

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
EM MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS

**Interferência ambiental do sombreamento da araucária
(*Araucaria angustifolia* L.) na lavoura cafeeira.**

Carla Cristina de Oliveira

Itajubá, Junho de 2012

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
EM MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS

Carla Cristina de Oliveira

Interferência ambiental do sombreamento da araucária
(*Araucaria angustifolia* L.) na lavoura cafeeira.

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente e Recursos Hídricos como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Ciências em Meio Ambiente e Recursos Hídricos.

Área de Concentração: Meio Ambiente e Recursos Hídricos

Orientadora: Profa. Dra. Maria Inês Nogueira Alvarenga

Co-orientadora: Profa. Dra. Juliana Garcia Cespedes

Junho de 2012

Itajubá - MG

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Mauá –
Bibliotecária Cristiane N. C. Carpinteiro- CRB_6/1702

O482i

Oliveira, Carla Cristina de

Interferência ambiental do sombreamento da araucária (*Araucaria angustifolia* L.) na lavoura cafeeira. / por Carla Cristina de Oliveira. – Itajubá (MG) : [s.n.], 2012.

70 p. : il.

Orientadora : Profa. Dra. Maria Inês Nogueira Alvarenga.

Coorientadora : Profa. Dra. Juliana Garcia Cespedes.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Itajubá.

1. Sistemas agroflorestais. 2. Produtividade. 3. Fertilidade. 4. Fauna de solo. I. Alvarenga, Maria Inês Nogueira, orient. II. Cespedes, Juliana Garcia, coorient. III. Universidade Federal de Itajubá. IV. Título.

**Interferência ambiental do sombreamento da araucária
(*Araucaria angustifolia* L.) na lavoura cafeeira.**

Banca examinadora:

Profa. Dra. Liane Barreto Alves Pinheiro
Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (Membro externo)

Prof. Dr. Rogério Melloni
Universidade Federal de Itajubá (Membro Interno)

Profa. Dra. Juliana Garcia Cespedes
Universidade Federal de São Paulo (Co-orientadora)

Profa. Dra. Maria Inês Nogueira Alvarenga
Universidade Federal de Itajubá (Orientadora)

Itajubá, 29 de junho de 2012.

Aos meus pais, que sempre confiaram em mim e apoiaram as minhas decisões.

Aos meus amigos, que acreditaram no meu potencial mais do que eu mesma.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me dar saúde e boas oportunidades.

À minha mãe, Mary, ao meu pai, Carlos, e à minha irmã, Camila, por estarem sempre ao meu lado, orgulhando-se do meu trabalho.

Aos grandes amigos Gabriel, Fabiana, Bia, Cláudia, Suellen e Bruna, que mesmo estando longe nunca deixaram de me apoiar.

Às grandes amigas Lívia, Aline, Camila, Clarice e Maria Cristina, pelo respeito e carinho durante as minhas horas de trabalho, pela confiança inabalável e por tornarem muito mais felizes meus momentos de lazer.

À minha orientadora, Prof.^a Maria Inês, pela oportunidade, incentivo, confiança e por dividir seus conhecimentos comigo.

À minha co-orientadora, Prof.^a Juliana, pela grande ajuda no desenvolvimento da dissertação, principalmente quando a estatística não fazia nenhum sentido.

Ao professor Marcelo, pelas ideias brilhantes, por propor novos desafios e pelos conselhos profissionais.

À professora Liane, pelo apoio, e por estar sempre disposta a ajudar, inclusive nos trabalhos de campo.

Ao Cláudio e à Tânia, por todo o auxílio na realização das análises e pelo carinho com que sempre me trataram.

Ao Neto, grande amigo, que compartilhou parte deste trabalho, sendo sempre extremamente gentil e prestativo.

Ao Daniel (*in memoriam*) e à Camila, pela essencial ajuda nos trabalhos de campo.

Ao Sr. Luis Francisco de Rosa Macedo, por ceder o espaço utilizado na realização deste trabalho.

À Unifei, pela oportunidade e à Capes, pelo apoio financeiro.

À Fapemig, pelo financiamento do projeto “Caracterização ambiental de área com lavoura cafeeira em sub-bosque de araucária (*Araucaria angustifolia* L.), que originou esta dissertação.

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

RESUMO

OLIVEIRA, C. C. **INTERFERÊNCIA AMBIENTAL DO SOMBREAMENTO DA ARAUCÁRIA (*Araucaria angustifolia* L.) NA LAVOURA CAFEIEIRA.** 2012. 70f. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Instituto de Recursos Naturais, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2012.

O cultivo de café é de fundamental importância para a economia do Brasil, em especial do Estado de Minas Gerais. Entretanto, considerando a crescente demanda por produtos agrícolas, surge a necessidade de se buscarem técnicas de manejo que conciliem produção e conservação ambiental. Neste contexto, este trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos de três intensidades de sombreamento do café por araucária (*Araucaria angustifolia* L.) sobre a qualidade ambiental e sobre a produtividade da lavoura. A área foi dividida em três glebas distintas, considerando-se o grau de sombreamento que já existia naturalmente no local: Café com sombreamento intenso (CSI), Café com sombreamento médio (CSM) e Café a sol pleno (CSP). Foram avaliadas características físicas e químicas do solo, macrofauna e microbiota, fitomassa, folhas e produção de grãos, além de aspectos ambientais como atenuação da radiação e área sombreada. Os dados foram analisados estatisticamente por meio de teste de médias (Duncan a 5%), análise de correlação, *boxplot*, análise de agrupamentos e análise de componentes principais. Verificou-se que o sombreamento proporcionado pelas araucárias favorece o equilíbrio ambiental da lavoura e em condições de sombra de média intensidade a produção de café/planta se compara àquela obtida a pleno sol.

Palavras-chave: Sistemas agroflorestais, Produtividade, Fertilidade, Fauna de solo.

ABSTRACT

Environmental interference of Araucaria (*Araucaria angustifolia* L.) shading in coffee crop

Coffee cultivation has fundamental importance to the economy of Brazil, especially in the state of Minas Gerais. However, considering the growing demand for agricultural products, there is need to seek management techniques that balance production and environmental conservation. In this context, this study aimed to evaluate the effects of three levels of Araucaria (*Araucaria angustifolia* L.) shading in coffee crop on environmental quality and on productivity. The area was divided into three separate plots, considering the degree of shading that existed naturally in place: coffee with severe shadowing (CSI), coffee with medium shadowing (CSM) and the full sun coffee (CSP). Physical and chemical characteristics of the soil, macrofauna and microbiota, biomass, leaves and grain production were evaluated. Also, the attenuation of the radiation and the shaded area was determined. Data were statistically analyzed by mean test (Duncan 5%), correlation analysis, boxplot, cluster analysis and principal component analysis. The shading provided by araucaria favors the environmental balance of the crop and, in conditions of medium shading, the coffee production/plant is compared to that obtained in full sun.

Keywords: Agroforestry, Productivity, Fertility, Soil fauna.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	11
2.	OBJETIVOS.....	13
2.1.	OBJETIVO GERAL.....	13
2.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
3.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	14
3.1.	POPULAÇÃO, AGRICULTURA E MEIO AMBIENTE.....	14
3.2.	SISTEMAS AGROFLORESTAIS.....	15
3.3.	CAFEICULTURA E SOMBREAMENTO.....	16
3.4.	BIOLOGIA DO SOLO.....	23
4.	METODOLOGIA	27
4.1.	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	27
4.2.	CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS E FÍSICAS DO SOLO.....	29
4.3.	FITOMASSA.....	30
4.4.	ANÁLISE FOLIAR	31
4.5.	MICROBIOTA.....	32
4.6.	MACROFAUNA.....	32
4.7.	PRODUÇÃO DE GRÃOS.....	34
4.8.	RADIAÇÃO.....	35
4.9.	DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E ANÁLISES DE DADOS.....	37
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	40
5.1.	ANÁLISES FÍSICAS E FERTILIDADE DO SOLO	40
5.2.	MICROBIOTA E MACROFAUNA DO SOLO.....	43
5.1.	FITOMASSA.....	47
5.2.	PRODUÇÃO DE GRÃOS.....	48
5.2.1.	Análise foliar e produção de grãos.....	48
5.2.2.	Desvio do Ótimo Percentual (DOP).....	50
5.3.	RADIAÇÃO.....	52
5.3.1.	Atenuação da radiação	52
5.3.2.	Área sombreada	54
5.4.	ESTATÍSTICA MULTIVARIADA.....	55
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	59

7.	CONCLUSÕES	60
8.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	61
	APÊNDICE I – <i>LOADINGS</i> (<i>SCORES</i>) DAS COMPONENTES PRINCIPAIS.....	70

1. INTRODUÇÃO

O cultivo de café é de fundamental importância para a economia do Brasil, em especial do Estado de Minas Gerais. Entretanto, várias situações tem se tornado empecilhos para o incremento da produtividade. A agricultura tradicional tem provocado a exaustão dos recursos, fato que, aliado às mudanças climáticas, tem sido responsável pela redução das áreas de aptidão agrícola.

Se, por um lado, o aumento da demanda por produtos agrícolas em função do crescimento populacional requer aumento da produtividade, por outro, técnicas convencionais de cultivo agrícola têm causado o esgotamento dos recursos naturais, exigindo ainda mais insumos e tornando a agricultura cada vez menos sustentável, o que acaba por degradar áreas de modo que sua recuperação torna-se economicamente inviável. Deste modo, tem aumentado o interesse sobre sistemas de cultivo que busquem, ao mesmo tempo, o aumento da produtividade e a manutenção da qualidade ambiental, por meio de sistemas de manejo que buscam a adaptabilidade das culturas a condições climáticas adversas e melhoria das características físicas, químicas e biológicas do solo, o que pode levar a um maior aproveitamento de áreas consideradas marginais.

Os sistemas agroflorestais surgem, então, como uma opção de manejo capaz de preencher todas estas lacunas, visto que melhora os aspectos microclimáticos, amenizando a temperatura e atuando no controle de geadas; possibilita a recuperação de solos degradados, ao promover a reciclagem de nutrientes e agregar mais matéria orgânica ao ecossistema; e, ainda, pode representar uma fonte de renda extra ao agricultor, através do aproveitamento de frutos e outros produtos retirados das espécies arbóreas consorciadas.

Vários estudos tem procurado avaliar os efeitos da arborização sobre o cafeeiro e diversas são as opções de espécies utilizadas. No entanto, há muitas variáveis a serem consideradas, como o solo, o clima e os objetivos do produtor, de modo que cada situação apresenta características muito peculiares, que devem ser cuidadosamente analisadas.

Neste contexto, este trabalho visa identificar a influência de duas diferentes

intensidades de sombreamento propiciadas pelo plantio de araucárias sobre uma lavoura de café, comparando-as com o plantio de café a pleno sol. Para isso, foram analisadas diversas variáveis que representam características ambientais e econômicas. A área foi dividida em três glebas distintas: café com sombreamento mediano (CSM), café com sombreamento intenso (CSI) e café a sol pleno (CSP), onde amostras e dados foram coletados para caracterização do ecossistema e avaliação do comportamento da lavoura cafeeira sob as diferentes intensidades de sombreamento.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Estudar os efeitos gerados pelas diferentes intensidades de sombreamento do café por araucária sobre a qualidade ambiental – representada por atributos do solo, produção e qualidade da fitomassa, e macrofauna e microbiota do solo – e sobre a produtividade da lavoura.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar a produtividade do cafeeiro nas diferentes intensidades de sombreamento do café com araucária;
- Verificar as variações na produção e qualidade da fitomassa nas diferentes intensidades de sombreamento;
- Verificar os efeitos do sombreamento e da produção de fitomassa sobre a qualidade química e física do solo;
- Avaliar os efeitos das diferentes intensidades de sombreamento sobre a microbiota, por meio de medições da respiração basal e carbono da biomassa;
- Verificar possíveis interferências do sombreamento sobre a macrofauna do solo;
- Relacionar a atenuação da radiação com a porcentagem de sombreamento em cada tratamento.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. POPULAÇÃO, AGRICULTURA E MEIO AMBIENTE

A agricultura tem sido, há muitos milênios, crucial para o desenvolvimento das civilizações. Inúmeras alterações nos sistemas de produção, principalmente nas últimas décadas, ocorreram com o objetivo de adequar a produção agrícola à crescente demanda por alimentos. Dentre as mudanças, pode-se destacar a revolução verde como uma tentativa de amenizar temporariamente o desequilíbrio provocado pelo aumento populacional acelerado (MATSUMOTO, 2004). A revolução verde teve início na década de 60 e consistiu na introdução de práticas idealizadas para aumentar a produtividade agrícola, dentre as quais destacam-se o melhoramento genético de sementes, a utilização intensiva de insumos agrícolas industrializados, como fertilizantes e agrotóxicos, e a mecanização da produção. Deste modo, a expansão das fronteiras agrícolas combinada à introdução das novas técnicas que buscam a melhoria constante da produtividade, culminaram em um sistema de cultivo que tradicionalmente menospreza os cuidados com o meio ambiente, o que levará ao aumento cada vez mais evidente de sua insustentabilidade e, eventualmente, ao seu colapso.

A Tabela 1 apresenta dados sobre o crescimento da população entre os anos de 1975 e 2010, relacionando-o com o aumento da produtividade agrícola. Verifica-se que, para um aumento de cerca de 83% da população, a produção agrícola mundial dobrou, porém, a área cultivada aumentou apenas 9%, indicando que houve uma considerável intensificação no consumo de insumos para viabilizar a exploração do solo.

Tabela 1 – Indicadores da evolução populacional e da produção agrícola mundial entre 1975 e 2010.

Indicadores	1975	2010	Varição (%)
População total (milhões)	3.693	6.768	83,3
Produção (milhões de toneladas)	1.225	2.450	100,0
Área cultivada (milhões de hectares)	695	757,6	9,0
Produtividade média (mil kg/hectare)	1,76	3,23	83,7

Fontes: FAO (2006); USDA (2011a).

Pesquisadores e estudiosos de todo o mundo vem buscando possibilidades que permitam um aumento na produtividade agrícola combinado à conservação ambiental (MATSUMOTO, 2004). Ainda assim, observa-se que, de maneira geral, a vegetação natural do Brasil vem sendo gradativamente substituída por culturas agrícolas, pastagens e espécies florestais de rápido crescimento, notadamente nas áreas sob vegetação de cerrado, com vistas a aumentar o lucro do produtor e causando, conseqüentemente, maior desequilíbrio ambiental. Miranda (1993) acredita que tais alterações na vegetação causam importantes mudanças nas características dos ecossistemas, propiciando sua degradação. Alvarenga (1996), estudando as alterações físicas, químicas e biológicas de um Latossolo Vermelho distrófico sob vegetação de cerrado, afirma que, quando o mesmo é submetido a diferentes usos, embora as características químicas sejam alteradas positivamente em sistemas agrícolas convencionais, comparados aos ecossistemas naturais, os solos tem suas propriedades físicas degradadas, com redução da agregação, aumento da densidade e redução da porosidade.

Uma vez que os impactos ambientais tornam-se mais evidentes, chegando a promover prejuízos aos produtores e catástrofes naturais, como deslizamentos e enchentes, há um aumento no interesse por parte da sociedade, de modo a promover a ascensão de técnicas de manejo, que visam um maior equilíbrio do ecossistema sem que haja, no entanto, redução da produção. Dentre as técnicas de manejo com maior visibilidade na atualidade, podem-se citar a agricultura orgânica, a produção integrada e os sistemas agroflorestais, sempre buscando a sustentabilidade da produção, isto é, considerando viabilidade técnica, econômica e ambiental.

3.2. SISTEMAS AGROFLORESTAIS

Considerando a crescente demanda por produtos agrícolas, anteriormente discutida, surge a necessidade de se buscarem técnicas de manejo que conciliem produção e conservação ambiental. Alternativas como a agricultura sustentável vêm demonstrando cada vez mais viabilidade técnica e minimização dos impactos negativos. Neste contexto, os sistemas agroflorestais (SAFs) surgem como uma opção sustentável, ao combinar simultaneamente ou sequencialmente cultivos

agrícolas com espécies florestais e/ou animais, utilizando a mesma área e outras técnicas de manejo compatíveis (GAMA RODRIGUES, 2006).

Nas regiões tropicais, a maioria das espécies agrícolas é cultivada no sistema de monocultura, embora muitas espécies sejam tolerantes a certos níveis de sombreamento e se adaptem bem a sistemas de cultivo mistos (ILANY *et al.*, 2010).

O objetivo dos SAFs é a maximização e diversificação da produção por unidade de superfície, através da manutenção do potencial produtivo dos recursos naturais renováveis. De acordo com Macedo (1992), os SAFs preconizam o máximo aproveitamento da energia solar através da multiestratificação diferenciada de uma grande variedade de espécies, que exploram os perfis vertical e horizontal da paisagem e promovem a recirculação dos nutrientes de maneira sustentável. As espécies arbóreas também favorecem a estabilidade do solo, com aumento do volume de raízes e fitomassa, promovendo redução da erosão e da perda de nutrientes. Além disso, as árvores mais altas propiciam o desenvolvimento de um microclima, com conseqüente amenização das temperaturas e ventos. Desta forma, devem ser escolhidas espécies adequadas, sendo desejáveis características como rápido crescimento, vida longa, adaptação às condições ecológicas da região, capacidade de fixar nitrogênio, copa vigorosa e com folhagem que permita a filtração dos raios solares, sistema radicular não superficial e que não concorra com as raízes das outras culturas, resistência a pragas e doenças, ter fuste ereto e não apresentar perdas das folhas nos períodos de geadas e ventos frios. É importante também que as espécies florestais utilizadas possuam diversidade de usos e produtos (FERNANDES, 1986; MACEDO, 1994).

