



**COLONIZAÇÃO MICORRÍZICA, NUTRIÇÃO E
MORFOLOGIA DO CAFEIRO EM
MONOCULTIVO E SISTEMAS
AGROFLORESTAIS**

RENATO ALVES COELHO

2008

RENATO ALVES COELHO

**COLONIZAÇÃO MICORRÍZICA, NUTRIÇÃO E MORFOLOGIA DO
CAFEIRO EM MONOCULTIVO E SISTEMAS AGROFLORESTAIS**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Fitotecnia, para a obtenção do título de Mestre.

Orientadora
Profa. *D.Sc.* Sylvana Naomi Matsumoto

Co-orientador
Prof. *D.Sc.* Francisco Adriano de Souza

VITÓRIA DA CONQUISTA

BAHIA-BRASIL

2008

C619c Coelho, Renato Alves

Colonização micorrízica, nutrição e morfologia do cafeeiro em monocultivo e sistemas agroflorestais / Renato Alves Coelho, 2008.

83 f.: Il.

Orientadora: Sylvana Naomi Matsumoto.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Vitória da Conquista, 2008.

Referências: 71-83.

1. Café – Manejo agroflorestal. 2. Cafeeiro - Morfologia. 3. Plantas – Efeito da sombra. 4. Fitotecnia - Tese. I. Matsumoto, Sylvana Naomi. II. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Programa de Pós-Graduação em Agronomia. III. T.

CDD: 633.73

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA – UESB
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
Área de Concentração em Fitotecnia

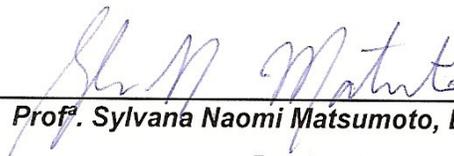
Campus de Vitória da Conquista - BA

DECLARAÇÃO DE APROVAÇÃO

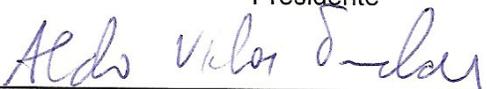
Título: “Colonização Micorrizica, Nutrição e Morfologia do Cafeeiro em Monocultivo e Sistema Agroflorestal”.

Autor: Renato Alves Coelho

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE EM AGRONOMIA, ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM FITOTECNIA, pela Banca Examinadora:



Prof. Sylvana Naomi Matsumoto, D.Sc. – UESB
Presidente



Prof. Aldo Vilar Trindade, D. Sc.- EMBRAPA/CNPMP



Prof. Paulo Araújo Ramos Cairo, D. Sc - UESB

Data de realização: 14 de agosto de 2008.

Estrada do Bem Querer, Km 4 – Caixa Postal 95 – Telefone: (77) 3424-8731 – Faz: (77) 3424-1059 – Vitória da Conquista – BA – CEP: 45083-900 – e_mail: mestrado.agronomia@uesb.br

*A minha mãe, Rosilda Alves Coelho,
A meu pai, Odilon Batista Coelho,
A minha irmã, Leiliane Alves Coelho,
Aos meus irmãos, Adriano Alves Coelho e
Fabrício Alves Coelho,
Aos meus familiares e amigos,*

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Meus sinceros agradecimentos à Prof. Dr^a Sylvana Naomi Matsumoto, pela orientação, paciência, compreensão, confiança, incentivo, apoio nos momentos de dificuldade e conhecimentos compartilhados na realização do estágio em docência, da disciplina de Fisiologia Vegetal e desta dissertação.

Ao Dr. Francisco Adriano de Souza, pesquisador da Embrapa Agrobiologia, pela co-orientação, apoio e viabilização das análises microbiológicas do solo e análises químicas do tecido foliar.

Ao Sr. Izaltiene Rodrigues Gomes, por permitir e colaborar para a realização deste trabalho, em sua propriedade particular.

À MSc. Carmem Lacerda Lemos, pela amizade e companheirismo na realização das atividades das disciplinas e do estágio de docência.

Ao MSc. Anderson Brito, pela amizade, companheirismo e colaboração nas atividades desenvolvidas durante a realização da disciplina Fisiologia Vegetal Avançada.

