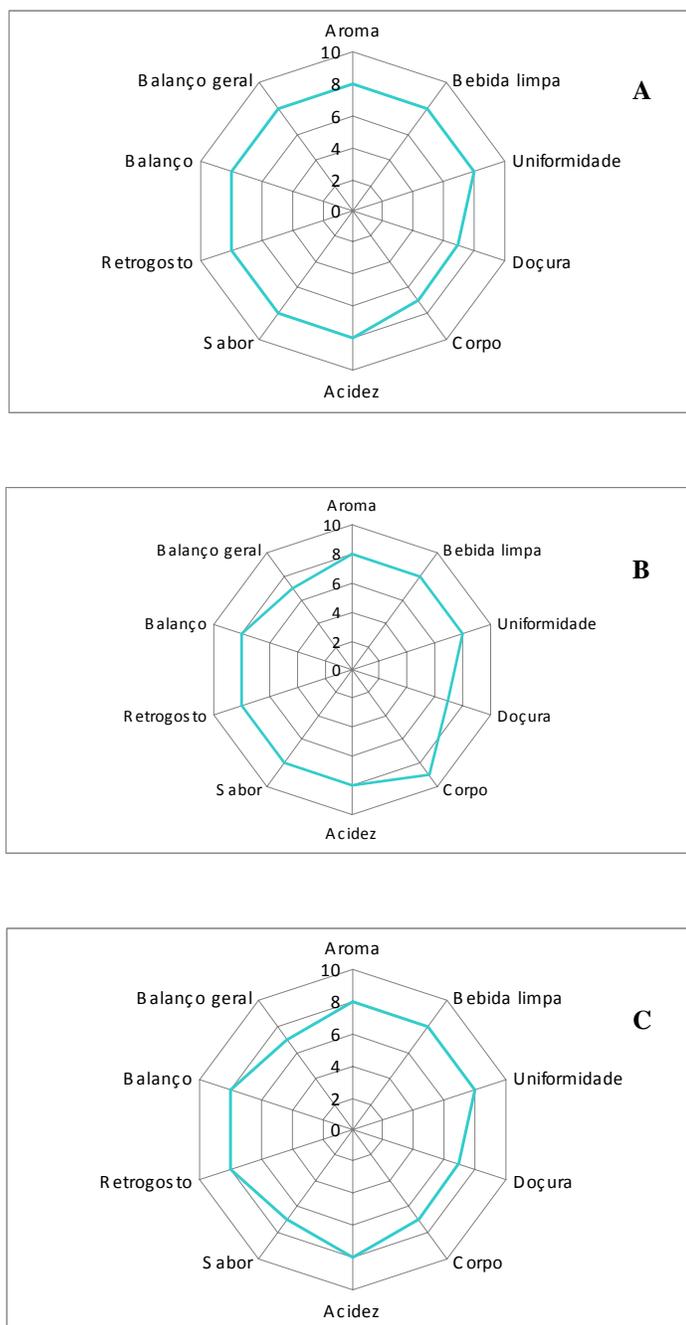


Figura 41 - Notas de conceito da análise sensorial do tratamento 35% amostra N colheita 2006 (A), 45% amostra N colheita 2006 (B) e 90% amostra N colheita 2006 (C)

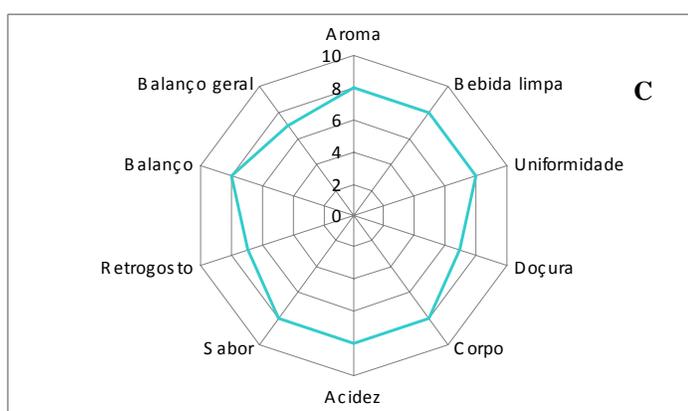
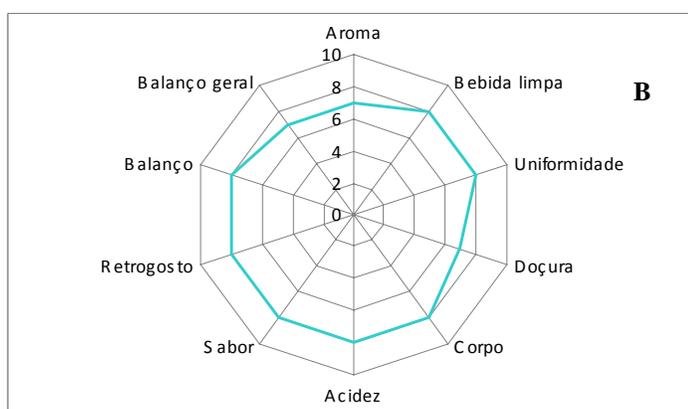
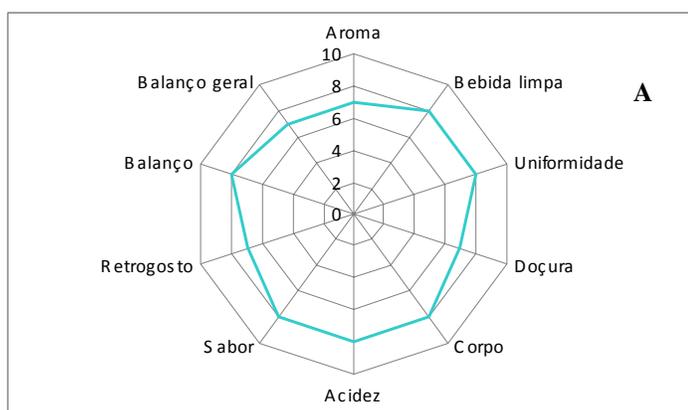