3.3. CAFEICULTURA E SOMBREAMENTO

A cafeicultura é bastante tradicional no Brasil, estendendo-se por áreas que vão do norte ao sul do país, passando pelos Estados do Paraná, São Paulo, Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso, Espírito Santo, Bahia, Pará e Rondônia, o que rende ao país o título de maior produtor e exportador de café do mundo. No ano de 2011, o Brasil superou o dobro da produção do segundo maior colocado, o Vietnã, com mais

de 49 mil sacas de café, correspondendo a quase 40% da produção mundial. A exportação também foi bastante superior, de 26 mil sacas de café para o Brasil contra 19 mil do Vietnã (Figura 1).

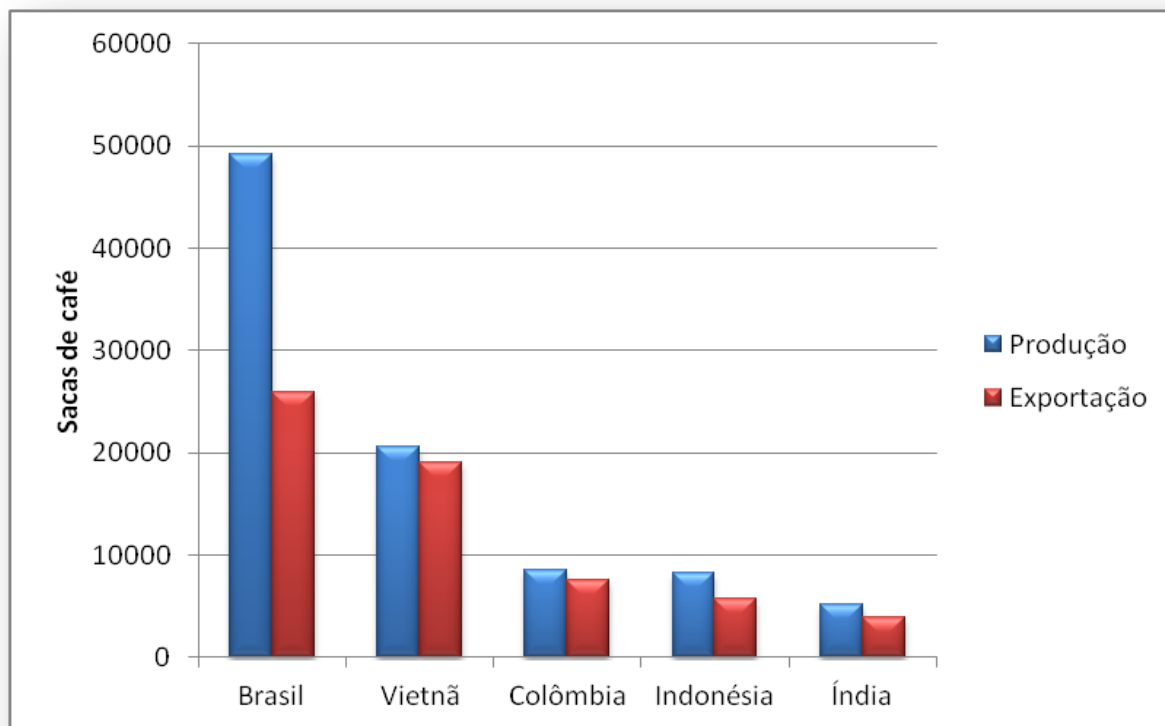


Figura 1 – Produção e exportação de café em 2011. (Fonte: USDA, 2011b)

No entanto, a grande diversidade edafoclimática e geomorfológica entre as regiões do país, bem como os diferentes níveis tecnológicos adotados pelos cafeicultores, exigem adaptações nas práticas e técnicas de cultivo.

Nos últimos anos, tem se intensificado a busca por sistemas de cultivo mais sustentáveis, considerando-se na produção, além da variável econômica, também a ambiental. Entretanto, a introdução de práticas mais sustentáveis, passa necessariamente pela viabilização econômica e aumento da rentabilidade do produtor, fatores essenciais para sua permanência na atividade (PETEK e PATRÍCIO, 2007).

O cafeeiro não tolera variações muito amplas de temperatura, sendo as condições ideais aquelas com temperatura entre 18 e 21°C, não ultrapassando a máxima de 24°C. A partir desta temperatura, há uma redução de 10% na produção

de matéria seca (RENA e MAESTRI, 1986; EVANOFF, 1994).

A variedade de café *Coffea arábica* L. é original das florestas tropicais da Etiópia e sul do Sudão. Com altitudes variando entre 1600 e 2800 m, a região apresenta clima úmido, temperaturas amenas, com média anual em torno de 20°C. Os estratos superiores da floresta promovem o sombreamento sobre os inferiores, de modo que o cafeeiro é, naturalmente, adaptado às condições de sombra. Entretanto, em suas condições naturais o café busca a sobrevivência através do equilíbrio entre a frutificação e o crescimento (MATSUMOTO, 2004). Deste modo, para garantir maior produtividade agrícola, os sistemas de cultivo tem passado por diversas alterações, buscando o incremento da frutificação e a adaptação da cultura às mais variadas condições, muitas vezes bastante diversas daquelas originais. Neste contexto, a utilização em larga escala de insumos na cafeicultura, destacando-se a fertilização química e o uso de defensivos, ampliou as fronteiras agrícolas e a produtividade, porém sem que fossem tomadas precauções para evitar danos ambientais.

No Brasil, o café é cultivado predominantemente em sistemas a pleno sol, muito embora a prática do cultivo de café sombreado seja tradicional em países como a Colômbia, visto que as condições edafoclimáticas são pouco favoráveis ao seu cultivo (CHAMORRO *et al.*, 1994). Já no México, o sistema tradicional de cultivo do café é caracterizado por diferentes combinações de espécies florestais e frutíferas tendo como um dos objetivos a promoção do sombreamento dos cafezais. Estes cultivos normalmente possuem arranjo espacial de 3 m X 3 m, enquanto as espécies florestais ocupam posições não definidas dentro da associação. Os tratos culturais são extremamente simples, não necessitando de aquisição de insumos externos, o que promove economia para o produtor e maior equilíbrio dentro do ecossistema (FLORES, 1979, citado por MAFRA, 1988). No Quênia, o cultivo de café com macadâmia em diferentes arranjos é bastante utilizado e sua viabilidade é atribuída ao fato de que essa espécie requer condições ambientais semelhantes às do café (NJOROGE e KIMEMIA, 1993)

O sombreamento dos cafezais promove alterações que modificam diversos componentes ambientais diretamente relacionados à produtividade, tais como a intensidade da radiação solar, a água e dos nutrientes do solo. Matiello *et al.* (1985)

realizaram estudos sobre as interferências da intensidade de sombreamento em cafezais e verificaram que a maior produção foi obtida com 50 e 75% de sombra. Intensidades de sombreamento de 25 e 100% proporcionaram produção média, e a menor produção foi obtida com o cultivo do café a pleno sol. Em experimento realizado por Lunz (2006) não foi verificada a existência de um nível de radiação ótimo para o crescimento e produtividade do café, mas de um ponto de estabilização, em torno de 70% de radiação, a partir da qual não houve aumento do desenvolvimento das plantas. O estudo constatou ainda que níveis moderados de sombreamento, com radiação entre 20 e 30% podem ser mais adequados para a cultura do cafeeiro, pois não prejudicam o crescimento das plantas e proporcionam melhor qualidade dos frutos.

Deve-se ressaltar, ainda, que o café cultivado simultaneamente com espécies arbóreas é capaz de aproveitar os nutrientes de camadas mais profundas do solo, uma vez que as outras plantas absorvem os nutrientes e promovem sua reciclagem, disponibilizando-os nas camadas superficiais, de modo que fiquem acessíveis às raízes dos cafeeiros (CHAMORRO *et al.*, 1994).

Entretanto, há controvérsias em relação à produtividade de café sombreado. Para Rena e Maestri (1986), o café cultivado a pleno sol produz mais gemas florais que o café sombreado, levando a uma tendência de maior produção. Estudos realizados por Matiello (1995) mostram que o sombreamento promove uma maior estabilidade de produção no decorrer dos anos, evitando picos de alta produtividade em anos alternados. Assim, ocorre um aumento na vida produtiva dos cafeeiros, em função da diminuição do depauperamento das plantas nos anos de produtividade elevada, comum nos plantios convencionais. No entanto, há uma tendência de redução da produtividade média, que é compensada pela regularização da produção, permitindo melhores previsões por parte do produtor.

Embora ainda existam divergências quanto aos níveis de radiação que possam maximizar a produtividade, muitas são as vantagens verificadas do ponto de vista ambiental, uma vez que o sombreamento propicia melhor equilíbrio ao ecossistema. Assim, o cultivo de café em SAFs pode ser bastante vantajoso quando aplicado a regiões marginais, nas quais o cultivo convencional seria economicamente inviável em função da ocorrência de condições ambientais

impróprias ao cafeeiro, como temperaturas muito elevadas, ventos fortes e geadas. Em experimento realizado no sul de Minas Gerais, verificou-se que as geadas não afetaram os cafeeiros sob proteção de *Grevillea*, de modo que a proteção foi total nos cafeeiros existentes em um raio aproximado de 8 m, a partir de cada árvore de *Grevillea* (MATIELLO, 1995).

Outras vantagens, além da proteção contra eventos climáticos extremos, são apreciadas em SAFs. Fassbender (1993) afirma que as espécies arbóreas dos SAFs interceptam a água da chuva, reduzindo sua velocidade e aumentando sua infiltração no solo, o que reduz a ocorrência da erosão e propicia ao café uma condição ecológica mais favorável, diminuindo, conseqüentemente, a necessidade do uso de agrotóxicos, o que contribui, indiretamente, para menores níveis de contaminação do solo e das águas subterrâneas. Além disso, os SAFs normalmente oferecem ao produtor uma ou mais fontes alternativas de renda, por meio da extração de produtos como frutos, madeira, carvão, látex, dentre outros, que são provenientes das espécies arbóreas consorciadas. Deste modo, o produtor não sofre tanto com as variações cíclicas das cotações do café (BREGONCI e PELISSARI, 1995).

De acordo com Beer *et al.* (1998) e Da Matta (2004), a utilização de culturas arbóreas para promover o sombreamento do cafezal deve ocorrer apenas em situações nas quais as condições climáticas intensas (altas ou baixas temperaturas, secas prolongadas ou ventos fortes), não permitiriam o aproveitamento de áreas marginais para a agricultura. No entanto, Fernandes (1986) acredita que a arborização do cafezal, quando conduzida de forma adequada, pode apresentar diversas vantagens, dentre as quais destacam-se a produção de frutos maiores, o aumento da quantidade de ramos primários, que promovem maior capacidade produtiva, a minimização dos efeitos adversos do vento e manutenção de um ambiente equilibrado, favorecendo a produção. Estudos mostram, ainda, que plantas jovens de café crescem melhor e acumulam mais matéria seca em condições de sombreamento moderado, que também propicia ao cafezal um microclima mais adequado ao seu desenvolvimento e produção (FOURNIER, 1988; SCHALLER *et al.*, 2003; SOTO PINTO *et al.*, 2002).

A quantidade de radiação solar que atinge o cafeeiro em um SAF, em função

da forma, estratificação e constituição do dossel formado pelas espécies arbóreas, tende a definir condições microclimáticas particulares, que propiciam diferenças no balanço hídrico, de radiação e de energia, promovendo modificações morfológicas nas plantas (ANGELOCCI, 2002; GOMES, 2004). Segundo Black e Ong (2000), se é observada limitação no crescimento da planta não relacionada à falta de água ou nutrientes, é possível que o desenvolvimento esteja sendo influenciado pela quantidade de energia radiante interceptada pela folhagem.

De maneira análoga, as plantas daninhas também são influenciadas pelo sombreamento. Um estudo realizado no México concluiu que a presença de sombreamento propiciou uma redução do incremento da biomassa das plantas daninhas, tanto na estação seca quanto na chuvosa. Além disso, a presença das árvores nos SAFs aumenta a variabilidade de espécies, com diferentes necessidades nutricionais, promovendo um maior aproveitamento dos recursos existentes e, conseqüentemente, aumentando o controle das plantas invasoras (NESTEL e ALTIERI, 1992).

Embora muitos estudos busquem verificar os efeitos do sombreamento sobre os cultivos, ainda não há grandes esclarecimentos acerca dos mecanismos fisiológicos responsáveis pelas diferenças entre plantas adaptadas à sombra e ao sol. Sabe-se, no entanto, que as folhas de espécies adaptadas à sombra geralmente contém mais clorofila, em peso, e são mais finas, o que pode tornar mais eficiente a utilização da luz. Assim, a eficiência quântica das folhas de plantas cultivadas sob sombreamento é maior do que no caso daquelas que são cultivadas expostas ao sol (KOZLOWSKI *et al.*, 1991; GOMES *et al.*, 2004).

Além dos efeitos do sombreamento sobre as culturas, proporcionado pelas espécies arbóreas nos SAFs, devem-se considerar, ainda, os efeitos sobre o solo. Segundo Haag (1975) e Young (1976), os solos e a vegetação estão intrinsecamente relacionados. O solo exerce grande influência sobre o tipo de comunidade vegetal, visto que esta deve ser adaptada às características como fertilidade, porosidade e pH. Analogamente, a vegetação promove alterações no solo, uma vez que fornece diferentes quantidades e qualidades de matéria orgânica, além de retirar água e nutrientes. A matéria orgânica é responsável por um grande número de alterações no solo. A principal característica física do solo afetada pela

quantidade de matéria orgânica é a agregação, o que conseqüentemente, promove melhorias em características como a porosidade, a aeração, a capacidade de retenção de umidade, entre outras (BAYER e MIELNICZUK, 2008). Além disso, as raízes são grandes responsáveis pela estabilização do solo, uma vez que se ramificam através das partículas de solo, promovendo a formação de agregados (WOHLENBERG *et al.*, 2004).

Diversas são as características do solo que interferem diretamente na produtividade agrícola, ao fornecerem condições para o desenvolvimento adequado das plantas. Dentre elas, podem-se citar a estrutura, a distribuição dos poros, a profundidade efetiva, a condutividade hidráulica, a fertilidade e o conteúdo de matéria orgânica. A vegetação exerce grande influência em todas estas características, visto que fornece proteção contra erosão, picos de temperatura e perda da umidade, melhora a estrutura por meio da adição de material orgânico e promove a reciclagem de nutrientes. Assim, os consórcios entre espécies agrícolas e florestais podem gerar uma grande variedade de benefícios ao solo. Babbar e Zak (1994) demonstraram que a conservação do nitrogênio é maior em lavouras de café sombreadas do que naquelas cultivadas a pleno sol, visto que há melhor aproveitamento nutricional e redução das perdas por lixiviação. A fitomassa depositada na superfície do solo fornece condições mais amenas às camadas superficiais, pois mantém a temperatura e a umidade mais estáveis. Tal fato, aliado à disponibilidade de material orgânico proveniente da decomposição de resíduos vegetais e dos exsudados radiculares, propiciam um ambiente adequado e uma fonte de energia que estimulam a atividade microbiana (CARPANEDO e MIELNICZUK, 1990).

Considerando-se estas relações tão complexas, torna-se de grande importância o estudo de sistemas de cultivo e técnicas de manejo, principalmente sob a ótica ecológica, uma vez que pequenas alterações podem acarretar grandes avanços na busca por situações ambientalmente mais equilibradas na produção agrícola.

3.4. BIOLOGIA DO SOLO

Segundo Doran e Parkin (1994), a qualidade do solo pode ser descrita através de sua capacidade de exercer múltiplas funções, dentre as quais podem-se citar a sustentação da produtividade biológica, a manutenção do fluxo energético e a ciclagem de nutrientes, sendo o equilíbrio destas funções fundamental para a qualidade ambiental e saúde dos seres vivos.

A serrapilheira é uma camada que se forma sobre o solo por meio da deposição de matéria orgânica. Essa camada acumula material orgânico de diferentes fontes e em diferentes estágios de decomposição, promovendo uma importante fonte de nutrientes. Além disso, a serrapilheira é responsável pela melhoria da qualidade física do solo, uma vez que a matéria orgânica possui capacidade de agregação das partículas do solo, atenuando processos erosivos; a camada atua protegendo o solo do impacto das gotas de chuva e promove isolamento térmico, reduzindo, respectivamente, a lixiviação e a perda de água por evaporação (CORREIA e ANDRADE, 2004). Ainda segundo os autores, quanto maior a diversidade de espécies vegetais, mais heterogênea será a serrapilheira, promovendo condições adequadas para um maior número de espécies de fauna.

O sistema solo-serrapilheira oferece uma grande variedade de recursos e microhabitats, permitindo o desenvolvimento de organismos dos mais diversos tamanhos e grupos funcionais (LAVELLE *et al.*, 1992; LAVELLE, 1996).