Aos estagiários do Laboratório de Fisiologia Vegetal da UESB, Campus de Vitória da Conquista, Joice Bonfim, Fábio Ricardo, Marcos, Jessé Moreira, Germano, Maycon Murilo, Jackson e Daniela da Hora, pela amizade e colaboração nas atividades deste estudo.

Aos estagiários Wardson, Gabriel, Isabel e Glória, pelo companheirismo e apoio durante a realização dos procedimentos realizados no Laboratório de Micorrizas da Embrapa Agrobiologia.

Aos professores Dr. Adalberto Novaes, Dr^a Raquel Maluf, Dr^a Tiyoko Rebouças, Dr. Anselmo Viana, Dr. Abel Rebouças, Dr^a Luciana Castro e Dr^a Ana Palmira, pelos conhecimentos compartilhados em suas disciplinas.

Ao Prof. Dr. Paulo Cairo, pela confiança e orientação durante o estágio em docência na disciplina de Fisiologia Vegetal II.

Às secretárias do Programa de Pós-Graduação, Vera e Juliana, pela disposição em ajudar durante a realização do curso.

Ao Dr. Aldo Vilar Trindade, pesquisador da Embrapa Mandioca e Fruticultura, pela oportunidade de aprimorar meus conhecimentos sobre análise de micorrizas.

À Dr^a Rosilaine Carrenho, da Universidade Estadual de Maringá – UEM – pela identificação dos esporos de fungos micorrízicos.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia – FAPESB – pela concessão da bolsa de estudo.

RESUMO

COELHO, R. A. **Colonização micorrízica, nutrição e morfologia do cafeeiro em monocultivo e sistemas agroflorestais**. Vitória da Conquista - BA: UESB, 2008. 83p. (Dissertação - Mestrado em Agronomia, Área de Concentração em Fitotecnia)*

Com o objetivo de avaliar as interações entre fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) e aspectos fisiológicos de cafeeiros cultivados em sistema sob manejo agroflorestal, foi conduzido este experimento no município de Barra do Choça-BA. O estudo foi realizado em uma propriedade particular, em quatro campos experimentais: cafeeiro cultivado a pleno sol (MONO); cafeeiro conduzido em associação com o vinhático (SAF-CV); cafeeiro associado ao abacateiro e ingazeiro (SAF-CAI); e mata nativa (MATA). As avaliações foram realizadas em Março/2007, época úmida, coincidente com a granação do café, e em Agosto/2007, época seca, coincidente com a pós-colheita. Os dados foram submetidos ao teste “t” de Bonferroni por meio do programa SISVAR (versão 5.0) e correlação de Pearson por meio o programa SAEG (versão 9.1). A elevada restrição luminosa nos sistemas agroflorestais, neste estudo, causou adaptações morfológicas aos cafeeiros, bem como interferiu diretamente sobre a população de plantas espontâneas. A população de plantas espontâneas foi relacionada ao número de esporos de fungos micorrízicos nos solos dos sistemas. A frutificação do cafeeiro determinou a colonização micorrízica e a nutrição foliar para nitrogênio e fósforo. No sistema agroflorestal foi observado menor teor de água no solo.

Palavras-chave: Nutrientes. Arborização. Sombreamento. Fungo. Radiação Fotossintética. Umidade do Solo.

* Orientadora: *D.Sc* Sylvana Naomi Matsumoto, UESB e co-orientador: *D.Sc*. Francisco Adriano de Souza, CNPAB – EMBRAPA AGROBIOLOGIA.

ABSTRACT

COELHO, R. A. **Mycorrhizal colonization, nutrition and morphology of coffee plants in monoculture and agroforestry systems.** Vitória da Conquista-BA: UESB, 2008. 83 p. (Dissertação - Mestrado em Agronomia, Área de Concentração em Fitotecnia)*

With the objective of evaluating the interaction among arbuscular mycorrhizal fungi (AMFs) and physiological aspects of coffee plants cultivated in system under agroforestry management, this experiment was done in the municipality of Barra do Choça – BA. The study was carried out in a private property, in four experimental fields: coffee plants cultivated under full sun (MONO); coffee plants managed along with *Plathymenia reticulata* (SAF – CV); coffee plants associated with avocado and *Inga edulis* trees (SAF – CAI); and native forest (MATA). The evaluations were carried out in March/2007, rainy season, coincident with the coffee grain formation, and in August/2007, dry season, coincident with the mature stage. The data were submitted to Bonferroni's "t" test through the SISVAR program (version 5.0) and Pearson's correlation through the SAEG program (version 9.1). The intense light restriction in agroforestry systems, in this study, caused morphological adaptations to coffee plants, and interfered directly on the population of spontaneous plants as well. The population of spontaneous plants was related to the number of mycorrhizal fungal spores in the soils of the systems. The fruiting of coffee plants determined the mycorrhizal colonization and the foliar nutrition for nitrogen and phosphorus. In the agroforestry system the lowest level of soil water content was observed.