Figura 42 - Notas de conceito da análise sensorial do tratamento 100% amostra N colheita 2006 (A), 35% amostra N colheita 2007 (B) e 35% amostra SB colheita 2007 (C)

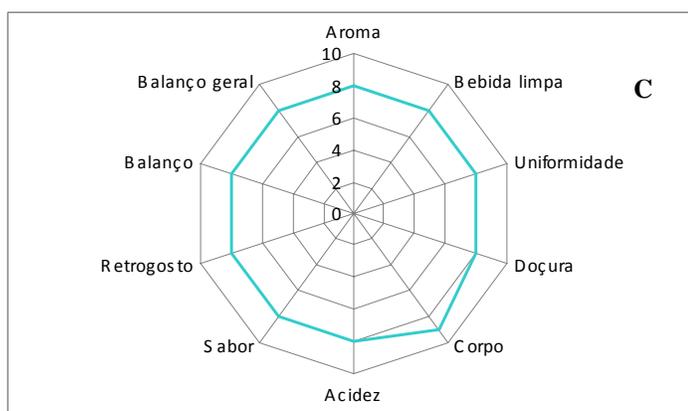
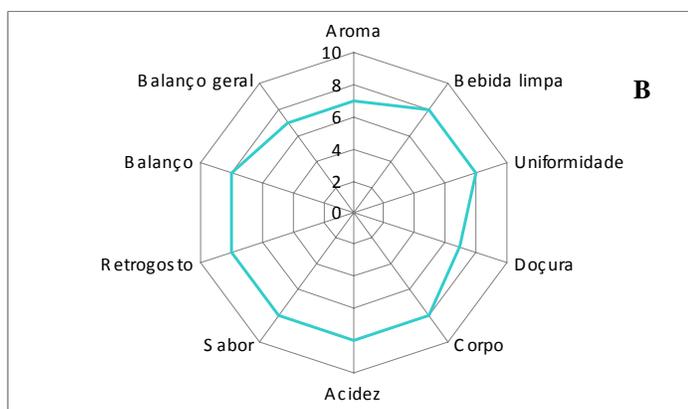
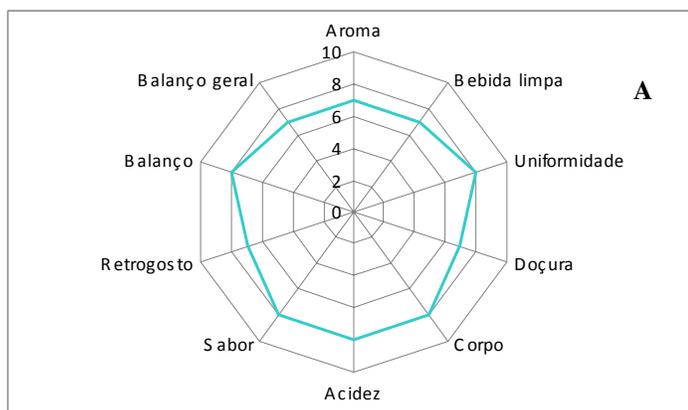


Figura 43 - Notas de conceito da análise sensorial do tratamento 35% amostra CB colheita 2007 (A), 45% amostra N colheita 2007 (B) e 45% amostra SB colheita 2007 (C)

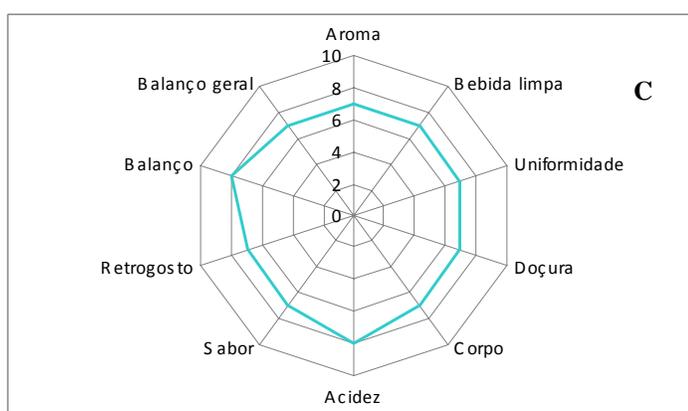
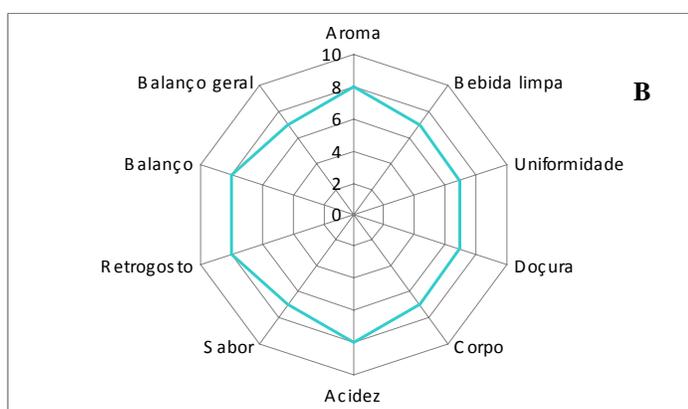
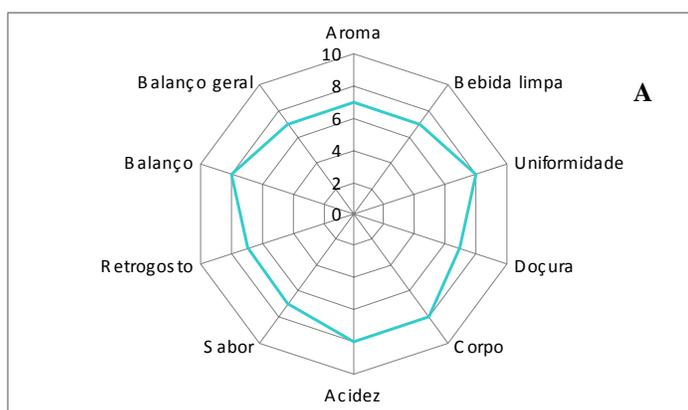