Quanto ao tamanho, a fauna edáfica pode ser classificada em microfauna, mesofauna e macrofauna. A microfauna do solo é composta por microrganismos, cujo diâmetro varia de 4 a 100 μm , que atuam na ciclagem de nutrientes (WARDLE e LAVELLE, 1997; MOÇO *et al.*, 2005). Algumas propriedades do solo relacionadas à microfauna (ou microbiota) podem ser utilizadas como indicadores da qualidade ambiental, auxiliando no planejamento e escolha de práticas de manejo, uma vez que são sensíveis às alterações do meio (ALCANTARA *et al.*, 2007). Dentre elas, podem-se citar a biomassa microbiana, a taxa de respiração e quociente metabólico.

A biomassa microbiana do solo é representada por bactérias e fungos, que

são os principais responsáveis pela decomposição da matéria orgânica do solo e pela ciclagem de nutrientes (JENKINSON e LADD, 1981). De acordo com Almeida *et al.* (2007), a maior diversidade da cobertura promove um aumento da biomassa.

A atividade ou respiração basal do solo consiste na medida da produção de CO₂ resultante da atividade metabólica da microbiota do solo e de raízes vivas (TÓTOLA e CHAER, 2002). Segundo Almeida *et al.* (2007), a respiração basal é dependente do manejo, da cobertura vegetal e, conseqüentemente, da umidade, temperatura e aeração do solo.

O quociente metabólico representa a quantidade de CO₂ liberado por unidade de biomassa microbiana em determinado tempo (BALOTA *et al.*, 1998). Assim, quanto mais eficiente for a biomassa, menos carbono é perdido na forma de CO₂, de modo que os menores valores de quociente metabólico indicam, geralmente, ambientes mais equilibrados; analogamente, valores maiores podem ser indicativos de situações de estresse.

Já a mesofauna é composta por animais com diâmetro corporal entre 100 µm e 2 mm, que se movimentam nos poros do solo e em sua interface com a serrapilheira. São exemplos de organismos da mesofauna Acari, Collembola, Palpigradi, Protura, Pauropoda, Diplura, Enchytraeidae e Symphyla. Desempenham no solo atividades como a decomposição da matéria orgânica, produção de húmus, ciclagem de nutrientes e energia; e, produção de complexos que causam agregação do solo, entre outros (HOFFMANN, *et al.*, 2009).

A macrofauna do solo, por sua vez, é composta por animais cujo diâmetro corporal varia entre 2 e 20 mm, como minhocas, cupins, formigas, centopéias, grilos etc., visíveis a olho nu, com grande mobilidade e que desempenham importantes papéis na fragmentação de resíduos vegetais, transporte de matéria orgânica e na estruturação do solo (SWIFT *et al.*, 1979 *apud* MOÇO *et al.*, 2005). Estes organismos possuem grande influência sobre a cadeia alimentar, ocupando diferentes níveis tróficos. Além disso, participam de ciclos biogeoquímicos, por meio da decomposição e ciclagem de nutrientes, e interferem no desenvolvimento do solo, características que os permitem modificar, física e quimicamente, o ambiente em que vivem (MELO *et al.*, 2009; KLENK, 2010; CORREIA e ANDRADE, 2004).

Alguns grupos de organismos, como Formicidae, Oligochaeta, Coleoptera e Isoptera, também são conhecidos como “engenheiros do solo”, uma vez que suas atividades contribuem para a formação de galerias, câmaras e outras estruturas biogênicas, capazes de modificar as propriedades físicas dos solos, formando agregados estáveis, que podem proteger a matéria orgânica de uma rápida decomposição, promovendo uma reserva nutricional para as plantas (WOLTERS, 2000; LAVELLE e SPAIN, 2001). Por outro lado, a macrofauna do solo também pode ser influenciada pelas características físicas, químicas e biológicas do solo (MELO *et al.*, 2009; KLENK, 2010). A manutenção da cobertura vegetal na superfície do solo favorece a diversidade da macrofauna edáfica e a atividade dos organismos engenheiros do ecossistema (BARROS *et al.*, 2003).

Em função da grande sensibilidade às alterações ambientais, estes organismos vêm sendo utilizados como bioindicadores da qualidade do solo, podendo alertar quanto aos distúrbios provocados pelas atividades antrópicas (TURCO e BLUME, 1999 *apud* CORDEIRO *et al.*, 2004).

A avaliação da macrofauna em um determinado ambiente pode ser realizada levando-se em conta aspectos quantitativos ou qualitativos. Para tanto, podem ser utilizados índices ecológicos que simplificam a análise de dados. Dentre os principais índices utilizados para avaliar a macrofauna podem-se citar o índice de Shannon (H), o Índice de Pielou (e) e o Índice de Riqueza (D).

O índice de riqueza representa o número de espécies em um ambiente. Já o índice de Pielou representa a equitabilidade entre os grupos taxonômicos, isto é, o quão semelhante é a distribuição do número de indivíduos entre as espécies (KLENK, 2010). O índice de Shannon representa a diversidade de espécies em um ambiente, isto é, a variedade de espécies presentes no ambiente estudado, relacionando os índices de riqueza e equitabilidade. É uma característica bastante desejada, não só do ponto de vista ambiental, como também no que tange à área agrícola, pois representa equilíbrio e impede a proliferação de pragas e a destruição da estrutura do solo (KLENK, 2010).

De acordo com Melo *et al.* (2009), os índices acima mencionados avaliam diferentes aspectos da diversidade da fauna edáfica e apresentam bom padrão de resposta para comparações de diferentes situações ambientais. Isto pode ser

explicado, em parte, pelo fato de que a comunidade da macrofauna edáfica é fortemente influenciada pela ação antrópica, uma vez que sua abundância e diversidade variam em função da modificação da qualidade e quantidade da matéria orgânica (LAVELLE *et al.*, 1992; CORDEIRO *et al.*, 2004).

4. METODOLOGIA

4.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área onde foi instalado o experimento é uma lavoura cafeeira em sub-bosque de araucária, situada no município de Pedralva / MG, a 35 km de Itajubá (22°14'S, 45°28'W). O município encontra-se a 911 metros de altitude e possui uma população aproximada de 11 mil habitantes. O clima da região é o tropical de altitude.

O café cultivado é o Catuaí Vermelho, plantado em 1976. Devido à ocorrência de geadas na região, que acabava por acarretar danos para a plantação, optou-se pelo plantio de araucárias em 1979, com espaçamento de quatro metros entre linhas e quatro metros entre plantas. Posteriormente, com o desenvolvimento das árvores, a produção dos cafeeiros ficou prejudicada pelo excesso de sombreamento, optando-se pelo desbaste de algumas das araucárias.

A área foi, por ocasião da instalação do trabalho, dividida em três glebas distintas (Figura 2), considerando-se o grau de sombreamento que já existia naturalmente no local: café com sombreamento intenso (CSI), café com sombreamento médio (CSM) e café a sol pleno (CSP). Cada gleba possui área com cerca de 0,4 ha. A atual configuração do terreno tem os pés de café plantados com espaçamento de 4,0 metros entre linhas e 2,5 metros entre plantas, nos tratamentos CSM e CSI; e 2,0 metros entre linhas e 1,25 metros entre plantas no tratamento CSP. Já as araucárias tem espaçamento de 8,0 metros entre linhas e 4,0 metros entre plantas no tratamento CSM; e 4,0 metros entre linhas e 4,0 metros entre plantas no tratamento CSI. O solo da região foi classificado como Argissolo Vermelho distrófico, sendo o relevo local ondulado (Figura 3).

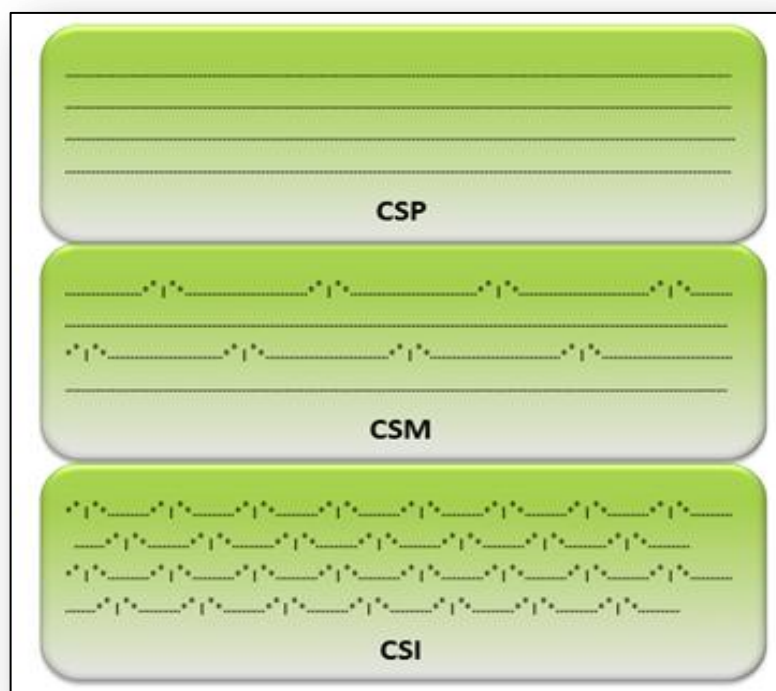


Figura 2 – Esquema da distribuição da araucária na lavoura de café.

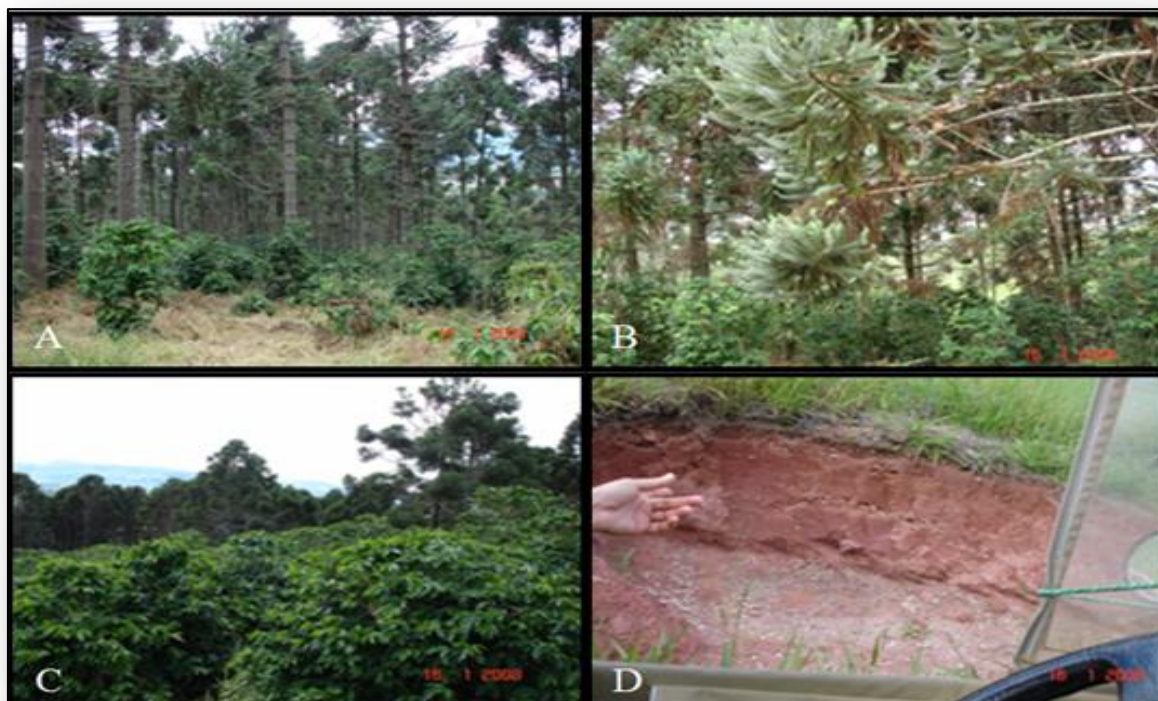


Figura 3 – Lavoura de café em diferentes condições de sombreamento e perfil do solo na área do ensaio. A = café com sombreamento médio; B = café com sombreamento intenso; C = café a sol pleno; D = Perfil de Argissolo Vermelho distrófico.

4.2. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS E FÍSICAS DO SOLO

Para avaliação das características químicas do solo foram retiradas amostras de 0-10 e 10-30 cm de profundidade. Cada amostra foi composta por cinco subamostras retiradas dentro das áreas úteis. A avaliação foi feita por dois anos consecutivos, caracterizando uma repetição no tempo. No total, foram retiradas 36 amostras, considerando-se os três tratamentos, três repetições, duas profundidades e dois anos. Como a UNIFEI não possui laboratório para análise da fertilidade do solo, as amostras foram encaminhadas para o Laboratório de Solos da Universidade Federal de Lavras – UFLA, onde foram determinados: pH; acidez potencial e alumínio trocável ($H + Al$ e Al^{+3} - $cmol_c.dm^{-3}$); bases trocáveis (Ca^{+2} e Mg^{+2} - $cmol_c.dm^{-3}$); potássio, fósforo e enxofre disponíveis (K^+ , P e S - $mg.dm^{-3}$); capacidade de troca de cátions efetiva e potencial (t e T - $cmol_c dm^{-3}$); soma de bases trocáveis (SB - $cmol_c.dm^{-3}$); saturação por bases (V - %); matéria orgânica (MO – $dag.kg^{-1}$) e micronutrientes (Zn , Mn e B - $mg.dm^{-3}$). Todas as análises foram desenvolvidas de acordo com as metodologias propostas pela Embrapa (1997). As características obtidas na análise química do solo, para as duas profundidades, foram comparadas às faixas de referência sugeridas como de nível bom pela 5ª Aproximação da Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais (CFSEMG, 1999), para a cultura do cafeeiro.

As propriedades físicas do solo também foram avaliadas nas profundidades de 0-10 e 10-30 cm. A densidade total do solo e o volume total de poros (VTP) foram determinados a partir de amostras indeformadas, retiradas com o amostrador de Uhland na entrelinha dos cafeeiros; a estabilidade de agregados em água, a partir de amostras não destorroadas, segundo metodologia preconizada pela Embrapa (1997), expressa por valores de diâmetro médio geométrico (DMG) e diâmetro médio ponderado (DMP). As análises das propriedades físicas do solo foram realizadas no Laboratório de Solos do Instituto de Recursos Naturais da UNIFEI. De forma semelhante às análises químicas, a amostragem para análises físicas foi realizada por dois anos consecutivos, no início de cada ano. O total de amostras para as análises físicas foi de 36 por ano, sendo 18 retiradas com o amostrador de Uhland (amostras indeformadas) e 18 retiradas com enxadão (amostras não destorroadas).

Cabe ressaltar que foram realizadas análises de textura no solo local, e foi constatado que o solo se enquadra na classe textura média.

4.3. FITOMASSA

Para a determinação da fitomassa (que se constitui de toda a serrapilheira mais as plantas que compõem a área amostrada), determinaram-se, em campo, locais representativos da fitomassa da gleba. Assim, fixou-se uma estrutura metálica, de dimensões 0,5 m X 0,5 m e, com o auxílio do podão e do enxadão, foi coletada a cobertura vegetal que se encontrava no interior do quadrado. Toda a fitomassa retirada foi então armazenada em saco de papel previamente identificado (Figura 4). O procedimento descrito foi realizado para as três diferentes condições da lavoura de café (CSI, CSM, CSP), sendo realizadas três repetições em cada uma delas, totalizando nove amostras por ano.



Figura 4: Ferramentas utilizadas para coleta da fitomassa.

Os sacos de papel contendo as amostras de fitomassa foram levados para uma estufa a 70°C com ventilação forçada, onde ficaram até a obtenção de peso constante. Atingido o peso constante, foram tomados os valores da última pesagem para cálculo da produção por hectare. As amostras foram então passadas por

moinho para que o material, em pó, fosse enviado para o Laboratório de Análise Foliar da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais – Centro Tecnológico do Sul de Minas (EPAMIG / CTSM), em Lavras, MG, para realização das análises químicas (N, P, K, Ca, Mg e S, em g/kg; e B, Cu, Mn e Ze, em mg/kg). A destilação do nitrogênio foi realizada por meio do método micro-Kjeldhal (EMBRAPA, 1997). Já os extratos da matéria seca foram preparados segundo Hunter (1975). Fósforo e boro foram determinados por colorimetria (azul de molibidênio e curcumina, respectivamente); potássio por fotometria de chama; cálcio, magnésio, cobre zinco, manganês e ferro por espectrofotometria de absorção atômica (SARRUGE e HAAG, 1974). Para uma melhor caracterização da produção de fitomassa, foram realizadas duas coletas com intervalo de um ano, no início de cada ano, proporcionando uma repetição no tempo.

4.4. ANÁLISE FOLIAR

Foram coletadas amostras de folhas dos cafeeiros, nos três diferentes tratamentos e em dois anos. As folhas foram coletadas aleatoriamente, no terço médio de quatro das plantas da parcela útil de cada tratamento. As amostras foram lavadas e colocadas a secar em estufa a 70°C com circulação forçada de ar, até obtenção de peso constante, e em seguida moídas. Para destilação do nitrogênio, preparação dos extratos da matéria seca, determinação dos teores de fósforo, boro, potássio, cálcio, magnésio, cobre, zinco, manganês e ferro foram utilizadas as mesmas metodologias realizadas para análise de fitomassa, também no Laboratório de Análise Foliar da EPAMIG / CTSM, em Lavras, MG.