Keywords: Nutrients. Forestry. Shading. Arbuscular Mycorrhizal Fungus. Photosynthetic Assimilatory Radiation. Soil Water.

* Orientadora: *D.Sc* Sylvana Naomi Matsumoto, UESB e co-orientador: *D.Sc*. Francisco Adriano de Souza, CNPAB – EMBRAPA AGROBIOLOGIA.

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 - Análise química do solo rizosférico dos sistemas de produção de café solteiro (MONO), associado ao vinhático (SAF-CV) e associado ao abacateiro e ingazeiro (SAF-CAI), na profundidade de 0 a 20 cm. Barra do Choça-BA, março e agosto de 2007. 38
- Tabela 2 - Análise física do solo rizosférico dos sistemas de produção de café solteiro (MONO), associado ao vinhático (SAF-CV) e associado ao abacateiro e ingazeiro (SAF-CAI), na profundidade de 0 a 20 cm. Barra do Choça-BA, março e agosto de 2007. 39
- Tabela 3 - Valores da radiação fotossinteticamente ativa (RFA) global, na rua e no interior da copa do cafeeiro, níveis de sombreamento do sistema e de auto-sombreamento do cafeeiro, calculados com base nos valores das RFA global, na rua e no interior da copa do cafeeiro. Barra do Choça-BA, março e agosto de 2007. 45
- Tabela 4 - Caracterização morfológica do cafeeiro (altura, diâmetro do caule, diâmetro da copa e área foliar) em sistema de cultivo de café a pleno sol (MONO) e dois sistemas agroflorestais (SAF-CV e SAF-CAI). Barra do Choça-BA, Março e Agosto de 2007. 49
- Tabela 5 - Umidade gravimétrica do solo (US) rizosférico de cafeeiros em monocultivo (MONO), sistema agroflorestal com vinhático (SAF-CV) e sistema agroflorestal com abacateiro e ingazeiro (SAF-CAI), na profundidade de 0 – 20 cm. Barra do Choça-BA. Março e Agosto de 2007..... 52
- Tabela 6 - Teores de macronutrientes foliares de cafeeiros em monocultura (MONO) e em sistema agroflorestal associado ao vinhático (SAF-CV) e associado ao abacateiro e ingazeiro (SAF-CAI), em março e agosto de 2007. Barra do Choça-BA..... 55
- Tabela 7 - Relação entre os nutrientes foliares de café em (g/kg)/(g/kg) nos sistemas de cultivo de café a pleno sol (MONO), associado ao vinhático (SAF-CV) e associado ao abacate e ao ingá (SAF-CAI), em março e agosto de 2007. Barra do Choça-BA. 57
- Tabela 8 - Massa seca ($t \cdot ha^{-1}$) das plantas espontâneas de sistemas de cultivo de café a pleno sol (MONO), em associação com vinhático (SAF-CV) e associado ao abacateiro e ingazeiro

	(SAF-CAI) e mata nativa (MATA) em duas épocas de avaliação. Barra do Choça-BA. Agosto/06 e março/07.....	60
Tabela 9	- Espécies dos esporos de Fungos Micorrízicos Arbusculares coletados no solo dos três sistemas de cultivo de café (monocultura – MONO; associado ao vinhático – SAF-CV; associado ao abacate e ingá – SAF-CAI) e mata nativa (MATA). Barra do Choça-BA, março e agosto de 2007.	63
Tabela 10	- Colonização por Fungos Micorrízicos Arbusculares (FMAs) em raízes de cafeeiros cultivados a pleno sol (MONO) e em sistema agroflorestal associado ao vinhático (SAF-CV) e associado ao abacateiro e ingazeiro (SAF-CAI). Barra do Choça-BA. Março e agosto de 2007.....	64
Tabela 11	- Correlações entre as características Umidade do Solo (US), Colonização Micorrízica (CM) e macronutrientes foliares do cafeeiro (N, P, K, Ca e Mg). Barra do Choça-BA. 2007.	67