Figura 44 - Notas de conceito da análise sensorial do tratamento 45% amostra CB colheita 2007 (A), 90% amostra N colheita 2007 (B) e 100% amostra N colheita 2007 (C)

Na Tabela 37, verifica-se que a maioria dos tratamentos apresentou o número total de xícaras testadas com classificação café duro, o que corresponde a uma bebida de boa qualidade. Entretanto, alguns tratamentos tiveram a classificação duro acompanhada por diferentes atributos. Uma das três repetições do tratamento 35% de radiação disponível e amostra normal da colheita de 2006 apresentou o atributo envelhecido, o que também ocorreu com quase todas as xícaras do tratamento sob 100% de radiação disponível e amostra normal da colheita de 2006. Este último tratamento teve em uma das repetições, uma xícara com classificação café sujo, atributo associado a um gosto indesejável de terra e relacionado a fungo. O tratamento sob a menor irradiância e amostra com broca da colheita de 2007 obteve classificação duro fraco envelhecido em todas as xícaras testadas.

Tabela 37 - Classificação do café pela análise sensorial da bebida

Radiação disponível	Amostra ⁽¹⁾	Colheita	Xícaras	Classificação
35%	N	2006	8	8 Duro
35%	N	2006	8	8 Duro Envelhecido
35%	N	2006	8	8 Duro
45%	N	2006	8	8 Duro
45%	N	2006	8	7 Duro Acre 1 Adstringente
45%	N	2006	8	8 Duro
90%	N	2006	8	8 Duro
90%	N	2006	8	5 Duro 1 Chuvado 2 Fermentado
90%	N	2006	8	7 Duro 1 Fermentado
100%	N	2006	8	7 Duro Envelhecido 1 Sujo
100%	N	2006	8	8 Duro Envelhecido
100%	N	2006	8	8 Duro Envelhecido
35%	N	2007	7	5 Duro 2 Adstringente
35%	SB	2007	8	8 Duro
35%	CB	2007	8	8 Duro Fraco Envelhecido
45%	N	2007	8	8 Duro
45%	SB	2007	8	8 Duro
45%	CB	2007	6	5 Duro Fraco Envelhecido 1 Riado
90%	N	2007	8	8 Duro Frutado Encorpado e Cítrico
100%	N	2007	8	8 Duro Frutado Encorpado e Cítrico

⁽¹⁾ Amostra: N = Normal (não foi realizada catação de grãos); SB = Sem broca (realizou-se catação de grãos para eliminação dos grãos brocados); CB = Com Broca (realizou-se catação para eliminação dos grãos não brocados)

Por outro lado, o tratamento sob 45% de radiação disponível e amostra com broca da colheita de 2007 apresentou a maioria das xícaras com classificação café duro fraco envelhecido e uma das xícaras com classificação café riado. Portanto, o atributo envelhecido esteve presente em 33,33% das amostras da colheita de 2006 e em 25% das amostras da colheita de 2007. Sendo que nas amostras da colheita de 2006, esteve quase sempre associado aos tratamentos sob a maior irradiância e nas amostras de 2007 esteve presente apenas nos tratamentos sob menores irradiâncias e com broca. De acordo Pereira et al. (2000), as lesões causadas pelo ataque aos frutos por pragas e doenças servirão de entrada aos microorganismos, proporcionando fermentações indesejáveis e redução na qualidade do produto. Por sua vez, Pimenta e Vilela (1999) relataram que a classificação da bebida com base na atividade da polifenoxidase, não mostrou diferença com o aumento na porcentagem de grãos brocados, sendo os tratamentos classificados como bebida dura. Por outro lado, Teixeira, Fazuoli e Carvalho (1977) verificaram alteração na qualidade da bebida com o decorrer do tempo de armazenamento dos grãos em embalagens de sacos de aniagem, de tecido de algodão e de papel. A qualidade piorou quando se compararam as médias gerais de pontos atribuídos à qualidade da bebida da primeira para a segunda época, no período de onze meses, e desta para a terceira época, no período de cinco meses. Leite et al. (1998) concluíram que a qualidade da bebida avaliada pelo teste de xícara manteve-se constante durante o armazenamento, exceto no caso do café descascado que, a partir de seis meses apresentou queda de qualidade.

Observa-se (Tabela 37), que uma das repetições do tratamento sob 45% de radiação e amostra normal da colheita de 2006 apresentou sete das oito xícaras com atributo acre, relacionado a uma sensação áspera, amarga, adstringente, picante e pesada, e uma xícara com atributo adstringente associado à sensação de secura na boca deixada após a sua ingestão. No tratamento sob 90% de irradiância, amostra normal da colheita de 2006, uma das repetições apresentou uma xícara com atributo chuvado, devido ao gosto estranho normalmente associado ao café que sofreu o efeito da chuva ou foi lavado, e duas xícaras com classificação café fermentado. Por sua vez, uma outra repetição do mesmo tratamento apresentou uma das oito xícaras com o atributo de café fermentado. Segundo Pereira et al. (2000) não há dúvida de que o fator

mais importante na determinação da qualidade do café é a bebida que se influencia pela espécie e presença de grãos verdes, pretos ou ardidos, ou pela fermentação nos grãos, durante a fase de colheita ou preparo. Para esses autores, a fermentação corresponde ao fator que mais prejudica a bebida do café. Os tratamentos sob as maiores irradiâncias (90 e 100%) de amostra normal da colheita de 2007 apresentaram os atributos: frutado, encorpado e cítrico. Sendo o atributo frutado relacionado ao odor e sabor natural agradável e desejável da fruta fresca, percepção que evoca comumente aroma de cítricos. Por outro lado, o atributo encorpado significa que a bebida é concentrada e não rala, produzindo uma sensação agradável na boca.