Para avaliação do estado nutricional dos cafeeiros, quanto aos macro e micronutrientes, foi realizada uma análise do Desvio do Ótimo Percentual (DOP) (MONTAÑÉZ *et al.*, 1993), que permite a obtenção do desvio, em porcentagem, do teor de cada nutriente observado na amostra em relação ao seu valor padrão, de acordo com a seguinte expressão:

$$DOP = [(Cx100)/C_{ref}] - 100$$

Onde C é o valor obtido na amostra e C_{ref} é o valor padrão de referência

preconizado por normas, obtido nas mesmas condições de amostragem, para a variável em análise. Os valores de referência utilizados nas análises do DOP são apresentados pela Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais – 5ª aproximação (CFSEMG, 1999), para a cultura do cafeeiro.

4.5. MICROBIOTA

A avaliação da respiração basal e do carbono da biomassa foi realizada por Neto (2011) de acordo com a metodologia descrita por Ferreira *et al.* (1999). Assim, empregou-se o método da irradiação/incubação, que tem por base a eliminação de microrganismos através da irradiação eletromagnética com a utilização do forno de micro-ondas, para posterior avaliação da quantidade de CO₂ liberada após incubação por 10 dias, à temperatura ambiente. Em seguida, as amostras foram tituladas com HCl, conforme metodologia adaptada de Anderson (1982). A coleta de amostras de solo para análise da biomassa microbiana também ocorreu em dois períodos distintos, com intervalo aproximado de um ano.

4.6. MACROFAUNA

As amostragens de material para levantamento da diversidade da macrofauna foram realizadas nas entrelinhas dos cafeeiros da área útil das parcelas, em dois anos consecutivos, no mês de julho. Foram realizadas três repetições por gleba. As amostras foram coletadas utilizando-se o método do TSBF (*“Tropical Soil Biology and Fertility”*) descrito por Anderson e Ingram (1993), que consiste em coletar o material de uma área de 25 cm x 25 cm. Para tanto, utilizou-se um molde metálico quadrado, seguindo as etapas de retirada nas profundidades: serrapilheira, 0-10 cm, 10-20 cm e 20-30 cm. Logo após coletadas, as amostras foram colocadas em bandejas e submetidas à extração manual dos animais (Figura 5). Com o auxílio de uma pinça, retiraram-se todos os animais visíveis (aranhas, formigas, diplopodas, minhocas etc.), os quais foram colocados em vidros contendo álcool 70%, com o fim

de conservá-los, para contagem e identificação.

Também foram instaladas 15 armadilhas de queda (*pitfall traps*) em cada gleba, sendo 5 armadilhas por repetição, que permaneceram no campo durante sete dias. Este método mede a atividade dos indivíduos epígeos (MOLDENKE, 1994). Embora nas armadilhas sejam capturados indivíduos de vários tamanhos, esse método tem sido utilizado para complementar as informações obtidas sobre macrofauna do solo com o método do TSBF. A amostragem consistiu na colocação de recipientes de cerca de 10 cm de altura e 10 cm de diâmetro no nível do solo, com capacidade de 500 mL, de tal forma que, os animais ao se locomoverem, caíssem acidentalmente nesses recipientes. Os frascos foram preenchidos com aproximadamente 200 mL de formol 4%, para que os animais não fugissem e fossem conservados.



Figura 5 – Triagem manual da macrofauna.

Tanto os recipientes com os animais coletados pelo método TSBF quanto pelo método *Pitfall* foram levados ao laboratório para que, com auxílio de uma lupa, os animais pudessem ser contados e devidamente identificados.

4.7. PRODUÇÃO DE GRÃOS

A avaliação da produção dos cafeeiros foi realizada por dois anos consecutivos (2009 e 2010), no mês de junho. Consistiu na colheita por derricha manual sobre pano (Figura 6), como tradicionalmente é feito no sul de Minas Gerais, de cinco plantas da parcela útil de cada tratamento, com três repetições. Após a retirada das folhas e galhos, o café foi pesado, perfazendo a produção de “café da roça”. O café da roça foi submetido à secagem em terreirão até que atingisse cerca de 12% de umidade, sendo então beneficiado. Após o beneficiamento, os grãos foram pesados, obtendo-se a produção de café beneficiado de cada tratamento. De posse destes dados, foi estimada a produtividade em sacas de café beneficiado por planta, dividindo-se os valores encontrados por cinco plantas.



Figura 6 – Colheita do café por derricha manual sobre pano.

4.8. RADIAÇÃO

Para avaliação dos fluxos de radiação no local de estudo foram realizadas medidas sistemáticas utilizando-se os seguintes sensores fabricados pela *Li-Cor Biosciences*: LI-190 (*Quantum Sensor*) e LI-191 (*Line Quantum Sensor*), para medidas da radiação fotossinteticamente ativa (PAR) em ambientes abertos e sob cobertura de dosséis, respectivamente. Por possuir o formato de uma barra, o sensor LI-191 foi capaz de fazer a medição de forma linear, identificando as possíveis diferenças nos níveis de radiação provocadas pelo dossel. Os dados foram coletados ao longo de 30 dias a cada 15 minutos, por dois *Data loggers*, sendo transferidos para o computador a cada visita ao experimento. A coleta foi realizada em períodos representativos da estação chuvosa e seca, nos meses de janeiro e maio de 2011, respectivamente. O local de montagem do aparato contendo o sensor foi cuidadosamente escolhido, a fim de caracterizar de forma eficaz as três glebas da área de estudo (Figura 7).



Figura 7 – Sensor LI-191 nos diferentes níveis de sombreamento: A = café com sombreamento intenso; B = café com sombreamento médio; C = café a sol pleno.

O sensor LI-190 ficou exposto ao sol, sem interferência de sombreamento, como recomenda o fabricante, ao longo de toda coleta de dados, conforme mostrado na Figura 8.

O sensor LI-191 foi posicionado sob o dossel, por período aproximado de 10 dias em cada um dos tratamentos sombreados e, em seguida, foi também exposto a sol pleno, com o objetivo de comparar os valores medidos de radiação com aqueles obtidos pelo sensor LI-190.

Deste modo, a atenuação (A) de radiação foi inferida pelo quociente entre os fluxos de radiação medidos pelos sensores LI-190 e LI-191, dada pela equação:

$$A = \frac{(\text{PAR}_{\text{LI-191}} - \text{PAR}_{\text{LI-190}})}{\text{PAR}_{\text{LI-190}}} \cdot 100 [\%]$$



Figura 8 –Sensor LI-190 posicionado sem interferência de sombreamento.

Para estabelecer uma correlação entre os dados coletados pelo sensor LI-191 (*Line Quantum Sensor*) e o efeito do dossel das araucárias foram tiradas fotografias que capturassem a situação de sombreamento à qual o sensor estava exposto nas glebas CSI e CSM (Figura 9).

Com a finalidade de estipular um erro para o método, foram também efetuadas fotografias a céu aberto em condições de nebulosidade, na gleba CSP. Todas as imagens foram tratadas nos *softwares Global Mapper 11™* (GLOBAL

MAPPER SOFTWARE LCC, 2011) e *ArcGis 9.3™* (ESRI, 2008) , através dos quais foi possível converter os pixels em tons de preto e branco para inferir, a partir da relação entre as duas cores, a proporção da área sombreada pelo dossel.

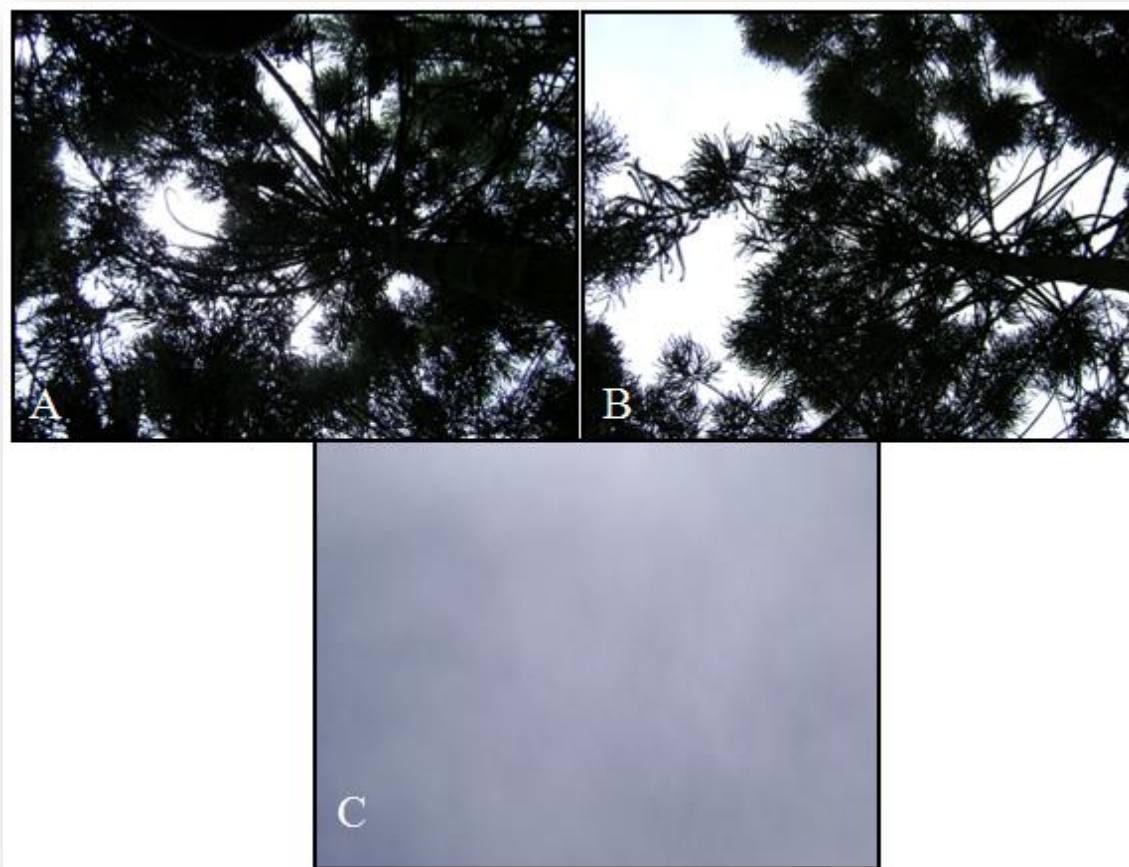


Figura 9 – A = Fotografia efetuada sob o dossel no tratamento CSI; B = Fotografia efetuada sob o dossel no tratamento CSM; C = CSP sob condição de nebulosidade.

4.9. DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E ANÁLISES DE DADOS

No presente ensaio, foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado (DIC), considerando-se a pequena dimensão da área e o declive pouco acentuado, que conferem características homogêneas ao local de estudo. Foram realizadas

análises de variância (ANOVA), de acordo com os modelos apresentado nas Tabelas 2 a 4. O *software* utilizado para a realização destas análises foi o *R 2.10.1* (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2010).

Para a macrofauna, após a contagem dos indivíduos, foram calculados os índices de Shannon (H), Pielou (e) e Riqueza (D) para cada amostra.

Para a série temporal dos dados referentes à radiação, foram efetuadas análises de correlação e regressão e utilizadas técnicas como o Boxplot, por meio do *software Microsoft Office Excel™* (MICROSOFT, 2007), para evidenciar o comportamento dos dados referentes à área sombreada.

Tabela 2 – Análise de variância dos experimentos em duas profundidades (análises físicas e químicas do solo).

Causas da variação	Graus de liberdade
Sombreamento	2
Profundidade	1
Sombreamento : Profundidade	2
Resíduo	30
TOTAL	35

Tabela 3 – Análise de variância do experimento em quatro profundidades (macrofauna).

Causas da variação	Graus de liberdade
Sombreamento	2
Profundidade	3
Sombreamento : Profundidade	6
Resíduo	60
TOTAL	71

Tabela 4 – Análise de variância dos experimentos somente em uma profundidade (produção, fitomassa, microbiota, macrofauna e análise foliar).

Causas da variação	Graus de liberdade
Sombreamento	2
Resíduo	15
TOTAL	17

Para as análises multivariadas foi necessário, inicialmente, que os dados fossem padronizados, uma vez que as unidades de medida das variáveis analisadas eram completamente distintas. Assim, os dados foram normalizados, subtraindo-se de cada valor a média dos valores e dividindo-se o resultado pelo desvio padrão.

Em seguida, para a realização da análise de componentes principais, foram selecionadas as variáveis que apresentaram maior correlação entre si, o que foi verificado por meio da matriz de correlação. O *software* utilizado para todas as análises multivariadas foi o *Statistica 10 Trial Version*TM (STATSOFT, 2010).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. ANÁLISES FÍSICAS E FERTILIDADE DO SOLO

Os testes de médias realizados com os resultados das análises físicas do solo são apresentados na Tabela 5. Verifica-se que o volume total de poros (VTP) foi superior na gleba CSM, o que concorda com o valor inferior encontrado para a densidade total do solo. Tal fato pode ser justificado em função da razoável quantidade de matéria orgânica presente nesta gleba (Tabela 6), o que confere boas características físicas ao solo. Segundo Bayer e Mielniczuk (2008), a matéria orgânica do solo é responsável pelo aumento na agregação das partículas, elevando a porosidade do solo e melhorando sua estabilidade. Estudo realizado por Cunha (1995) mostra que há um acréscimo na densidade do solo sob cultura de café, quando comparado à mata natural, o que o autor atribui à redução do aporte de matéria orgânica e à menor interceptação das gotas de chuva na ausência da mata nativa. Embora a presença de matéria orgânica seja também elevada na gleba CSI (Tabela 6), a configuração mais densa das árvores reduz a passagem de luz solar, o que pode influenciar na degradação deste material orgânico, ficando este sob a forma de serrapilheira depositado acima do solo. Este fato é confirmado pelos valores de matéria orgânica encontrados nas amostras (Tabela 6), que foram superiores na gleba CSM e inferiores na CSP, ficando intermediários na CSI.

Estudo realizado por Campos *et al.* (1995), em um Latossolo Vermelho-Escuro, mostra que há significativa correlação entre o diâmetro médio geométrico dos agregados e os teores de carbono orgânico no solo. Entretanto, os valores encontrados de diâmetro médio geométrico (DMG) e diâmetro médio ponderado (DMP) indicam que há maior estabilidade do solo nas amostras retiradas da gleba CSI, provavelmente em função da elevada disponibilidade de matéria orgânica (Tabela 6). De acordo com Wohlenberg *et al.* (2004), as raízes desempenham um importante papel na estruturação do solo, o que pode ser representado pelo aumento do diâmetro dos agregados. Tal fato é corroborado pelo teste de médias realizado para as amostras em diferentes profundidades: as amostras mais

superficiais apresentam maior estabilidade do que as mais profundas, para todas as glebas, o que indica relação direta da estabilidade do solo com a concentração de material orgânico.

Tabela 5 – Resultados das análises físicas das amostras do solo: Volume total de poros (VTP %), Densidade do solo (DS g.cm⁻³); Diâmetro médio geométrico (DMG mm); Diâmetro médio ponderado (DMP mm). Pedralva/MG, 2010.

Sombreamentos/ Profundidades ¹	VTP	DS	DMG	DMP
	---- % ----	--- g.cm ⁻³ ---	----- mm -----	
CSP	41,80 b	1,51 a	3,27 b	4,05 b
CSM	53,38 a	1,23 b	2,98 b	3,83 b
CSI	40,72 b	1,49 a	3,99 a	4,55 a
0-10	44,79 a	1,38 a	4,34 a	4,75 a
10-30	45,14 a	1,41 a	2,48 b	3,53 b

¹ Sombreamentos, onde, CSP = café a sol pleno; CSM = café com sombreamento médio; CSI= café com sombreamento intenso; Profundidades de amostragem: 0 a 10 cm, 10 a 30 cm. Médias seguidas de mesmas letras na coluna (dentro de cada sombreamento e cada profundidade) não diferem entre si pelo teste de Duncan (P<0,05).

No caso das análises químicas (Tabela 6), destaca-se a acidez potencial (H+Al), que foi maior na gleba CSM, assim como a CTC potencial (T), ambas opostas à saturação por bases. Já a soma de bases (SB) e a CTC efetiva (t) foram superiores na gleba CSI, sendo os menores valores encontrados no tratamento CSM. Trabalho realizado por Bayer e Mielniczuk (1997) aponta correlação significativa entre a CTC efetiva e a concentração de carbono orgânico no solo. Verifica-se que a soma de bases, a CTC, o pH e a saturação por bases são superiores na profundidade entre 0 e 10 cm, o que também está relacionado à maior concentração de MO nesta região.

A saturação por bases (V) foi inferior a 50% no tratamento CSM, o que, de acordo com a Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais – 5ª aproximação para a cultura de café (CFSEMG, 1999), sugere a necessidade de calagem. Estes resultados indicam que, embora exista elevada CTC potencial, a fertilidade do solo ainda é relativamente baixa. Severino e Oliveira (1999) observaram que alguns sistemas agroflorestais com café são capazes de fornecer nutrientes para sustentar a produção da lavoura, por meio da decomposição da

serrapilheira. No entanto, acredita-se que o sombreamento do café por araucárias proporciona, ainda, baixa variabilidade de plantas, o que pode influenciar na qualidade da serrapilheira e na diversidade de nutrientes incorporados ao solo.

Tabela 6 – Resultados das análises químicas das amostras do solo: pH = potencial Hidrogeniônico (adimensional); H+Al = acidez potencial (cmol/dm^3); Al = Alumínio (cmol/dm^3); SB = soma de bases (cmol/dm^3); t = CTC efetiva (cmol/dm^3); T = CTC potencial (cmol/dm^3); V = saturação por bases (%); MO = matéria orgânica (dag/dm^3). Pedralva/MG, 2010.