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Precipitação pluvial mensal (mm) no período de janeiro de 2007 e setembro de 2007. Barra do Choça-BA.	32
Figura 2 - Sistema de produção de café a pleno sol (MONO) em Março (A) e Agosto (B) de 2007. Barra do Choça-BA.	35
Figura 3 - Sistema de produção de café associado ao vinhático (SAF-CV) em Março (A) e Agosto (B) de 2007. Barra do Choça-BA.	35
Figura 4 - Sistema de produção de café associado ao abacateiro e ingazeiro (SAF-CAI) em Março (A) e Agosto (B) de 2007. Barra do Choça-BA.	35
Figura 5 - Utilização do ceptômetro de barra para medir a radiação fotossinteticamente ativa global (A) e na rua (B) e detalhe da leitura (C).....	36
Figura 6 - Amostras representativas dos esporos extraídos dos solos dos sistemas de produção de café. Barra do Choça-BA.	41
Figura 7 - Seguimento de raiz de cafeeiro com um ponto de colonização por FMA indicado pela seta (A) e seguimento sem colonização (B).	42
Figura 8 - Placa de petri quadriculada (A) e placa de petri quadriculada com seguimentos de raízes finas de cafeeiro para avaliação da colonização (B).	42
Figura 9 - Esporos de fungos micorrízicos arbusculares extraídos do solo de mata nativa (MATA) e sistemas de manejo de café em monocultivo (MONO), associado ao vinhático (SAF-CV) e associado ao abacateiro e ingazeiro (SAF-CAI), avaliado em março e agosto de 2007. Barra do Choça-BA.....	59

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AFI	Área foliar individual
Al	Alumínio
Ca	Cálcio
CC	Capacidade de Campo
CM	Colonização Micorrízica
CTC	Capacidade de troca catiônica
Cu	Cobre
CV	Coefficiente de variação
FBN	Fixação biológica de N
FMAAs	Fungos micorrízicos arbusculares
H	Hidrogênio
K	Potássio
Mg	Magnésio
MO	Matéria Orgânica
MONO	Sistema de monocultivo de café
MS	Matéria seca
N	Nitrogênio
P	Fósforo
pH	Potencial hidrogeniônico
PMP	Ponto de murcha permanente
PVL	Polivinil-álcool
RFA	Radiação Fotossinteticamente Ativa
RN	Redutase do nitrato
S	Enxofre
SAEG	Sistema de análises estatísticas e genéticas
SAFs	Sistemas agroflorestais
SAF-CAI	Sistema agroflorestal constituído pelo cafeeiro, abacateiro e ingazeiro
SAF-CV	Sistema agroflorestal constituído pelo cafeeiro e vinhático
SISVAR	Sistema de Análise de Variância
US	Umidade do solo
Zn	Zinco

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	16
2.1 Origem do cafeeiro	16
2.2 O cafeeiro em sistemas agroflorestais.....	16
2.2.1 Aspectos gerais	16
2.2.2 Sombreamento e radiação fotossinteticamente ativa.....	18
2.2.3 Umidade do solo em sistemas agroflorestais.....	19
2.2.4 Produção do cafeeiro em sistemas sombreados	20
2.3 Nutrição de cafeeiros	21
2.4 Fungos micorrízicos arbusculares.....	25
2.4.1 Aspectos gerais	25
2.4.2 Colonização radicular e esporulação micorrízica	26
2.4.3 Cafeeiros e fungos micorrízicos arbusculares.....	28
3 MATERIAL E MÉTODOS	32
3.1 Localização	32
3.2 Delineamento experimental e análise estatística.....	33
3.3 Descrição dos sistemas de produção de café	33
3.3.1 Monocultura.....	33
3.3.2 Sistema Agroflorestal 1	34
3.3.3 Sistema Agroflorestal 2.....	34
3.4 Avaliações realizadas.....	36
3.4.1 Determinação da radiação fotossinteticamente ativa e do nível de sombreamento dos sistemas	36
3.4.2 Umidade do solo	37
3.4.3 Análise química e física do solo.....	38
3.4.4 Caracterização morfológica do cafeeiro	39
3.4.5 Avaliação nutricional foliar do cafeeiro.....	40
3.4.6 Avaliação de fungos micorrízicos arbusculares	40
3.4.7 Estimativa da fitomassa das plantas espontâneas	43
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	44
4.1 Determinação da radiação fotossintética e dos níveis de sombreamento	44
4.2 Caracterização morfológica do cafeeiro	48
4.3 Umidade do solo	51
4.4 Estado nutricional foliar do cafeeiro.....	53
4.5 Fungos micorrízicos arbusculares.....	58