3 CONCLUSÕES

1. As maiores deposições de serapilheira em 35,4% (SAF de seringueira e cafeeiros mais sombreados) e 45,8% de radiação natural (SAF de seringueiras e cafeeiros sob sombreamento intermediário) aliadas às suas maiores taxas de decomposição indicam maior e mais rápida ciclagem de nutrientes nestes sistemas.
2. As maiores deposições de serapilheira em 35,4% (SAF de seringueiras e cafeeiros mais sombreados) e 45,8% de radiação natural (SAF de seringueira e cafeeiros sob sombreamento intermediário) não foram suficientes para garantir maiores acúmulos de MO nestes sistemas, devido às maiores velocidades de decomposição da serapilheira nessas posições.
3. As menores deposições de serapilheira no pleno sol é a principal limitação ao acúmulo de MO, pois a velocidade de decomposição neste sistema é menor.
4. Os indicadores de fertilidade do solo (pH e V %), especialmente nas camadas superficiais (0-2 e 2-7 cm) e o teor de MO na camada de 0-2 cm foram mais elevados nos tratamentos 6,4%, 7,0% e 35,4%, proporcionados ao solo pelas deposições de serapilheira pela seringueira.
5. Os menores teores de K do solo no tratamento 7% (sob seringueiras em monocultivo) e 35,4% (em SAF de cafeeiros sob maior sombreamento) foram devidos a absorção desse nutriente pelas seringueiras.
5. Os teores de Ca no solo foram mais elevados nos tratamentos 6,4%, 7% e 35,4%, devido ao maior aporte de serapilheira e mais baixos nos tratamentos 47,5%, 60,9% e 64,9% devido à extração pelos cafeeiros.
6. Teores de Mg no solo foram mais elevados nos tratamentos 6,4%, 7% e 35,4%, devido ao maior aporte de serapilheira e a maior cobertura e proteção pelas árvores de seringueira.
7. A soma de bases mais elevada em 6,4%, 7% e 35,4% deve-se aos teores mais elevados de Ca e Mg.
8. A acidez potencial (H+Al) mais elevada sob as maiores radiações, 60,9% e 64,9%, sob cafeeiros em SAF, na menor cobertura e proteção das seringueiras e sob cafeeiros

em monocultivo, respectivamente, deve-se ao baixo aporte de serapilheira e a menor cobertura do solo.

9. A característica de CTC elevada do solo não foi modificada pelos tratamentos.

10. Os teores foliares de N e K do cafeeiro a pleno sol alcançaram valores mais elevados e mais baixos, respectivamente, do que aqueles dos cafeeiros à sombra.

11. Os cafeeiros sob 45% de irradiância mantiveram estado nutricional adequado em relação aos teores de N e K.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DO CAFÉ - ABIC. Disponível em: <http://www.abic.com.br/estat_exportacoes.html>. Acesso em: 08 jul. 2008.

ALFARO-VILLATORO, M.A.; SAGGIN-JÚNIOR, O.J.; RICCI, M. dos. S.F.; SILVA, E.M.R.; BERBARA, R.L.L. **Produção de café em sistema agroflorestal**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2004. 36p. (Embrapa Agrobiologia. Documentos,187).

ALLARD, B.; BORÉN, H.; PETTERSON, C.; ZHANG, G. Degradation of humic substances by irradiation. **Environment International**, Amsterdam, v. 20, n. 1, p. 97-101, 1994.

ARANGUREN, J.; ESCALANTE, G.; HERRERA, R. Nitrogen cycle of tropical perennial crops under shade trees. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 67, p. 247-258, 1982.

ARATO, H.D.; MARTINS, S.V.; FERRARI, S.H. de S. Produção e decomposição de serapilheira em um sistema agroflorestal implantado para recuperação de área degradada em Viçosa-MG. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 5, p. 715-721, 2003

AVELINO, J.; BARBOZA, B.; DAVRIEUX, F.; GUYOT, B. **Shade effects on sensory and chemical characteristics of coffee from very high altitude plantations in Costa Rica**. Disponível em: <http://web.Catie.ac.cr/cd_multiestrata/Poster/Session1/shade_effects.pdf>. Acesso em 22 mar. 2008.

BABBAR, L.I.; ZAK, D.R. Nitrogen cycling in coffee agroecosystems: net N mineralization and nitrification in the presence and absence of shade trees. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 48, p. 107-113, 1994.

BAGGIO, A.J. Sistema agroflorestal grevilea x café: início de nova era na agricultura paranaense? Curitiba: EMBRAPA-URPFCS. 1983. 15p. (EMBRAPA-URPFCS. Circular técnica, 09).

BAGGIO, A.J.; CARAMORI, P.H.; ANDROCIOLI FILHO, A.; MONTROYA, L. Productivity of southern Brazilian coffee plantations shaded by different stockings of *Grevillea robusta*. **Agroforestry Systems**, Dordrecht, v. 37, p. 111-120, 1997.

BARRADAS, V.L.; FANJUL, L. Microclimatic characterization of shaded and open-grown coffee (*Coffea arabica*) plantations in Mexico. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 38, p. 101-112, 1986.

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

BEER, J. Litter production and nutrient cycling in coffee (*Coffea arabica*) or cacao (*Theobroma cacao*) plantations with shade trees. **Agroforestry Systems**, Dordrecht, v. 7, p. 103-114, 1988.

BEER, J.; MUSCHLER, R.; KASS, D.; SOMARRIBA, E. Shade management in coffee and cacao plantations. **Agroforestry Systems**, Dordrecht, v. 38, p. 139-164, 1988.

BORNEMISZA, E. Nitrogen cycling in coffee plantations. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 67, p. 241-246, 1982.

BOTE, A.D. **Physiological effect of shade on growth and production of organic coffee in Ethiopia**. 2007. Dissertação (Mestrado na área de Fisiologia das Culturas) – Universidade de Wageningen, Wageningen. Disponível em: [http://www.ethiopiamilenium.nl/docs/OrganicCoffeaAdignaDebeleBote\(2\).pdf](http://www.ethiopiamilenium.nl/docs/OrganicCoffeaAdignaDebeleBote(2).pdf). Acesso em: 25 mar. 2008.