Sombreamentos/ Profundidades ¹	pH	H+Al	Al	SB	t	T	V	MO
		---- cmol/dm^3 ----			----- cmol/dm^3 -----		---- % ----	- dag/dm^3 -
CSP	6,11 b	2,327 b	0,600 a	5,10 b	5,18 b	7,53 b	65,33 a	2,28 b
CSM	5,36 c	6,368 a	0,075 b	3,48 c	4,08 c	10,25 a	34,46 b	2,70 a
CSI	6,43 a	2,134 b	0,042 b	6,20 a	6,23 a	8,37 b	72,53 a	2,35ab
0-10	6,12 a	2,713 b	0,067 b	6,60 a	6,67 a	9,70 a	68,28 a	2,95 a
10-30	5,81 b	3,632 a	0,410 a	3,26 b	3,66 b	7,73 b	46,6 b	1,93 b

¹ Sombreamentos, onde, CSP = café a sol pleno; CSM = café com sombreamento médio; CSI= café com sombreamento intenso; Profundidades de amostragem: 0 a 10 cm, 10 a 30 cm. Médias seguidas de mesmas letras na coluna (dentro de cada sombreamento e cada profundidade) não diferem entre si pelo teste de Duncan ($P < 0,05$).

Com relação aos macro e micronutrientes (Tabela 7), observa-se que, de maneira geral, sua concentração é maior na camada de solo mais superficial e menor na gleba CSM. Tal fato também relaciona-se com a maior quantidade de matéria orgânica em superfície, proveniente da decomposição da serrapilheira, visto que esta é a única fonte de nutrientes na área. As glebas CSI e CSP apresentaram bastantes variações quanto às concentrações dos nutrientes, que foram maiores ora na CSP ora na CSI.

Por meio de comparação dos resultados obtidos com os valores de referência apontados pela Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais – 5ª aproximação (CFSEMG, 1999) para a cultura de café verifica-se que o teor de P é considerado muito bom para os tratamentos CSP e CSI ($>22,5 \text{ mg}/\text{dm}^3$), e médio para o tratamento CSM (entre $9,1$ e $15,0 \text{ mg}/\text{dm}^3$). Com relação à profundidade, verifica-se que, entre 0 e 10 cm, a concentração de P se enquadra como muito boa, enquanto entre 10 e 30 cm a classificação é boa. Estudo realizado por Martins (2003), em agroecossistemas orgânicos com produção de café, mostrou que a concentração de P na profundidade de 0 a 10 cm estava na faixa considerada ideal

para o cafeeiro, sendo inferior em maiores profundidades.

Já o K é considerado baixo para os três tratamentos, pois encontra-se abaixo de 60 mg/dm³ (CFSEMG,1999).

Tabela 7 – Macro e micronutrientes das amostras do solo. P = Fósforo (mg/dm³); K = Potássio (mg/dm³); Ca = Cálcio (cmol/dm³); Mg = Magnésio (cmol/dm³); S = Enxofre (mg/dm³); B = Boro (mg/dm³); Mn = Manganês (mg/dm³); Zn = Zinco (mg/dm³). Pedralva/MG, 2010.

Sombreamentos/ Profundidades ¹	P	K	Ca	Mg	S	B	Mn	Zn
	---- mg/dm ³ ----		---- cmol/dm ³ ----		----- mg/dm ³ -----			
CSP	81,33 a	42,49 a	4,25 a	0,70 b	6,526 ab	0,271 ab	20,31 b	6,19 a
CSM	10,03 b	16,09 c	2,66 b	0,78 b	7,619 a	0,255 b	9,31 c	1,79 b
CSI	35,12 a	25,65 b	4,69 a	1,43 a	6,417 b	0,319 a	47,31 a	5,23 a
0-10	49,99 a	38,65 a	5,12 a	1,34 a	6,952 a	0,276 a	35,40 a	7,30 a
10-30	17,85 b	17,46 b	2,62 b	0,60 b	6,675 a	0,290 a	12,00 b	2,16 b

¹ Sombreamentos, onde, CSP = café a sol pleno; CSM = café com sombreamento médio; CSI= café com sombreamento intenso; Profundidades de amostragem: 0 a 10 cm, 10 a 30 cm. Médias seguidas de mesmas letras na coluna (dentro de cada sombreamento e cada profundidade) não diferem entre si pelo teste de Duncan (P<0,05).

5.2. MICROBIOTA E MACROFAUNA DO SOLO

Os resultados relacionados à microbiota do solo são representados pela respiração basal (RESP) e pelo carbono da biomassa microbiana (CARB). Verifica-se, por meio da Tabela 8, que a gleba CSM foi a que apresentou os menores resultados, o que indica menor quantidade (em massa) de microrganismos. Comparando-se os resultados com aqueles obtidos por Theodoro (2006), em estudo realizado em lavoura de café com cultivo orgânico e convencional, verifica-se que os valores encontrados para o carbono da biomassa são bastante inferiores do que aqueles obtidos pela autora, cuja média para o plantio orgânico foi de 247,04 µg/g_{solo} e para o plantio convencional foi de 238,50 µg/g_{solo}, e não diferiram estatisticamente entre si.

Martins (2003), também verificou elevados teores de carbono microbiano para três diferentes agroecossistemas de café avaliados, encontrando médias que

variaram entre 289 e 328 $\mu\text{g}/\text{g}_{\text{solo}}$. Para a respiração, os valores encontrados por Martins (2003) variaram entre 2,2 e 4,5 $\mu\text{gCO}_2/\text{g}_{\text{solo}}$, próximos aos valores obtidos no presente trabalho.

Levando-se em conta a relação entre a respiração basal e o carbono da biomassa – o quociente metabólico ($q\text{CO}_2$) – são encontrados os resultados 0,037; 0,033 e 0,031 para os tratamentos CSP, CSM e CSI, respectivamente. No estudo de Martins (2003), encontram-se valores mais baixos de respiração para dados superiores de carbono da biomassa, indicando uma situação mais equilibrada. É importante ressaltar que, em seu estudo, a autora avaliou tratamentos com uma grande variedade de espécies, como bananeira, mamona, pau-pereira, entre outras espécies de crescimento espontâneo, com manejo orgânico da lavoura de café, o que pode ter proporcionado um ambiente mais equilibrado em função da grande diversidade vegetal. Estudos realizados por Balota *et al.* (1998) apresentaram valores de $q\text{CO}_2$ 28% inferiores no sistema de plantio direto quando comparado ao sistema convencional. No presente estudo, nota-se que os valores de $q\text{CO}_2$ obtidos não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos.

Tabela 8 – Microbiota e macrofauna do solo. RESP = Respiração Basal ($\mu\text{gCO}_2/\text{g}_{\text{solo}}$); CARB = Carbono da biomassa ($\mu\text{g}/\text{g}_{\text{solo}}$); H = Índice de Shannon (adimensional); e = Índice de Pielou (adimensional); D = Índice de Riqueza (adimensional). Pedralva/MG, 2010.

Sombreamentos/ Profundidades ¹	RESP	CARB	H (Pit)	H (TSBF)	e (Pit)	e (TSBF)	D (Pit)	D (TSBF)
	$\mu\text{gCO}_2/\text{g}_{\text{solo}}$	$\mu\text{g}/\text{g}_{\text{solo}}$						
CSP	6,43 a	173,11 a	0,64 b	0,37 b	0,066 ab	0,090 ab	4,59 b	2,50 b
CSM	3,34 b	101,14 b	0,67 ab	0,42 ab	0,065 b	0,083 b	5,05 a	3,00 ab
CSI	5,15 ab	167,67 a	0,70 a	0,46 a	0,070 a	0,096 a	4,79 ab	3,01 a
Serrapilheira				0,50 a		0,095 a		3,38 a
0-10				0,55 a		0,085 b		3,60 a
10-20				0,35 b		0,087 ab		2,31 b
20-30				0,27 b		0,092 ab		2,06 b

¹ Sombreamentos, onde, CSP = café a sol pleno; CSM = café com sombreamento médio; CSI= café com sombreamento intenso; Profundidades de amostragem: Acima do solo + serrapilheira, 0 a 10 cm, 10 a 20 cm, 20 a 30 cm. Médias seguidas de mesmas letras na coluna (dentro de cada sombreamento e cada profundidade) não diferem entre si pelo teste de Duncan ($P < 0,05$).

Com relação à macrofauna do solo, são apresentadas nas Figuras 10 e 11 as principais espécies encontradas nas glebas, tanto pelo método Pitfall quanto pelo método TSBF. Verifica-se, em ambos os gráficos, que as glebas apresentaram comportamento semelhante, sendo a gleba CSM a que apresentou maior número de indivíduos para os dois métodos utilizados. Observa-se, ainda, uma dominância do grupo Formicidae, exceto para o método TSBF aplicado no tratamento CSM, onde predominou o grupo Isoptera.

De acordo com Lavelle e Spain (2001), a predominância dos organismos dos grupos Formicidae, Oligochaeta, Coleoptera e Isoptera, favorece a estruturação do solo e a manutenção de reserva nutricional, em função de sua contribuição para a formação de estruturas biogênicas. Analogamente, a manutenção da cobertura vegetal na superfície do solo pode favorecer a atividade dos organismos engenheiros do ecossistema e promover maior diversidade de macrofauna (BARROS *et al.*, 2003).

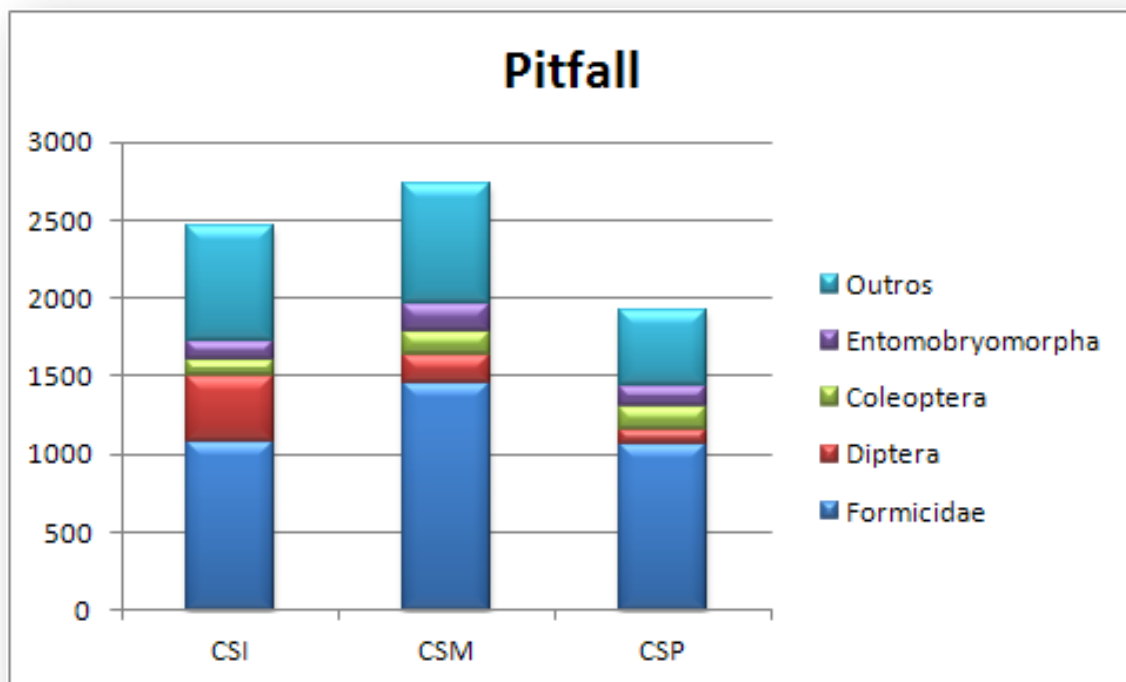


Figura 10 – Principais grupos da macrofauna do solo, encontrados por meio do método *Pitfall*.

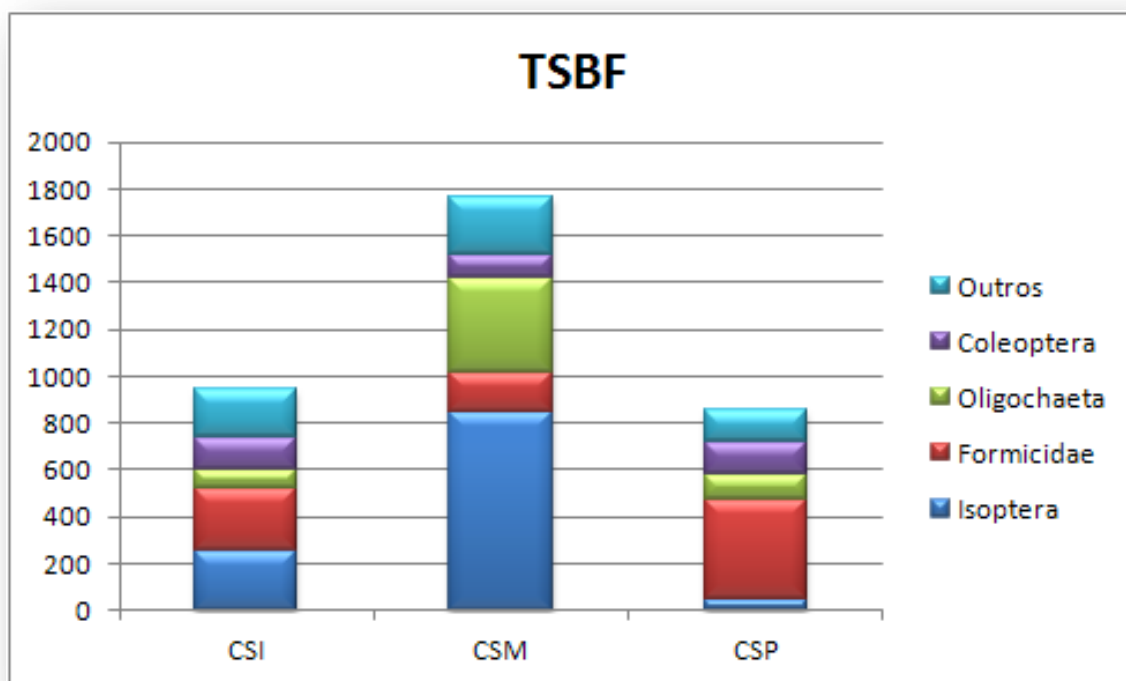


Figura 11 – Principais grupos da macrofauna do solo, encontrados por meio do método *TSBF*.

Com relação aos índices de macrofauna, também apresentados na Tabela 8, nota-se que os dois métodos utilizados levaram a resultados semelhantes nos testes de médias, conforme o esperado. O índice de Shannon (H) representa a diversidade de espécies na comunidade. Verifica-se, para este índice, que os valores de diversidade da macrofauna observados no tratamento CSI, são superiores aos obtidos no tratamento CSP. Entretanto, de modo geral, os valores encontrados foram baixos. Segundo Correia e Andrade (1998 *apud* MOÇO *et al.*, 2005), quanto maior a diversidade de espécies vegetais, mais heterogênea será a serrapilheira, o que beneficia o desenvolvimento de um número maior de espécies de fauna. Como a área estudada possui apenas duas espécies vegetais: a araucária e o café, tal condição pode ter sido responsável pela limitação da diversidade da macrofauna.

Já o índice de Pielou (e) representa a equitabilidade da comunidade, ou seja, a igualdade de distribuição de indivíduos entre as espécies. Assim, verifica-se que, embora o tratamento CSI tenha apresentado os maiores valores, estes ainda são muito baixos, indicando baixa equitabilidade entre as espécies. No que diz respeito ao índice de riqueza (D), observa-se que os maiores valores foram encontrados nos dois tratamentos sombreados: CSM e CSI. Aquino *et al.* (2008) verificaram, em

estudo realizado na Costa Rica, que a densidade de minhocas em sistemas de cultivo de café orgânico e sombreado foi superior àquela observada nos cultivos convencionais. Por outro lado, Nazaro *et al.* (2010) não encontraram diferenças significativas para a riqueza de macrofauna edáfica ao comparar cultivos orgânicos de café a sol pleno e sombreado.

Outro fato a ser observado é que, para os índices de Shannon (H_{TSBF}) e de riqueza (D_{TSBF}), os valores são maiores nas amostras mais superficiais. Tal fato pode ser explicado pela maior quantidade de matéria orgânica nas camadas superficiais, já que, de acordo com Lavelle *et al.* (1993 *apud* CORDEIRO *et al.*, 2004) e Tian *et al.* (1993 *apud* CORDEIRO *et al.*, 2004), a abundância e a diversidade de espécies da fauna edáfica sofrem forte variação negativa em função da redução da qualidade e quantidade da matéria orgânica no solo.

5.1. FITOMASSA

Os valores encontrados de fitomassa (Tabela 9) foram superiores no CSI quando comparados ao CSP. Embora o tratamento CSP permita o maior desenvolvimento de plantas daninhas, em função da elevada incidência de radiação e ausência de substâncias alelopáticas, provenientes das araucárias existentes nas glebas CSM e CSI; aquele ainda representa uma menor proporção em massa quando comparado à fitomassa proveniente das araucárias na gleba CSI. Em trabalho publicado por Campanha *et al.* (2007), verificou-se que os sistemas agroflorestais com cafeeiros produziram maior quantidade de fitomassa do que os sistemas de cultivo convencionais.