4.6 Aspectos abióticos relacionados a colonização micorrízica	66
5 CONCLUSÕES	70
REFERÊNCIAS.....	71

1 INTRODUÇÃO

A associação do cafeeiro com árvores traz vantagens como regulação dos extremos de temperatura, proteção contra ventos fortes, melhoria da infiltração de água no solo, diminuição da erosão, bem como elevar a qualidade da frutificação e da bebida.

A maior parte das propriedades de café do município de Barra do Choça-Bahia, é caracterizada por uma estrutura de pequenos produtores familiares. Devido a bienualidade da produção e a oscilação do mercado cafeeiro, a possibilidade de agregação de renda adicional para o agricultor torna-se altamente favorável. Os sistemas agroflorestais proporcionam tal condição, permitindo a exploração simultânea aos cultivos tradicionais de um ou mais componentes arbóreos. Tal consorciação permite a diversificação de geração de produtos como madeira, frutos, forragem, óleos essenciais, ou apenas contribuindo para a ciclagem de nutrientes.

Entretanto, é observada baixa produtividade de cafeeiros em sistemas sombreados. Essa baixa produtividade é decorrente de uma série de fatores, como o excesso de sombreamento, resultante da elevada densidade das espécies sombreadoras, da utilização de espécies arbóreas inadequadas, do desconhecimento da otimização de manejo das árvores e da nutrição mineral do cafeeiro. A grande diversidade das regiões cafeeiras dificulta ainda mais a compreensão e, em consequência, a difusão desta forma de cultivo no Brasil.

A maior parte dos trabalhos sobre cultivo de cafeeiros em sistemas agroflorestais se refere a esses sistemas apenas como sombreados. Esses trabalhos não quantificam a radiação fotossinteticamente ativa que incide sobre a planta e, muitas vezes, não informam se quer a densidade do componente

arbóreo. Observa-se também que confundem porcentagem de cobertura da área pelo estrato arbóreo com sombreamento.

O cultivo em sistema agroflorestal incrementa a complexidade da rede de interações entre componentes bióticos e abióticos, alterando a dinâmica do cultivo do cafeeiro. Os fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) são componentes desse sistema, que parecem favorecer a nutrição mineral dos cafeeiros cultivados em sistema arborizado. Entretanto, a maioria dos trabalhos realizados sobre FMAs em campo apresenta apenas avaliações sobre os esporos presentes no solo, mas pouco se esclarece sobre a colonização desses fungos no sistema radicular. A colonização da raiz pelo fungo, aliada à nutrição do cafeeiro, são bons indicadores da eficiência dessa associação.

Objetivou-se avaliar o efeito de fatores climáticos, do estágio fenológico e dos sistemas de cultivo sobre a colonização micorrízica e seus reflexos na nutrição mineral e na morfologia do cafeeiro.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Origem do cafeeiro

O cafeeiro é uma espécie que pertence a família Rubiaceae, a qual abrange mais de 10.000 espécies agrupadas em 630 gêneros. Devido ao centro de origem do gênero *Coffea* localizar-se na Etiópia, uma elevada diversidade de espécies do gênero *Coffea* distribui-se, geograficamente, em uma ampla região do continente africano, em Madagascar e regiões vizinhas (BERTHAUD; CHARRIER, 1988).

Embora exista um grande número de espécies de café, somente a *Coffea arabica* L. e a *Coffea canephora* Pierre têm importância econômica, uma vez que, aproximadamente, 70 % do café comercializado provêm das cultivares arábica e 30 % das cultivares de robusta (BERTHAUD; CHARRIER, 1988).

Durante vários anos, o café foi o produto agrícola que sustentou a economia de países emergentes, sendo uma das culturas mais tradicionais no Brasil e em países como Colômbia, México e Guatemala. Na América Latina a cafeicultura tem grande importância econômica e social (ALFARO-VILLATORO, 2004).