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

CAMARGO, F.T. de. **Crescimento e maturação do fruto do café (*Coffea arabica* L.) em sistema arborizado e em monocultivo**. 2007. 42p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

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

CAMPANHA, M.M.; SANTOS, R.H.S.; FREITAS, G.B. de.; MARTINEZ, H.E.P.; JARAMILO-BOTERO, C.; GARCIA, S.L. Análise comparativa das características da serrapilheira e do solo em cafezais (*Coffea arabica* L.) cultivados em sistema agroflorestal e em monocultura, na Zona da Mata MG. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 31, n. 5, p. 805-812, 2007.

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

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**, Campinas, v. 50, n. 1, p. 29-37, 1991.

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

CARELLI, M.L.C.; FAHL, J.I.; ALFONSI, E.L. Efeitos de níveis de sombreamento no crescimento e na produtividade do cafeeiro. In: SIMPÓSIO DE PESQUISAS DE CAFÉS DO BRASIL, 2., 2001, Vitória. **Anais...** Brasília: Embrapa Café, 2002, v.1, p.108-111.

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

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

CHENG, C.; WANG, R.; JIANG, J. Variation of soil fertility and carbon sequestration by planting *Hevea brasiliensis* in Hainan Island, China. **Journal of Environmental Sciences**, Amsterdam, v. 19, p. 348-352, 2007.

COSTA, A.N. da. Método de interpretação e diagnose foliar em café. In: ZAMBOLIM, L. (Ed.). **Tecnologias de produção de café com qualidade**. Viçosa: UFV, Departamento de Fitopatologia. 2001. cap. 17, p. 617-646.

DIETSCH, T.V.; PHILPOTT, S.M.; RICE, R.A.; GREENBERG, R.; BICHER, P. Conservation policy in coffee landscapes. **Science**, Washington, v. 303, p. 625, jan 2004.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de solos (Rio de Janeiro – RJ). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: EMBRAPA, Produção de informação; Rio de Janeiro: Embrapa solos, 1999. 412 p.

EVANS, J.R. Photosynthesis and nitrogen relationships in leaves of C3 plants. **Oecologia**, Berlin, v. 78, p. 9-19, 1989.

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

FÁRFAN VALENCIA, F.; MESTRE-MESTRE, A. Respuesta del café cultivado en un sistema agroflorestal a la aplicación de fertilizantes. **Cenicafé**, Chinchina, v. 55, n. 2, p. 161-174, 2004.

FERNANDES, D.R. Manejo do cafezal. In: RENA, A.B.; MALAVOLTA, E.; ROCHA, M.; YAMADA, T. (Ed.). **Cultura do cafeeiro**: fatores que afetam a produtividade. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1986. p. 257-301.

FERNANDES, F.A.; CERRI, C. C.; FERNANDES, A.H.B.M. Alterações na matéria orgânica de um podzol hidromórfico pelo uso com pastagens cultivadas no pantanal mato-grossense. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 10, p.1943-1951, 1999.

FERRAR, P.J.; OSMOND, C.B. Nitrogen supply as a factor influencing photoinhibition and photosynthetic acclimation after transfer of shade-grown *Solanum dulcamara* to bright light. **Planta**, Berlin, v. 168, p. 563-570, 1986.

FERREIRA, J.M.L. **Indicadores de qualidade do solo e da sustentabilidade em cafeeiros arborizados**. 2005. 90p. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

FONTANA, A.; MATIELLO, J.D.; ANJOS, L.H.C. dos.; PEREIRA, M.G. Fracionamento químico da matéria orgânica em solo sob diferentes coberturas vegetais em Soretama (ES). **Magistra**, Cruz das Almas, v. 17, n. 3, p. 135-141, 2005.

FONTANA, A.; PEREIRA, M.G.; LOSS, A.; CUNHA, T.J.F.C.; SALTON, J.C. Atributos de fertilidade e frações húmicas de um latossolo vermelho no cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 5, p. 847-853, 2006.

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

GLOVER, N.; BEER, J. Nutrient cycling in two traditional Central American agroforestry systems. **Agroforestry Systems**, Dordrecht, v. 4, p. 77-87, 1986.

INTERNATIONAL COFFEE ORGANIZATION - ICO. Disponível em:
< <http://dev.ico.org/asp/display1.asp> >. Acesso em: 08 jul. 2008.

ISAAC, M.E.; GORDON, A.M.; THEVATHASAN, N.; OPPONG, S.K.; QUASHIE-SAM, J. Temporal changes in soil carbon and nitrogen in west African multistrata agroforestry systems: a chronosequence of pools and fluxes. **Agroforestry Systems**, Dordrecht, v. 65, p. 23-31, 2005.

JARAMILLO BOTERO, C. **Resposta de cafeeiro ao sombreamento e à dinâmica de serapilheira em condições de sistema agroflorestal**. 2007. 72p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2007.

KANG, B.T. Alley cropping – soil productivity and nutrient recycling. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 91, p. 75-82, 1997.

KARNOVSKY, M.J. A formaldehyde-glutaraldehyde fixative of high osmolality for use in eletron microscopy. **Journal of Cell Biology**, New York, v. 27, p. 137-138, 1965.

KUMAR, D.; TIESZEN, L.L. Photosynthesis in *Coffea arabica* L.: I. Effects of light and temperature. **Experimental agriculture**, London, v. 16, p. 13-19, 1980.

LABRADOR MORENO, J. **La materia orgánica en los agrosistemas**. Madrid: Ministério de Agricultura, Pesca y Alimentación: Ediciones Mundi-Prensa. 1996. 174p.

LAL, R. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. **Science**, Washington, v. 304, p. 1623-1626, jun 2004.

LEITE, R.A.; CORRÊA, P.C.; OLIVEIRA, M.G. de A.; REIS, F.P.; OLIVEIRA, T.T. de. Qualidade tecnológica do café (*Coffea arabica* L.) pré-processado por “via seca” e “via úmida” avaliada por método químico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 2, n. 3, p. 308-311, 1998.