Entretanto, com relação às análises químicas dos macronutrientes, observa-se que, de maneira geral, há maior disponibilidade de nutrientes no tratamento CSP, com exceção do Ca, o que também concorda com o estudo de Campanha *et al.* (2007), onde concluiu-se que a serrapilheira da monocultura de café apresentava teor mais elevado de nutrientes, com exceção do Ca, cuja concentração foi maior no sistema agroflorestal.

Tabela 9 – Produção de fitomassa e macronutrientes. FITO = produção de fitomassa (T/ha); N = Nitrogênio (g/kg); P = Fósforo (g/kg); K = Potássio (g/kg); Ca = Cálcio (g/kg); Mg = Magnésio (g/kg); S = Enxofre (g/kg). Pedralva/MG, 2010.

Sombreamentos ¹	FITO	N	P	K	Ca	Mg	S
	-- t/ha --	----- g/kg -----					
CSP	10,75 b	16,18 a	2,69 a	20,7 a	12,21 b	3,61 ab	1,93 a
CSM	16,31 ab	15,33 ab	1,22 b	14,63 b	13,97 b	4,01 a	1,56 b
CSI	22,09 a	13,95 b	1,45 b	15,48 ab	17,31 a	2,63 b	1,59 b

¹ Sombreamentos, onde, CSP = café a sol pleno; CSM = café com sombreamento médio; CSI = café com sombreamento intenso. Médias seguidas de mesmas letras na coluna (dentro de cada sombreamento) não diferem entre si pelo teste de Duncan (P<0,05).

Já para os micronutrientes (Tabela 10), o tratamento CSI apresentou resultados mais favoráveis, de modo geral.

Tabela 10 – Micronutrientes presentes na fitomassa. B = Boro (mg/kg); Cu = Cobre (mg/kg); Mn = Manganês (mg/kg); Zn = Zinco (mg/kg). Pedralva/MG, 2010.

Sombreamentos ¹	B	Cu	Mn	Zn
	----- mg/kg -----			
CSP	17,45 ab	18,27 a	156,8 b	55,89 b
CSM	16,09 b	11,41 b	121,6 b	86,61 ab
CSI	20,02 a	11,33 b	237,8 a	96,70 a

¹ Sombreamentos, onde, CSP = café a sol pleno; CSM = café com sombreamento médio; CSI = café com sombreamento intenso. Médias seguidas de mesmas letras na coluna (dentro de cada sombreamento) não diferem entre si pelo teste de Duncan (P<0,05).

5.2. PRODUÇÃO DE GRÃOS

5.2.1. Análise foliar e produção de grãos

Os valores de produção de grãos não diferiram, estatisticamente, entre os tratamentos CSP e CSM (Tabela 11), sendo inferiores no tratamento CSI. Tais resultados podem ser explicados pela elevada atenuação da radiação promovida pelo sombreamento na gleba CSI. De acordo com Black e Ong (2000), a redução da quantidade de energia radiante interceptada pela folhagem pode influenciar no

crescimento da planta, agindo como um fator limitante, assim como a falta de água ou nutrientes. Considerando-se a densidade de pés de café, pode-se dizer que a produtividade de grãos foi de, aproximadamente, 34, 8 e 2,4 sc/ha nas glebas CSP, CSM e CSI, respectivamente. Comparando-se tais valores com a produtividade esperada dada pela Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais – 5ª aproximação, verifica-se que a produtividade média do tratamento CSP está dentro do esperado, que seria de 30 a 40 sc/ha para o sistema semi-adensado. Já nos tratamentos CSM e CSI esta produtividade fica bem abaixo do esperado, que seria de 20-30 sc/ha. Ricci *et al.* (2006) obtiveram em seus estudos resultado semelhante para uma primeira etapa de colheita (março), sendo a produtividade maior na área cultivada a pleno sol se comparada às áreas sombreadas. No entanto, considerando-se a produtividade global da cultura, com duas etapas de colheita (março e junho), não foi verificada diferença significativa na produtividade em função do sombreamento. Por outro lado, de acordo com Caramori *et al.* (2004), há resultados experimentais demonstrando que o plantio de espécies lenhosas associadas ao cafezal pode acarretar competição, principalmente em sombreamentos densos, nos quais a espécie mais alta intercepta os comprimentos de onda utilizados para a fotossíntese, com efeitos negativos para a produtividade, podendo chegar a redução de 70 a 80%.

Tabela 11 – Produção de grãos e análises químicas dos macronutrientes das folhas. PROD = Produção de grãos (kg/planta); N = Nitrogênio (g/kg); P = Fósforo (g/kg); K = Potássio (g/kg); Ca = Cálcio (g/kg); Mg = Magnésio (g/kg); S = Enxofre (g/kg). Pedralva/MG, 2010.

Sombreamentos ¹	PROD	N	P	K	Ca	Mg	S
	- kg/planta-	----- g/kg -----					
CSP	2,62 a	29,15 b	3,00 a	30,5 a	13,11 b	3,57 c	2,32 a
CSM	2,37 a	30,73 a	2,46 b	21,96 b	15,84 a	6,88 a	1,95 b
CSI	0,72 b	29,65 ab	3,05 a	28,43 ab	17,42 a	5,10 b	2,11 ab

¹ Sombreamentos, onde, CSP = café a sol pleno; CSM = café com sombreamento médio; CSI = café com sombreamento intenso. Médias seguidas de mesmas letras na coluna (dentro de cada sombreamento) não diferem entre si pelo teste de Duncan (P<0,05).

Com relação aos macro e micronutrientes presentes nas folhas, verifica-se que as médias encontram-se dentro do intervalo considerado adequado ou acima dele. Estudo publicado em abril de 2006 por Ricci *et al.* mostrou que o tecido foliar

das plantas cultivadas sob sombreamento possuía maiores teores de N e de Mg do que as folhas das plantas cultivadas a pleno sol. Tal resultado é semelhante ao que pode ser verificado na Tabela 11. Entretanto, o mesmo estudo aponta que o sombreamento não promove diferenças significativas entre os teores de P, K e Ca nas folhas, o que difere, em parte, dos resultados encontrados neste trabalho, visto que o Ca acompanha a mesma tendência do N e Mg, sendo superior nos tratamentos sombreados. Os micronutrientes apresentaram comportamento bastante variado entre os tratamentos avaliados, como pode ser observado na Tabela 12.

Tabela 12 – Análises químicas dos micronutrientes das folhas. B = Boro (mg/kg); Cu = Cobre (mg/kg); Fe = Ferro (mg/kg); Mn = Manganês (mg/kg); Zn = Zinco (mg/kg). Pedralva/MG, 2010.

Sombreamentos ¹	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	----- mg/kg -----				
CSP	40,3 b	27,91 a	126,0ab	116,63 a	21,52 a
CSM	46,31ab	15,22 b	111,5 b	57,38 b	15,77ab
CSI	48,94 a	14,66 b	129,8 a	52,32 b	14,62 b

¹ Sombreamentos, onde, CSP = café a sol pleno; CSM = café com sombreamento médio; CSI = café com sombreamento intenso. Médias seguidas de mesmas letras na coluna (dentro de cada sombreamento) não diferem entre si pelo teste de Duncan (P<0,05).

5.2.2. Desvio do Ótimo Percentual (DOP)

O DOP foi calculado para os macro e micronutrientes presentes nas folhas e os resultados são apresentados na Tabela 13.

Verifica-se que, para os macronutrientes N, P e K, o tratamento CSM foi o que apresentou valores de DOP mais próximos do ideal, isto é, DOP = 0. Para o nitrogênio, o DOP calculado ficou bem próximo de zero. Resultados obtidos por Barbosa (2005) mostram valores de DOP para o nitrogênio de cafeeiros em monocultivo ou plantados em consórcio com leucena, acácia e guandu bastante acima dos observados neste estudo, variando em torno de 20% positivos. Tal diferença significativa pode ser explicada pelo fato de o cafezal do referido trabalho ter sido conduzido tradicionalmente, com adubação seguindo as recomendações técnicas para a cultura e região, o que pode ter provocado o excesso de nutrientes.

Tabela 13 – Valores de DOP para os macro e micronutrientes presentes nas folhas do café.

Sombreamentos ¹	CSP	CSM	CSI
	----- % -----		
N	-4,43	0,75	-2,79
P	114,29	75,71	117,86
K	52,50	9,80	42,15
Ca	14,00	37,74	51,48
Mg	-6,05	81,05	34,21
S	32,57	11,43	20,57
B	-32,83	-22,82	-18,43
Cu	132,58	26,83	22,17
Fe	0,82	-10,78	3,86
Mn	-6,70	-54,10	-58,14
Zn	43,47	5,13	-2,53

¹ Sombreamentos, onde, CSP = café a sol pleno; CSM = café com sombreamento médio; CSI = café com sombreamento intenso.

No caso do Ca, o menor valor foi encontrado para o tratamento CSP, sendo que os tratamentos CSM e CSI também resultaram em valores de DOP positivos, indicando excesso do nutriente na folha. Os resultados observados para o Ca apresentam comportamento semelhante à concentração de cálcio do solo, obtida por meio das análises de fertilidade (Tabela 7). Para o magnésio, apenas a gleba CSP apresentou DOP negativo, embora este não tenha ficado muito distante do ótimo, sendo apenas 6% inferior ao ideal. Enxofre e cobre ficaram acima dos valores ótimos, enquanto o manganês e boro apresentaram-se em defasagem com relação aos valores de referência, para todos os tratamentos avaliados. Para ferro, verificou-se o melhor resultado no tratamento CSP e para o zinco o DOP mais próximo de zero foi encontrado na gleba CSI, embora este tenha sido negativo.

5.3. RADIAÇÃO

5.3.1. Atenuação da radiação

As medidas realizadas pelos sensores permitiram o cálculo da atenuação da radiação promovida pelo sombreamento. Verifica-se que, na gleba CSI, as médias ficaram em torno de 92% na estação chuvosa e 94% no período de seca. Já na gleba CSM foi observada atenuação de 80% no período de chuvas e 84% na estação seca (Figura 12). Hernandez *et al.* (2004) verificaram que uma mata semidecidual fechada promove atenuação média de radiação de 94,5%, o que se aproxima dos valores obtidos para a gleba CSI. Os autores mencionam, ainda, que a atenuação promovida por este tipo de vegetação é comparável àquela obtida nas matas de araucárias. Barbosa (2005) ressalta que o sombreamento reduz os efeitos da sazonalidade sobre o cultivo, o que pode promover maior estabilidade na produtividade ao longo dos anos.

Os valores maiores encontrados para ambas as glebas no período chuvoso (Figura 13) podem ser explicados pela eventual presença de nuvens sobre o sensor *Line Quantum* ou partes deste, o que colaborou para a atenuação da radiação. Ainda assim, as porcentagens de atenuação ficaram bastante próximas nas duas estações e, como esperado, foi superior na gleba CSI se comparada à da gleba CSM.

A fim de validar as medições realizadas pelos sensores, foi realizada a comparação entre os dados obtidos pelos sensores *Quantum* e *Line Quantum*, para um mesmo período, tanto na estação chuvosa (janeiro) quanto na estação seca (maio). As Figuras 13 e 14 apresentam a análise de correlação, para os dados obtidos nas estações chuvosa e seca, respectivamente. Verifica-se que o coeficiente de correlação foi bastante elevado, em ambos os casos ultrapassando 99%. Tais resultados indicam que, em condições iguais (ausência de cobertura), ambos os sensores promovem leituras semelhantes da radiação.

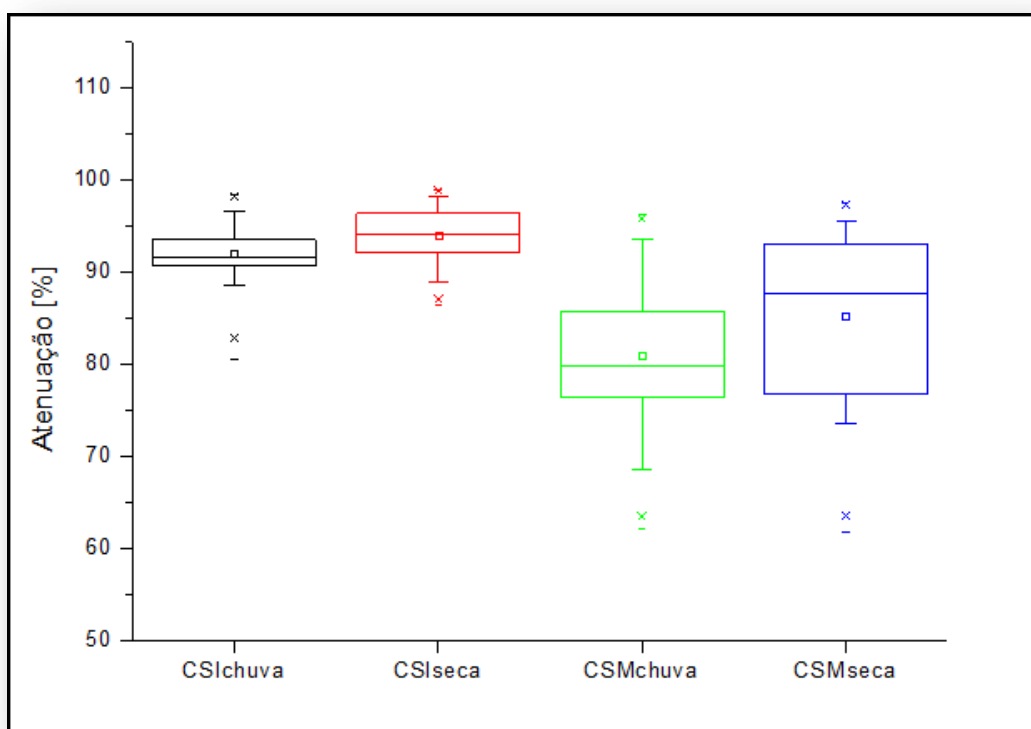


Figura 12 – Atenuação da radiação para as áreas CSI e CSM, medidas nos períodos de chuva e seca.

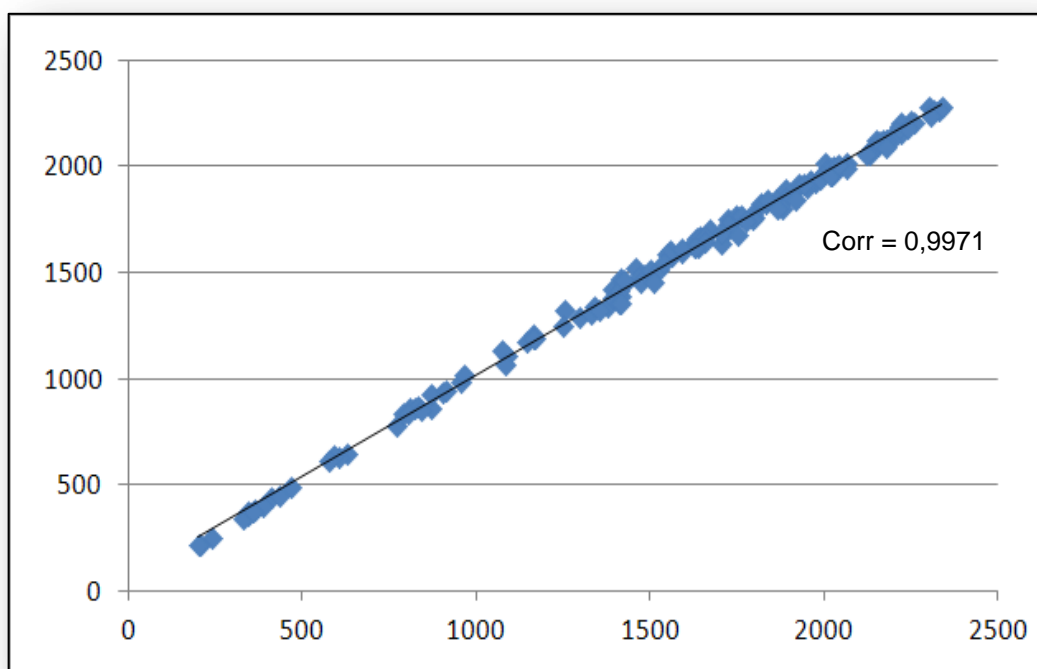


Figura 13 – Correlação entre as medições realizadas pelos sensores LI-190 e LI-191, na área CSP, em janeiro de 2011.