2.2 O cafeeiro em sistemas agroflorestais

2.2.1 Aspectos gerais

O manejo da cultura do café no continente americano é muito variado, apresentando, muitas vezes, adaptações às condições climáticas, edáficas e

socio-culturais. As distintas formas de produção e colheita provocam diferentes impactos sobre os recursos naturais envolvidos na produção e, aliadas ao grande número de variedades de café utilizadas, resultam em diferentes qualidades do café comercializadas no mundo (ALFARO-VILLATORO, 2004).

Os sistemas agroflorestais (SAFs) surgem como alternativa na busca da sustentabilidade da produção. A associação de espécies lenhosas (árvores, arbustos) com culturas agrícolas, de maneira simultânea ou em seqüência temporal, com interações ecológicas e/ou econômicas significativas entre os componentes, caracterizam esse sistema de produção (NAIR, 1993). O ambiente de sub-bosque, do qual o cafeeiro se originou, torna possível seu consórcio com espécies arbóreas, quando essa associação é conduzida de forma adequada.

A presença de espécies arbóreas resulta em redução da exposição do solo à radiação solar, intensificação da ciclagem de nutrientes, abscisão de folhas e galhos, proteção do solo contra erosão, e maior volume de raízes, que reduzem a volatilização e lixiviação do N (MUÑOZ; ALVARADO, 1997). Espécies arbóreas pertencentes a família das leguminosas, capazes de se associarem a bactérias fixadoras de nitrogênio (N), vêm sendo muito utilizadas no pré-cultivo ou em associação com a cultura principal devido ao aporte deste nutriente por meio do processo de fixação biológica de N (FBN) (RESENDE e outros, 2003). O aporte de N pela FBN resulta em menor dependência dos produtores por insumos externos e na diminuição dos custos de produção, além de favorecer a conservação dos recursos naturais da propriedade, tais como solo, água e biodiversidade (ALTIERI, 1999). A biodiversidade conservada nesses sistemas diminui o ataque de pragas (SANCHEZ, 2002).

A cafeicultura intensiva, caracterizada pelo cultivo adensado a pleno sol, é mais exigente em água e nutrientes e, em geral, deixa o solo mais desprotegido, principalmente durante a colheita, favorecendo a erosão (DONALD, 2004). A cafeicultura em SAFs tem conseguido aliar diversidade

vegetal, conservação dos recursos naturais e ecologia de paisagem à produção de base familiar e reduzir a utilização de insumos químicos. Os fatos citados são requisitos para se alcançar mercados diferenciados com maior valor agregado para a produção, como o mercado de produtos orgânicos.

2.2.2 Sombreamento e radiação fotossinteticamente ativa

De acordo com Jaramillo-Botero e outros (2006), a maior parte das áreas de cafeeiros sombreado na região equatorial se encontra em altitudes consideradas marginais para a cultura a pleno sol, o que pelas condições climáticas dessas regiões é considerado indispensável para a produção. Na Colômbia e Costa Rica predominam a policultura comercial (em que as árvores sombreadoras são geralmente frutíferas plantadas) e a sombra tecnificada.

Segundo Wintgens (2004), citado por Bote (2007), o limite de saturação lumínica, para cafeeiros sombreados, é $300 \mu\text{mol de fótons m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ e, para cafeeiros a pleno sol, $600 \mu\text{mol de fótons m}^{-2}.\text{s}^{-1}$. A quantidade de fótons que causa a fotoinibição da fotossíntese é $2200 \mu\text{mol m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ (NUNES e outros, 1993, citados por MORAIS e outros, 2003). Embora os limites de saturação lumínica e fotoinibição sejam frequentemente generalizados para os cafeeiros, Franck e outros (2007) postulam a existência de variações desses limites relacionados ao condicionamento das plantas aos gradientes de radiação fotossinteticamente ativa que ocorrem no ambiente de cultivo. Jaramillo-Botero (2007) em estudos sobre arborização de cafeeiros, observou valor anual médio de radiação incidente no local do experimento de $228 \mu\text{mol de fótons m}^{-2}.\text{s}^{-1}$, nas condições de Viçosa-Minas Gerais. Oliveira e outros (2006) observaram valores de 1100 a $2200 \mu\text{mol de fótons m}^{-2}.\text{s}^{-1}$, determinados no inverno e verão respectivamente,

durante o período das 11:00 às 13:00h, em Lavras-Minas Gerais. Nesse estudo, foram observados maiores valores no verão.