LEMO, C.L.; MATSUMOTO, S.N.; COELHO, R.A.; LIMA, J.M.; CÉSAR, F.R.C.F.; BONFIM, J.A.; GUIMARÃES, M.M.C.; SANTOS, M.A.F.; ARAÚJO, G.S.; SOUZA, A. J. de J. Avaliação do desenvolvimento vegetativo em cafeeiros sombreado e a pleno sol. **Revista Brasileira de Agroecologia**, Brasília, v. 2, n. 2, p. 1062-1065, 2007.

LUCENA, J.J. Methods of diagnosis of mineral nutrition of plants: a critical review. **Acta Horticulturae**, The Hague, v. 448, p. 179-192, 1997.

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

MACHADO, R.P. da M. Análise comparativa de decomposição de folhas de seringais e duas tipologias de floresta atlântica: procurando uma imagem do ecossistema local. In: ALVARENGA, A. de P.; CARMO, C.A.F. de S. (Ed.). **Sequestro de carbono: quantificação em seringais de cultivo e na vegetação natural**. Viçosa, 2006. p. 191-199.

MALAVOLTA, E. Nutrição, adubação e calagem para o cafeeiro. In: RENA, A.B.; MALAVOLTA, E.; ROCHA, M.; YAMADA, T. (Ed.). **Cultura do cafeeiro: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e Fosfato, 1986. p. 165-274.

MALAVOLTA, E. **Nutrição mineral e adubação do cafeeiro**: colheitas econômicas máximas. São Paulo: Agronômica Ceres, 1993. 210 p.

MALAVOLTA, E.; LIMA FILHO, O.F. de. Nutrição mineral (e adubação) do cafeeiro – lavouras tradicionais, adensadas, irrigadas, arborizadas e orgânicas. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL. 2002, Poços de Caldas. **Palestras...** Brasília: Embrapa café, 2002. p. 331-353.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. de. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: Potafos. 1997. 319 p.

MARCHIORI JÚNIOR, M.; MELO, W.J. de. Alterações na matéria orgânica e na biomassa microbiana em solo de mata natural submetido a diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 6, p. 1177-1182, 2000.

MARTINEZ, H.E.P.; MENEZES, J.F.S.; SOUZA, R.B. de.; VENEGAS, V.H.A.; GUIMARÃES, P.T.G. Faixas críticas de concentrações de nutrientes e avaliação do estado nutricional de cafeeiros em quatro regiões de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 6, p. 703-713, 2003.

MATIELLO, J.B. Fatores que afetam a produtividade do café no Brasil. In: RENA, A.B.; MALAVOLTA, E.; ROCHA, M.; YAMADA, T. (Ed.). **Cultura do cafeeiro: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato. 1986. p. 1-11.

MENDONÇA, E.S.; ROWELL, D.L. Mineral and organic fractions of two oxisols and their influence on effective cation-exchange capacity. **Soil Science Society of América Journal**, Madison, v. 60, p.188-192, 1996.

MENDONÇA, E.S.; LEITE, L.F.C.; FERREIRA NETO, P.S. Cultivo do café em sistema agroflorestal: uma opção para recuperação de solos degradados. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 25, n. 3, p. 375-383, 2001.

MIRANDA, E.M. de.; PEREIRA, R. de. C.A.; BERGO, C.L. Comportamento de seis linhagens de café (*Coffea arabica* L.) em condições de sombreamento e a pleno sol no estado do Acre, Brasil. **Ciências Agrotécnicas**, Lavras, v.23, n.1, p.62-69, 1999.

MONTAGNINI, F.; NAIR, P.K.R. Carbon sequestration: an underexploited environmental benefit of agroforestry systems. **Agroforestry Systems**, Dordrecht, v. 61, p. 281-295, 2004.

MORAIS, H.; MARUR, C.J.; CARAMORI, P.H.; RIBEIRO, A.M. de 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.

MOREIRA, C.F. **Caracterização de sistemas de café orgânico sombreado e a pleno sol no sul de Minas Gerais**. 2003. 78p. (Dissertação de mestrado em Ecologia de Agroecossistemas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

MURBACH, M.R.; BOARETTO, A.E.; MURAOKA, T. ; SOUZA, E.C.A. de. Nutrient cycling in RRim 600 clone rubber plantation. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.60, p. 353-357, 2003.

MUSCHLER, R.G.; BONNEMAN, A. Potentials and limitations of agroforestry for changing land-use in the tropics: experiences from Central America. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 91, p. 61-73, 1997.

MUTUO, P.K.; CADISCH, G.; ALBRECHT, A.; PALM, C.A.; VERCHOT. Potential of agroforestry for carbon sequestration and mitigation of greenhouse gas emissions from soils in the tropics. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Amsterdam, v. 71, p. 43-54, 2005.

NASCIMENTO, E.A. do.; Oliveira, L.E.M. de.; CASTRO, E.M. de.; DELÚ FILHO, N.; MESQUITA, A.C.; VIEIRA, C.V. Alterações morfofisiológicas em folhas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) consorciado com seringueira (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.). **Ciência Rural**, Santa Maria, v.36, n.3, p. 852-857, 2006.

NEVES, Y.P.; MARTINEZ, H.E.P.; SOUZA, C.M.; CECON, P.R. Crescimento e produção de coffee arabica, fertilidade do solo e retenção de umidade em sistema agroflorestal. In: SIMPÓSIO DE PESQUISAS DOS CAFÉS DO BRASIL, 2., 2001. Vitória. **Anais...** Brasília: Embrapa Café, 2002. v. 3, p. 1294-1300.

NOGUEIRA, F.D. **Adução potássica do cafeeiro**: sulfato de potássio. Washington, DC: SOPIB, 2001. 81 p.

OELBERMANN, M.; VORONEY, R.P.; THEVATHASAN, N.V.; GORDON, A.M.; KASS, D.C.L.; SCHLÖNVOIGT, A.M. Soil carbon dynamics and residue stabilization in a Costa Rican and southern Canadian alley cropping system. **Agroforestry Systems**, Dordrecht, v. 68, p.27-36, 2006.