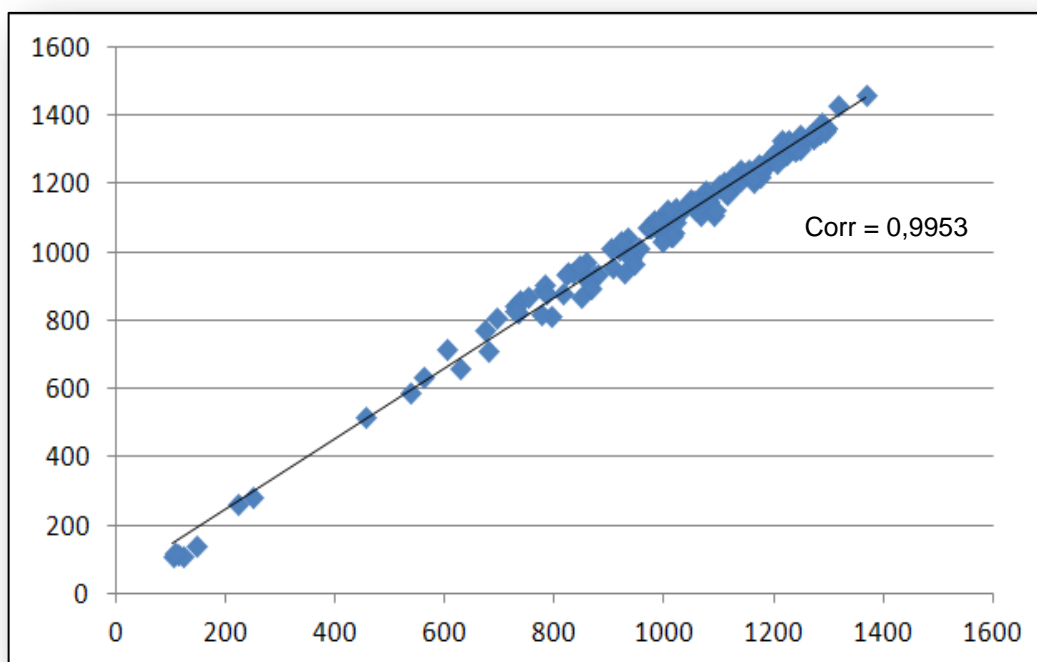


Figura 14 – Correlação entre as medições realizadas pelos sensores LI-190 e LI-191, na área CSP, em maio de 2011.

5.3.2. Área sombreada

A área sombreada sobre o sensor *Line Quantum* foi calculada com base na contagem de pixels das fotografias tiradas sob o dossel. A Figura 15 apresenta os resultados obtidos por meio da contagem de pixels das diversas fotografias tiradas. Verifica-se que, para a área CSM a média foi de 70% e para a gleba CSI foi encontrada média de 80%. Comparando-se estes resultados com aqueles obtidos por meio dos sensores, verifica-se que, de maneira geral, a porcentagem de cobertura está cerca de 10% menor do que a real atenuação da radiação verificada em cada gleba por meio dos sensores.

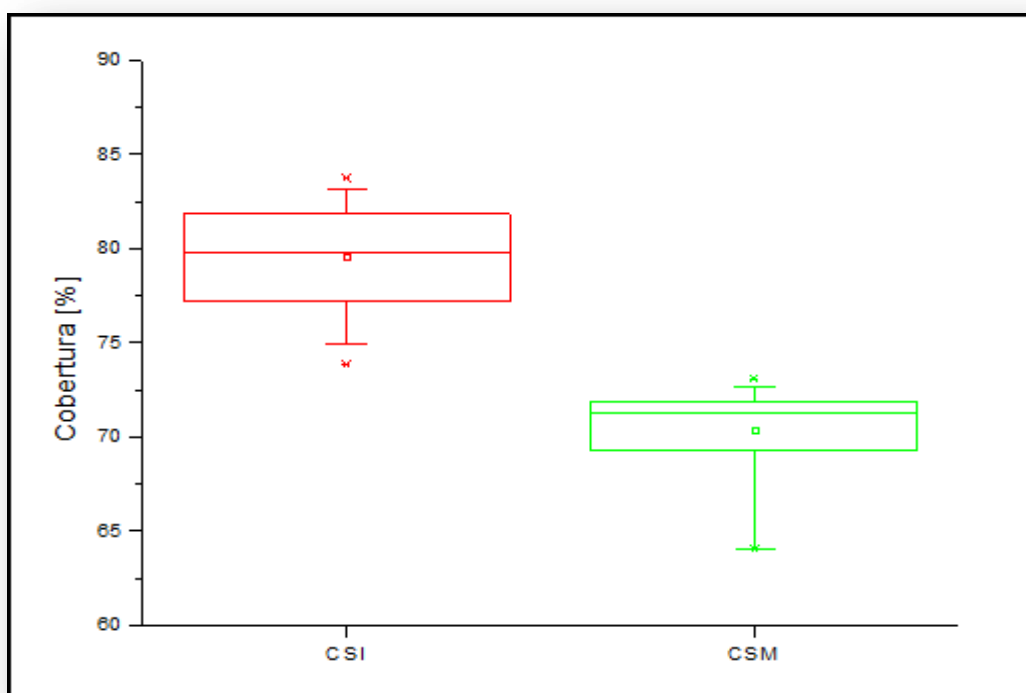


Figura 15 – Porcentagem de cobertura promovida pelo dossel, para as glebas CSI e CSP.

5.4. ESTATÍSTICA MULTIVARIADA

Na análise de componentes principais optou-se por analisar as três primeiras componentes principais, que juntas totalizaram 76,9% da variância explicada. Os valores dos “loadings” das três primeiras componentes principais, tanto para as variáveis quanto para os casos, são apresentadas no Apêndice I.

Observando as projeções dos tratamentos (casos), apresentadas nas Figuras 16 e 17, verifica-se que há uma tendência de agrupamento das repetições dentro dos tratamentos, principalmente para o CSM, sendo que CSP e CSI dividem algumas regiões. Verifica-se, também, que as repetições do tratamento CSM encontram-se agrupadas no lado positivo do eixo representado pelo fator 1, para as duas projeções analisadas.

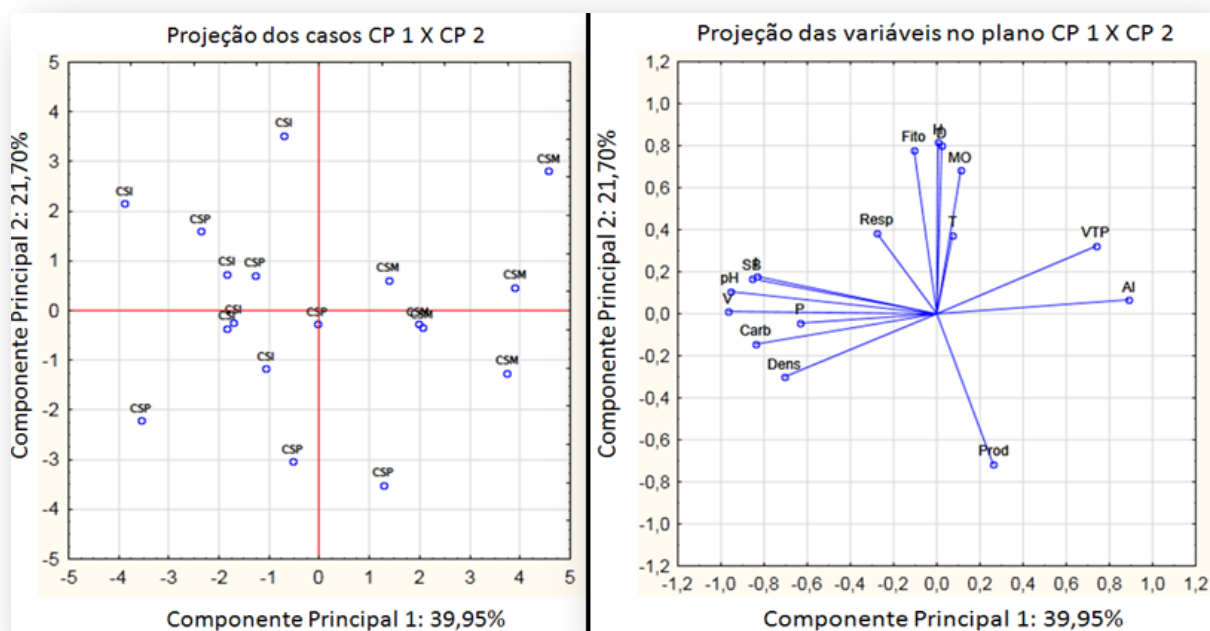


Figura 16 – Projeção das repetições para os diferentes tratamentos (CSP, CSM e CSI) e das variáveis no plano formado pelas Componentes Principais CP1 e CP2, totalizando 57,65 % da variação explicada.

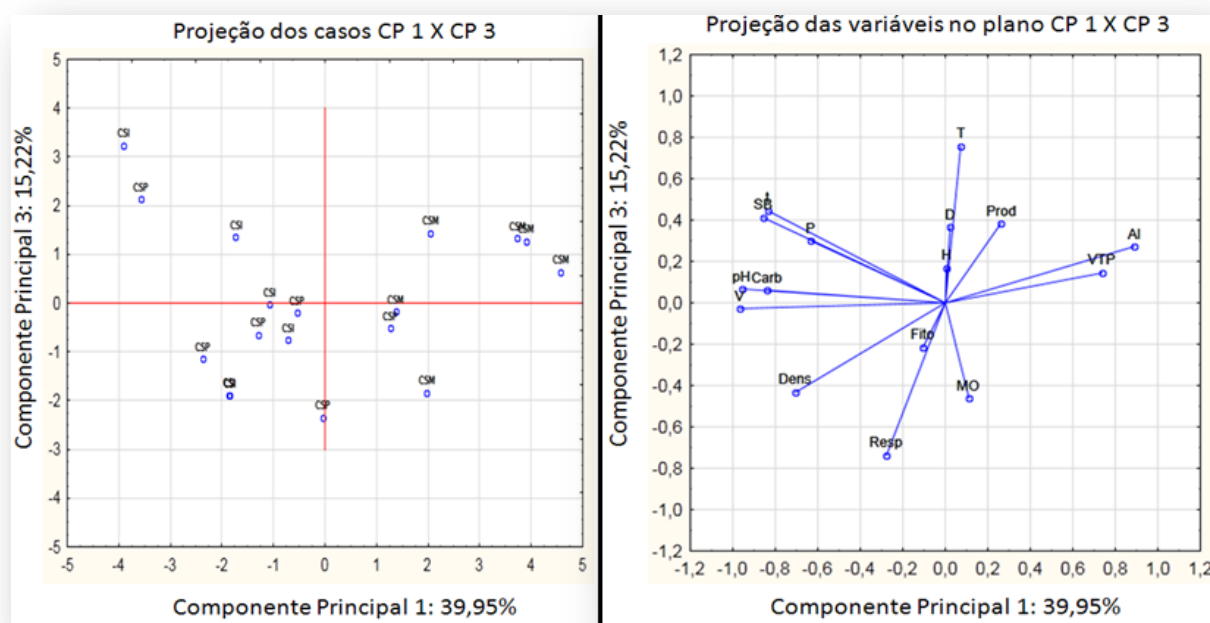


Figura 17 – Projeção das repetições para os diferentes tratamentos (CSP, CSM e CSI) e das variáveis no plano formado pelas Componentes Principais CP1 e CP3, totalizando 55,17 % da variação explicada.

Observando, agora, as projeções das variáveis no gráfico formado pelas componentes principais CP1 e CP2 (Figura 16), nota-se que o Al e o VTP têm grande parte de sua variância explicada pela CP1, relacionando-se ao seu lado positivo onde concentram-se as repetições do tratamento CSM, enquanto o lado negativo está mais relacionado às variáveis pH, SB, V, t e P. O fato destas variáveis estarem agrupadas é bastante relevante, visto que são características do solo que tendem a variar da mesma forma, isto é, se t é mais elevada, espera-se que o pH seja maior; o pH é mais elevado, há mais P disponível no solo. Estes resultados complementam àqueles obtidos por meio dos testes de média, uma vez que apontam a mesma tendência.

O carbono microbiano também relaciona-se a estas variáveis, embora a respiração basal esteja numa região mais distante, não sendo fortemente explicada por nenhum dos dois eixos analisados. Considerando que esses dados estão mais relacionados com os tratamentos CSI, onde o maior sombreamento também favorece maior concentração de material orgânico e umidade, infere-se que a decomposição da matéria orgânica promove maior acidez e a porosidade do solo enquanto a fertilidade fica correlacionada negativamente. Lembrando que este tratamento não recebe adubação externa nem calagem, de modo que o Al compete com as bases pelos pontos de troca favorecendo a lixiviação das mesmas.

Outro fato interessante a ser observado é que o pH e o Al tomam direções opostas no gráfico, uma vez que o aumento no valor de Al é responsável pela diminuição nos valores de pH. De forma análoga, verifica-se que são completamente opostas no gráfico as posições das variáveis densidade e VTP, visto que estas são inversamente proporcionais.

Agrupadas na parte positiva do eixo representado pela CP2, estão as variáveis H e D (representando a diversidade e riqueza de macrofauna, respectivamente), a fitomassa e a MO. Este agrupamento pode ser explicado uma vez que a maior quantidade de fitomassa promove aumento do teor de MO do solo, proporcionando condições adequadas para as espécies da macrofauna. Verifica-se, ainda, que o lado positivo do eixo CP2 possui maior correlação com os tratamentos CSM e CSI, visto que as projeções dos pontos que representam as repetições destes tratamentos sobre o eixo em questão são mais representativas.

A produção de grãos ficou isolada próxima ao lado negativo do eixo representado pela CP2, região que está mais fortemente relacionada aos

tratamentos CSP e CSM.

A Figura 17, cujos eixos projetados são a CP1 e a CP3, confirma o que foi observado no gráfico de variáveis apresentado na Figura 16: as variáveis AI e VTP relacionando-se ao tratamento CSM e as variáveis relacionadas à MO, fitomassa e macrofauna, embora próximas, estão mais concentradas na região central do gráfico, não assumindo tendência de correlação com os eixos CP1 e CP3, o que indica que são melhor explicadas pelo eixo CP2.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O sombreamento da lavoura cafeeira com araucária (*Araucaria angustifolia* L.) proporcionou aumento da matéria orgânica no solo resultando em sua menor densidade, maior estabilidade de agregados e maior volume total de poros. Além disso, a presença das araucárias fornece grande quantidade de matéria orgânica e as condições de sombreamento favorecem o acúmulo deste material na superfície do solo, o que reflete na maior quantidade de fitomassa encontrada no CSI. Por sua vez, a presença desta serrapilheira nos ambientes sombreados promove maior riqueza e diversidade de macrofauna bem como favorece o desenvolvimento de microrganismos.

Com relação à produção de café por planta, verifica-se que, em situação de médio sombreamento, esta é estatisticamente igual à do café a sol pleno, embora a condição de sombreamento intenso, pela maior disponibilidade de matéria orgânica, seja a que possibilita presença de macronutrientes no solo comparável à condição de sol pleno, que recebeu adubação externa. Entretanto, o sombreamento médio foi o que apresentou os menores valores de Desvio do Ótimo Percentual para os nutrientes N, P e K.

A atenuação da radiação em função do sombreamento ficou em torno de 93% na gleba CSI e 82 % na gleba CSM; enquanto a área sombreada obtida por meio das fotografias teve média de 80% na área CSI e 70% na área CSM, cerca de 10% abaixo da atenuação medida.

A análise de componentes principais permitiu confirmar forte correlação entre as variáveis: matéria orgânica, fitomassa e índices de macrofauna e microbiota, confirmando os resultados obtidos por meio dos testes de médias. Estas variáveis são mais influenciadas pela componente principal CP2 e relacionam-se com o tratamento CSI. Já o volume total de poros foi melhor explicado pela componente principal CP1, e relaciona-se mais fortemente ao tratamento CSM. Para a produtividade, verificou-se maior correlação com o tratamento CSP.