OLIVEIRA, C.R.M. de.; SOARES, A.M.; OLIVEIRA, L.E.M. de.; CASTRO, E.M. de.; BARBOSA, J.P.R.A.D. Crescimento e características anatômicas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) e seringueira (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.) em diferentes sistemas de cultivo: monocultivo e consórcio. **Ciências Agrotécnicas**, Lavras, v. 28, n.2, p. 350-357, 2004.

PALM, C.A.; GACHENGO, C.N.; DELVE, R.J.; CADISCH, G.; GILLER, K.E. Organic inputs for soil fertility management in tropical agroecosystems: application of organic resource database. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 83, p. 27-42, 2001.

PAVAN, M.A.; CARAMORI, P.A.; ANDROCIOLI FILHO, A.; SCHOLZ, M.F. Manejo da cobertura do solo para formação e produção de uma lavoura cafeeira. I. Influência na fertilidade do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 21, n. 2, p. 187-192, 1986.

PEREIRA, A.V.; PEREIRA, E.B.C.; FIALHO, J. de F.; JUNQUEIRA, N.T.V. **Seringueira em sistemas agroflorestais**. Planaltina: EMBRAPA-CPAC. 1997. 45p. (EMBRAPA-CPAS. Documentos, 63).

PEREIRA, A.V.; PEREIRA, E.B.C.; FIALHO, J. de F.; JUNQUEIRA, N.T.V.; MACEDO, R.L.G.; GUIMARÃES, R.J. **Sistemas agroflorestais de seringueira com cafeeiro**. Planaltina: EMBRAPA-CPAC. 1998. 77p. (EMBRAPA-CPAC. Documentos, 70).

PEREIRA, J. da P.; LEAL, A.C.; RAMOS, A.L.M.; ANDROCIOLLI FILHO, A. **Alternativas para viabilização da pequena propriedade rural no Paraná através de sistemas agroflorestais com seringueira**, Disponível em: <<http://www.borracanatural.agr.br/artigos/pdf/art33.pdf>>. Acesso em: 24 abril 2005.

PEREIRA, R. de C.A.; SOUZA, J.M.L. de.; AZEVEDO, K. de S.; SALES, F. de. **Obtenção de café com qualidade no Acre**. Rio Branco: Embrapa Acre, 2000. 27p. (EMBRAPA Acre, Circular Técnica, 34).

PIMENTA, C.J.; VILELA, T.C. Efeito de diferentes porcentagens de grãos brocados no rendimento e atividade da polifenoxidase em café (*Coffea arabica* L.) da região de Três Pontas – MG. **Revista da Universidade de Alfenas**, Alfenas, v. 5, p. 179-184, 1999.

PINHEIRO, E.F.M.; PEREIRA, M.G.; ANJOS, L.H.C. dos.; PALMIERI, F.; SOUZA, R.C. de. Matéria orgânica em latossolo vermelho submetido a diferentes sistemas de manejo e coberturas do solo. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 9, n. 1, p. 53-56, 2003.

RAIJ, B. van; PEECH, M. Electrochemical properties of some Oxisols and Alfisols of the tropics. **Soil Science of América Proceedings**, Madison, v.36, n.4, p. 587-593, 1972.

RAIJ, B.van.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**, 2.ed. Campinas: Instituto Agrônomo/Fundação IAC, 1997. p.8-13. (Boletim Técnico, 100).

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

RAMALHO, J.C.; PONS, T.L.; GROENEVELD, H.W.; AZINHEIRA, H.G.; NUNES, M.A. Photosynthetic acclimation to 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.

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

REZENDE, C. de P.; CANTARUTTI, R.B.; BRAGA, J.M.; GOMIDE, J.A.; PEREIRA, J.M.; FERREIRA, E.; TARRÉ, R.; MACEDO, R.; ALVES, B.J.R.; URQUIAGA, S.; CADISCH, G.; GILLER, K.E.; BODDEY, R.M. Litter deposition and disappearance in *Brachiaria* pastures in the Atlantic Forest region of the south of Bahia, Brazil. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Amsterdam, v. 54, n. 2, p. 99-112, 1999.

RICCI, M. dos. S.F.; COSTA, J.R.; PINTO, A.N.; SANTOS, V.L. da. S. Cultivo orgânico de cultivares de café a pleno sol e sombreado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 4, p. 569-575, 2006.

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

RIGHI, C.A.; BERNARDES, M.S.; CASTRO, D.S.; ABBUD, D.M. Fenologia e variação temporal do índice de área foliar de três cultivares de seringueira (*Hevea* spp.). **Agrotropica**, Ilhéus, v. 13, n. 3, p. 125-132, 2001.

RIOS, L. da C.; CONCEIÇÃO, M. da.; PÉREZ, D.V.; ARAÚJO, W.S. de. Estoque do carbono e caracterização de substâncias húmicas em solos sob seringais cultivados e vegetação natural. In: ALVARENGA, A. de P.; CARMO, C.A.F. de S. (Ed.). **Seqüestro de carbono**: quantificação em seringais de cultivo e na vegetação natural. Viçosa, 2006. p.159-178.

RIVERA, R.; MEDEROS, J.D. Requerimientos de N, P y K de una plantacion de cafeto variedad caturra a plena exposicion solar, sobre suelo ferralítico rojo compactado. **Cultivos Tropicales**, La Habana, v. 14, n. 1, p. 5-12, 1993.

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

ROSCOE, R.; MACHADO, P. L. de A. **Fracionamento físico do solo em estudos da matéria orgânica**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste; Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 2002. 86p.

SAKAI, W.S. Simple method for differential staining of paraffin embedded plant material using toluidine blue o. **Stain Technology**, Baltimore, v. 48, n. 5, p. 247-249, 1973.

SCHROTH, G.; LEHMANN, J.; RODRIGUES, M.R.L.; BARROS, E.; MACÊDO, J.L.V. Plant-soil interactions in multistrata agroforestry in the humid tropics. **Agroforestry Systems**, Dordrecht, v. 53, p. 85-102, 2001.