7. CONCLUSÕES

De modo geral, verifica-se que, do ponto de vista biológico, o tratamento CSI apresentou os melhores resultados, embora o CSM apresente solo com as melhores características físicas e boa produtividade por planta. Assim, recomenda-se a utilização de sombreamento médio para o cultivo do café, uma vez que são mantidas condições ambientalmente favoráveis com produtividade comparável a cultivos a pleno sol.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALCANTARA, R. M. C. M.; ARAÚJO, A.M.S.; LIMA, A.A.; HAIM, P.G.; SILVA, E.E. Avaliação da biomassa microbiana do solo em sistemas orgânicos. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 2, p. 991-994, Outubro 2007.
- ALMEIDA, E. F.; POLIZEL, R.H.P.; GOMES, L.C.; XAVIER, F.A.S.; MENDONÇA, E.S. Biomassa microbiana em sistema agroflorestal na zona da mata mineira. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 2, p. 739-742, 2007.
- ALVARENGA, M. I. N. **Propriedades físicas, químicas e biológicas de um Latossolo Vermelho-Escuro em diferentes ecossistemas**. Tese (Doutorado), Universidade Federal de Lavras. Lavras - MG. 1996.
- ANDERSON, J. M.; INGRAM, J. S. I. **Tropical Soil Biological and Fertility (TSBF): A Handbook of Methods**. Wallingford: CABI, 1993. 240 p.
- ANDERSON, J. P. E. Soil respiration. In: PAGE, A. L.; MILLER, R. H.; KEENEY, D. R. **Methods of soil analysis**. 2 ed. ed. Madison: Soil Science Society of America / American Society of Agronomy, 1982. p. 831-845.
- ANGELOCCI, L. R. **Água na planta e trocas gasosas/energéticas com a atmosfera: Introdução ao tratamento biofísico**. Piracicaba: ESALQ, 2002. 272 p.
- AQUINO, A. M.; MELOVIRGÍNIO FILHO, E.; RICCI, M.S.F; CASANOVES, F. Populações de minhocas em sistemas agroflorestais com café convencional e orgânico. **Revista Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, p. 1184-1188, Jul/Ago 2008.
- BABBAR, L. I.; ZAK, D. R. Nitrogen cycling in coffee agroecosystems: net N mineralization and nitrification in presence and absence of shade trees. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 48, p. 107-113, 1994.
- BALOTA, E. L.; COLOZZI-FILHO, A.; ANDRADE, D.S.; HUNGRIA, M. Biomassa microbiana e sua atividade em solos sob diferentes sistemas de preparo e sucessão de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p. 641-649, 1998.
- BARBOSA, J. P. R. A. D. **Aspectos ecofisiológicos de cafeeiros (Coffea arabica**

- L.) em produção arborizados com diferentes leguminosas no sul de Minas Gerais.** Universidade Federal de Lavras. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Lavras, p. 104. 2005.
- BARROS, E.; NEVES, A.; BLANCHART, E.; FERNANDES, E.C.M.; WANDELLI, E.; LAVELLE, P. Development of the soil macrofauna community under silvopastoral and agrosilvicultural systems in Amazonia. **Pedobiologia**, v.47, p.273-280, 2003.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Características químicas do solo afetadas por métodos de preparo e sistemas de cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 21, p. 105-112, 1997.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e Função da Matéria Orgânica. In: SANTOS, G. A., CAMARGO, F.A.O. **Fundamentos da Matéria Orgânica do Solo: Ecossistemas Tropicais e Subtropicais**. 2a. ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008. Cap. 2, p. 13-14.
- BEER, J.; MUSCHLER, D.; SOMARRIMA, E. Shade management in coffee and cacao plantations. **Agroforestry Systems**, Amsterdam, v. 38, p. 139-164, 1998.
- BLACK, C.; ONG, C. Utilization of light and water in tropical agriculture. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 104, p. 25-47, 2000.
- BREGONCI, I. S.; PELISSARI, S. A. Arborização, quebra-ventos e culturas intercalares. In: COSTA, E. B. **Manual técnico para a cultura do café no Estado do Espírito Santo**. Vitória: SEAG-ES, 1995. p. 63-67.
- CAMPANHA, M. M.; SANTOS, R.H.S; DE FREITAS, G.B.; MARTINEZ, H.E.P; JARAMILLI - BOTERO, C.; GARCIA, S.L.R. 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 - MG, v. 31, p. 805-812, 2007.
- CAMPOS, B. C.; REINERT, D.J.; NICOLODI, R.; RUEDELL, J.; PETRERE, C. Estabilidade estrutural de um Latossolo Vermelho-escuro distrófico após sete anos de rotação de culturas e sistemas de manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 19, p. 121-126, 1995.
- CARAMORI, P. H.; KATHOUNIAN, C.A.; MORAIS, H. LEAL, A.C.; HUGO, R.G.; ANDROCIOLI FILHO, A. Arborização de cafezais e aspectos climatológicos. In:

- MATSUMOTO, S. N. **Arborização de cafezais no Brasil**. Vitória da Conquista: UESB, 2004. p. 19-42.
- CARPANEDO, V.; MIELNICZUK, J. Estado de agregação e qualidade de agregados de latossolos roxos, submetidos a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 14, p. 99-105, 1990.
- CFSEMG - COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5a aproximação**. Viçosa: [s.n.], 1999.
- CHAMORRO, T. G.; GALLO, C. A.; LÓPEZ, A. R. Evaluacion economica del sistema agroflorestal cafe asociado com nogal. **Cenicafé**, v. 45, p. 164-170, 1994.
- CORDEIRO, F. C.; DIAS, F.C.; MERLIM, A.O.; CORREIA, M.E.F.; AQUINO, A.M.; BROWN, G. Diversidade da macrofauna invertebrada do solo como indicadora da qualidade do solo em sistema de manejo orgânico de produção. **Revista Universidade Rural**, Seropédica, RJ, v. 24, p. 29-34, Jul-Dez 2004.
- CORREIA, M. E. F.; ANDRADE, A. G. Formação de Serapilheira e Ciclagem de Nutrientes. In: SANTOS, G. A., CAMARGO, F.A.O. **Fundamentos da Matéria Orgânica do Solo: Ecossistemas Tropicais e Subtropicais**. 2a. ed. Porto Alegre: Metrópole, 2004. Cap. 10, p. 137:154.
- CUNHA, G. M. **Estudo comparativo de condições químicas e físicas de um Latossolo Vermelho-Amarelo álico, de encosta, sob duas coberturas: café e mata natural**. Universidade Federal de Viçosa (Tese). Viçosa - MG, p. 65. 1995.
- DA MATTA, F. M. Ecophysiological constraints on the production of shaded and unshaded coffee: a review. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 86, p. 99-114, Mar. 2004.
- DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J. W., et al. **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: SSSA, 1994. p. 3-21.
- EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1997. 212 p.
- ESRI. **ArcGis 9.3**. Redlands: Esri, 2008.

- EVANOFF, C. E. A. **Biología del café**. Caracas: Universidad Central de Venezuela, 1994.
- FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. **The world agricultural production**. Statistics Division. [S.l.]. 2006.
- FASSBENDER, H. W. **Modelos edafológicos de los sistemas de producción agroflorestales**. Turrialba: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, 1993. 530 p.
- FERNANDES, D. R. Manejo do Cafezal. In: RENA, A. B., *et al.* **Cultura do Cafeeiro: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1986. p. 275-301.
- FERREIRA, A. S.; CAMARGO, F. A. O.; VIDOR, C. Utilização de microondas na avaliação da biomassa microbiana do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, p. 991-996, 1999.
- FOURNIER, L. A. El cultivo del cafeto (*Coffea arabica* L.) al sol o a la sombra: un enfoque agronomico y ecofisiologico. **Agronomia Costarricense**, San Jose, v. 12(1), p. 131-146, 1988.
- GAMA RODRIGUES, A. C. **Sistemas agroflorestais: bases científicas para o desenvolvimento sustentável**. Campos dos Goytacazes: Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, 2006.
- GLOBAL MAPPER SOFTWARE LLC. **Global Mapper 11**. Gardiner: Blue Marble Geographics, 2011.
- GOMES, I. A. C. **Alterações morfofisiológicas em folhas de cafeeiros (*Coffea arabica* L.) Oeiras, sob influência do sombreamento por leguminosas**. 2004. 63 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Fisiologia Vegetal). Universidade Federal de Lavras. Lavras, MG. 2004.
- HAAG, P. H. **Ciclagem de nutrientes em florestas tropicais**. Campinas: Fundação Cargill, 1975. 144 p.
- HERNANDES, J. L.; JUNIOR, M. J. P.; BARDIN, L. Variação estacional da radiação solar em ambiente externo e no interior de floresta semidecídua. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 28, p. 167-172, 2004.

- HOFFMANN, R. B.; NASCIMENTO, M.S.V.; DINIZ, A.A. Diversidade da mesofauna edáfica como bioindicadora para o manejo do solo em Areia, Paraíba, Brasil. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 22, p. 121-125, Julho/Setembro 2009.
- HUNTER, A. H. **Laboratory analysis of vegetal tissues samples**. International Soil Fertility Evaluation and Improvement Program, N.C.S.U. Raleigh, p. 5. 1975.
- ILANY, T.; ASHTON, M.S.; MONTAGNINI, F.; MARTINEZ, C. Using Agroforestry to improve soil fertility: effects of intercropping on *Ilex paraguariensis* (yerba mate) plantations with *Araucaria angustifolia*. **Agroforest Systems**, v. 80, p. 399-409, 2010.
- JENKINSON, D. S.; LADD, J. N. Microbial biomass in soil: measurement and turnover. **Soil biology and biochemistry**, v. 5, p. 415-471, 1981.
- KLENK, L. A. **Macrofauna invertebrada edáfica em pastagem com pastoreio rotativo sob diferentes preparos orgânicos em condições subtropicais no sul do Brasil**. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Área de Concentração em Biologia do Solo, do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 2010.
- KOZLOWWSKI, T. T.; KRAMER, P. J.; PALLARDY, S. G. **The physiological ecology of woody plants**. New York: Academic Press, 1991.
- LAVELLE, P. Diversity of soil fauna and ecosystem function. **Biology International**, v. 33, p. 3-16, 1996.
- LAVELLE, P.; SPAIN, A.V. **Soil ecology**. Amsterdam: Kluwer Scientific Publications, 2001. 654p.
- LAVELLE, P.; BLANCHART, E.; MARTIN, A.; SPAIN, A.V.; MARTIN, S. **Impact of fauna on properties of soils in the humid tropics**. Madison: SSSA, 1992.
- LUNZ, A. M. P. **Crescimento e produtividade do cafeeiro sombreado e a pleno sol**. 2006. 95p. Tese (Doutorado em Agronomia - Fitotecnia). Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura - ESALQ. Piracicaba, SP. 2006.
- MACEDO, R. L. G. **Sistemas agroflorestais com leguminosas arbóreas para recuperar áreas degradadas por atividades agropecuárias**. In: Simpósio Nacional de Recuperação de Áreas Degradadas, 1. Curitiba, 1992: Anais., UFPR / FUPEF. 1992. p. 136-147.

- MACEDO, R. L. G. **Sistemas Agroflorestais no contexto do desenvolvimento sustentável**. In: Congresso Brasileiro sobre Sistemas Agroflorestais, 1. Porto Velho, 1994: Anais. EMBRAPA / CNPF. 1994. p. 43-49.
- MAFRA, R. C. **Agroecossistemas tropicais**. ABEAS. Curso de Agricultura Tropical, p. 87. 1988.
- MARTINS, M. **Caracterização de sistemas orgânicos de produção de café utilizados por agricultores familiares em Poço Fundo, MG**. Universidade Federal de Lavras - Tese (Doutorado em Fitotecniologia). Lavras - MG, p. 190. 2003.
- MATIELLO, J. B. **Sistemas de produção na cafeicultura moderna: Tecnologias de plantio adensado, renque mecanizado, arborização e recuperação de cafezais**. Rio de Janeiro: MM Produções Gráficas, 1995. 102 p.
- MATIELLO, J. B.; DANTAS, F.A.S.; CAMARGO, A.P.; RIBEIRO, R.N.C. **Observações sobre nível de sombreamento em lavoura cafeeira em Pernambuco**. In: Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras, 12. Caxambu, 1985: Anais., MIC/IBC. 1985. p. 14-15.
- MATSUMOTO, S. N. **Arborização de cafezais no Brasil**. Vitória da Conquista: Edições Uesb, 2004. 213 p.
- MELO, F. V.; BROWN, G.G.; CONSTANTINO, R.; LOUZADA, J.N.C.; LUIZÃO, F.J.; MORAIS, J.W.; ZANETTI, R.A. A importância da meso e macrofauna do solo na fertilidade e como bioindicadores. **Boletim informativo da SBCS**, Jan-Abr 2009.
- MICROSOFT. **Microsoft Office Excel 2007**. Redmond: Microsoft, 2007.
- MIRANDA, J. **Caracterização da solução do solo e das propriedades físicas, químicas e mineralógicas de um latossolo vermelho-amarelo sob diferentes coberturas vegetais**. 1993. 65 p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Viçosa. Viçosa. 1993.
- MOÇO, M. K. S.; GAMA-RODRIGUES, E.F.; GAMA-RODRIGUES, A.C.; CORREIA, M.E. Caracterização da fauna edáfica em diferentes coberturas vegetais na região norte fluminense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 555-564, 2005.
- MOLDENKE, A. R. Arthropods. In: WEAVER, E. W., et al. **Methods of soil analysis:**

- microbiological and biochemical properties. Madison: SSSA, 1994. p. 517-542.
- MONTAÑÉZ, L.; HARAS, L.; ABADÍA, J.; SANZ, M. Plant analysis interpretation based on a new index: derivation from optimum percentage (DOP). **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 16(7), p. 1289-1308, 1993.
- NAZARO, C. M.; MORIYA, N. R.; ALBUQUERQUE, L. B. Macrofauna edáfica bioindicadora de qualidade de solo em sistemas orgânicos de produção de café sombreado e a pleno sol. **Anais do Encontro Nacional de Iniciação Científica**, 2010.
- NESTEL, D.; ALTIERI, M. The weed community of Mexican coffee agroecosystems: effect of management upon plant biomass and species composition. **Acta ecologica**, v. 16(6), p. 715-626, 1992.
- NETO, J. N. P. **Influência da radiação na produção de fitomassa e biomassa microbiana de uma lavoura em subbosque de araucária (*Araucaria angustifolia* L.)**. 2011. 54p. Trabalho Final de Graduação (Engenharia Ambiental). Universidade Federal de Itajubá. Itajubá. 2011.
- NJOROGE, J. M.; KIMEMIA, J. K. Current intercropping observations and future trends in arabica coffee, Kenya. **Outlook on Agriculture**, v. 22(1), p. 43-48, 1993.
- PETEK, M. R.; PATRÍCIO, F. R. A. Cultivares resistentes ou tolerantes a fatores bióticos e abióticos desfavoráveis: ponto-chave para a cafeicultura sustentável. **O agrônomo**, Campinas, v. 59(1), 2007.
- RENA, A. B.; MAESTRI, M. Fisiologia do cafeeiro. In: RENA, A. B., et al. **Cultura do cafeeiro: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1986. p. 14-85.
- RICCI, M. S. F.; COSTA, J.R.; PINTO, A.N.; SANTOS, V.L.S. Cultivo orgânico de cultivares de café a pleno sol e sombreado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, p. 569-575, 2006.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R 2.10.1**. Wien, Austria: Institute for Statistics and MathematicsWU Wirtschaftsuniversität Wien, 2010.
- SARRUGE, J. R.; HAAG, H. P. **Análises químicas em plantas**. Piracicaba: ESALQ, 1974. 58 p.

- SCHALLER, M.; SCHROTH, G.; BEER, J.; JIMÉNEZ, F. Species and site characteristics that permit the association of fast – growing trees with crops: the case of *Eucalyptus degulata* as coffee shade in Costa Rica. **Forest ecology and management**, Amsterdam, v. 175, p. 205-215, Mar. 2003.
- SEVERINO, L. S.; OLIVEIRA, T. S. Sistema de cultivo sombreado do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) na região de Baturité, Ceará. **Recista Ceres**, v. 46, p. 635-652, 1999.
- SOTO PINTO, L.; PERFECTO, I.; CABALLERO NIETO, J. C. Shade over coffee: its effects on berry borer, leaf rust and spontaneous herbs in Chiapas, México. **Agroforestry Systems**, Amsterdam, v. 55, p. 37-45, Jun. 2002.
- STATSOFT. **Statistica 10 Trial Version**. Tulsa:Statsoft, 2010
- THEODORO, V. C. A. **Transição do manejo de lavoura cafeeira do sistema convencional para o orgânico**. Universidade Federal de Lavras, Programa de Pós Graduação em Agronomia. Tese (Doutorado). Lavras - MG, p. 142. 2006.
- TÓTOLA, M. R.; CHAER, G. M. Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores de qualidade dos solos. In: NOVAIS, R. F. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002.
- USDA - UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **World Agricultural Production**. Foreign Agricultural Service - Office of Global Analysis. [S.l.]. 2011a.
- USDA - UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Coffee: World Market and Trade**. Foreign Agricultural Services - Office of Global Analysis. [S.l.]. 2011b.
- WARDLE, D. A.; LAVELLE, P. Linkages between soil biota, plant litter quality and decomposition. In: CADISCH, G.; GILLER, K. E. **Driven by nature: Plant litter quality and decomposition**. Cambridge: CAB International, 1997. p. 107-124.
- WOHLENBERG, E. V.; REICHERT, J.M.; REINERT, D.J.; BLUME, E. Dinâmica da agregação de um solo franco-arenoso em cinco sistemas de culturas em rotação e em sucessão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 891-900, 2004.
- WOLTERS, V. Invertebrate control of soil organic matter stability. **Biology and Fertility of Soils**, v.31, p.1-19, 2000.

YOUNG, A. **Tropical soils and soil survey**. Cambridge: Cambridge University Press, 1976. 468 p.

APÊNDICE I – LOADINGS (SCORES) DAS COMPONENTES PRINCIPAIS

VARIÁVEIS	CP1	CP2	CP3
pH	-0,956800	0,106416	0,064333
P solo	-0,631504	-0,041195	0,297749
Al solo	0,891331	0,065317	0,270391
SB solo	-0,855526	0,168459	0,413864
t solo	-0,833546	0,178715	0,445718
T solo	0,073155	0,374049	0,758604
V solo	-0,968516	0,010229	-0,029548
MO solo	0,110680	0,682462	-0,463199
H triagem	0,008130	0,815618	0,168280
D triagem	0,024210	0,798432	0,365034
VTP	0,736554	0,325625	0,146239
Densidade	-0,702687	-0,299894	-0,432044
Fitomassa	-0,106187	0,780467	-0,215310
Produção	0,263170	-0,714561	0,383261
Respiração	-0,279012	0,386203	-0,736744
Carbono	-0,839595	-0,142725	0,058920

CASOS	CP1	CP2	CP3
CSP 1	-0,54077	-3,04114	-0,19604
CSP 2	-3,55740	-2,21191	2,13690
CSP 3	1,28163	-3,51112	-0,51772
CSP 4	-1,28107	0,70791	-0,64445
CSP 5	-2,36193	1,60230	-1,13961
CSP 6	-0,03049	-0,26840	-2,34337
CSM 1	3,73613	-1,25027	1,33243
CSM 2	2,05353	-0,32873	1,43624
CSM 3	3,90142	0,46846	1,27374
CSM 4	1,97487	-0,26694	-1,83354
CSM 5	1,37863	0,61377	-0,17837
CSM 6	4,57271	2,81190	0,64358
CSI 1	-1,72861	-0,23084	1,35180
CSI 2	-1,07747	-1,16378	-0,02879
CSI 3	-3,89898	2,15658	3,24309
CSI 4	-1,84867	0,74327	-1,89371
CSI 5	-1,85866	-0,35532	-1,88716
CSI 6	-0,71487	3,52425	-0,75500