SEGATTO, F.B.; BISOGNIN, D.A.; BENEDETTI, M.; COSTA, L.C.; RAMPELOTTO, M.V.; NICOLOSO, F.T. Técnica para o estudo da anatomia da epiderme foliar da batata. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 5, p. 1597-1601, 2004.

SEVERINO, L.S.; OLIVEIRA, T.S. de. Sistema de cultivo sombreado do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) na região de Baturité, Ceará. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 46, n. 268, p. 635-652, 1999.

SIDIRAS, N.; PAVAN, M.A. Influência do sistema de manejo do solo no seu nível de fertilidade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 9, p. 249-254, 1985.

SILVA, E.B.; NOGUEIRA, F.D.; GUIMARÃES, P.T.G. Uso do DRIS na avaliação do estado nutricional do cafeeiro em resposta à adubação potássica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 27, p. 247-255, 2003.

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

SOUTO, P.C. **Acumulação e decomposição da serapilheira e distribuição de organismos edáficos em área de caatinga na Paraíba, Brasil**. 2006. 150p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba, Areias, 2006.

SOUZA, D.M.G.; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. Planaltina, DF: EMBRAPA Cerrados, 2002. 416p.

SZOTT, L.T.; KASS, D.C.L. Fertilizers in agroforestry systems. **Agroforestry Systems**, Dordrecht, v. 23, p. 157-176, 1993.

SWIFT, R.S. Organic matter characterization. In: SPARKS, D.L.; PAGE, A.L.; HELMKE, P.A.; LOEPPERT, R.H.; SOLTANPOUR, P.N.; TABATABAI, M.A.; JOHNSTON, C.T.; SUMNER, M.E. (Ed.). **Methods of soil analysis: chemical methods** Madison: . Soil Science Society of America; American Society of Agronomy, 1996. v. 3, p. 1011-1020. (SSSA. Book Series, 5).

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

TAN, Z.; LAL, R.; OWENS, L.; IZAURRALDE, R.C. Distribution of light and heavy fractions of soil organic carbon as related to land use and tillage practice. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 92, p. 53-59, 2007.

TEIXEIRA, A.A.; FAZUOLI, L.C.; CARVALHO, A. Qualidade da bebida do café – efeito do acondicionamento e do tempo de conservação. **Bragantia**, Campinas, v.36, n.7, p. 103-108, 1977.

THEODORO, V.C.A.; ALVARENGA, M.I.N.; GUIMARÃES, R.J.; SOUZA, C.A.S. Alterações químicas em solo submetido a diferentes formas de manejo do cafeeiro. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Campinas, v.27, p. 1039-1047, 2003.

TILMAN, D.; CASSMAN, K.G.; MATSON, P.A.; NAYLOR, R.; POLASKY, S. Agricultural sustainability and intensive production practices. **Nature**, London, v. 418, p. 671-677, 2002.

VAAST, P., BERTRND, B.; PERRIOT, J.J.; GUYOT, B.; GÉNARD, M. Fruit thinning and shade improve bean characteristics and beverage quality of coffee (*Coffea arabica L.*) under optimal conditions. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v. 86, p. 197-204, 2006.

VALARINI, V.; BATAGLIA, O.C.; FAZUOLI, L.C. Macronutrientes em folhas e frutos de cultivares de café arábica de porte baixo. **Bragantia**, Campinas, v. 64, n. 4, p. 661-672, 2005.

VALE, F.X.R.; FERNANDES FILHO, E.I.; LIBERATO, J.R. **Quant.** A software plant disease severity assessment. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF PLANT PATHOLOGY, 8., 2003. Christchurch. **Proceedings...** Christchurch, 2003. p. 105.

VELASCO, E.; MEDINA, R.; RODRÍGUEZ, L.; FONSECA, I.; VERDECIA, J. Efecto del manejo de la sombra em los contenidos de macronutrientes em el cafeto cultivado sobre um suelo fersialítico pardo rojizo del macizo de la sierra maestra. **Cultivos Tropicales**, La Habana, v. 22, n. 4, p. 69-75, 2001.

VITOUSEK, P.M.; SANFORD Jr, R.L. Nutrient cycling in moist tropical forest. **Annual Review Ecology and Systematics**, Palo Alto, n. 17, p. 137-167, 1986.

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

ZANELA, S.M. **Respostas ecofisiológicas e anatômicas ao sombreamento em plantas jovens de diferentes grupos ecológicos**. 2001. 79p. Dissertação (Mestrado em Fisiologia vegetal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2001.

WATANABE, A.; SARNO; RUMBANRAJA, J.; TSUTSUKI, K.; KIMURA, M. Humus composition of soils under forest, coffee and arable cultivation in hilly areas of south Sumatra, Indonesia. **European Journal of Soil Science**, New Jersey, v. 52, p. 599-606, 2001.

WILLEY, R.W. The use of shade in coffee, cocoa and tea. **Horticultural abstracts**, East Malling, v. 45, n. 12, p. 791-798, 1975.

WILSON, K.C. Cultural Methods. In: CLIFFORD, M.N.; WILSON, K.C. (Ed.). **Coffee: botany, biochemistry and production of beans and beverage**. London: Croom Helm, 1985a. p. 135-156.

WILSON, K.C. Mineral nutrition and fertilizer needs. In: CLIFFORD, M.N.; WILSON, K.C. (Ed.). **Coffee: botany, biochemistry and production of beans and beverage**. London: Croom Helm, 1985b, p. 135-156.

WONG, M.T.F.; HAIRIAH, K.; ALEGRE, J. Managing soil acidity and aluminium toxicity in tree-based agroecosystems. In: NOORDWIJK, M. van.; CADISH, G.; ONG, C.K. (Ed.). **Below-ground interactions in tropical agroecosystems**. Wallingford: CAB International, 2004. p.143-156.

YOUNG, A. **Agroforestry for soil conservation**. Wallingford: CAB international. 1989. 276p.