Em estudo realizado por Soto-Pinto e outros (2000) no México, foi observado que níveis de restrição de luz entre 23 e 38%, sob condições de arborização, foram favoráveis à produção dos cafeeiros e, a partir de 50%, houve redução da produção. Esse resultado foi similar ao observado na Colômbia por Farfan e Mestre (2004), onde a maior produção dos cafeeiros foi atingida sob 45% de sombreamento. Lunz e outros (2006), avaliando sistemas de cultivo de cafeeiros associados à seringueira em Piracicaba-São Paulo, em diferentes níveis de sombreamento, verificaram que índices entre 20 e 30% não afetaram a produção dos cafeeiros.

2.2.3 Umidade do solo em sistemas agroflorestais

De acordo com Black e Ong (2000), os SAFs podem elevar a eficiência de uso da água. A presença de dois ou mais componentes em um sistema de produção pode modificar as condições climáticas, resultando em aumento da umidade relativa e redução na velocidade do vento dentro do dossel, diminuindo a demanda evaporativa (CHIRWA e outros, 2007). Narain e outros (1998) observaram a redução da evaporação na ordem de 20 a 30% em sistema agroflorestal, bem como a diminuição do escoamento superficial em terras inclinadas, com incremento da água infiltrada e maior eficiência no uso da água. Em estudo realizado por Jaramillo e Cháves (1999), foi observado que os solos de cafezais sombreados com ingá (*Inga* sp.) não apresentaram *déficit* hídrico durante os períodos críticos, ao passo que nos cafezais a pleno sol ocorreram deficiências severas.

Neves e outros (2007) observaram que, no início do período seco, os sistemas de cultivo com maior diversidade (SAF) apresentaram maior teor de água no solo, à profundidade de 0-5 cm, comparativamente ao tratamento a pleno sol. Esse comportamento foi atribuído à adição de matéria orgânica em decorrência das podas e quedas das folhas das plantas consorciadas, o que diminuiu a perda de água por evaporação. Verificou-se que a introdução do componente arbóreo elevou o potencial de transpiração dos sistemas agroflorestais. Isso resultou na rápida e intensa redução da umidade do solo (US) em relação ao sistema a pleno sol.

2.2.4 Produção do cafeeiro em sistemas sombreados

A produtividade de cafeeiros em sistemas sombreados é muito variada e depende do local onde é desenvolvida a cultura da cultivar de café utilizada e do manejo agrônômico aplicado ao sistema. São poucos os relatos de cafeeiros sob sombra com excelentes resultados produtivos, comparáveis com a produção de cafeeiros a pleno sol altamente tecnificados (MELLO; GUIMARÃES, 2000). A maioria das experiências relatam produções extremamente baixas com relação à produção de cafezais a pleno sol em condições similares de cultivo (CAMPANHA, 2001).

Ricci e outros (2006) e Muschler (2001) verificaram que, embora o sombreamento tenha reduzido o número médio de ramos produtivos e de nós de cafeeiros, ocorreu produção de frutos com tamanhos maiores, alterando a classificação por peneira.. Portanto, apesar do sombreamento reduzir o diâmetro dos cafeeiros, o número de ramos produtivos e de nós por ramos (MORAIS e outros, 2003), o aumento da área foliar, do peso dos grãos (RICCI e outros, 2006) e a elevação do pegamento e vingamento de frutos nesses sistemas

(ESTÍVARIZ, 1997) resultam na obtenção de produção semelhante ao cultivo a pleno sol. Ricci e outros (2006) também observaram que cafeeiros a pleno sol apresentaram maior susceptibilidade à abscisão foliar promovida pela colheita em relação à condição de sombreamento natural.

2.3 Nutrição de cafeeiros

Um dos fatores que influi diretamente sobre a produção é o estado nutricional do cultivo, que é conhecido por meio da análise do tecido foliar do cafeeiro. Há uma premissa de que, dentro de certos limites existe uma correlação entre dose de nutriente fornecido, teor do mesmo na folha e produção das culturas (MARTINEZ e outros, 2000). Também é sugerida uma faixa dentro da qual o teor foliar do nutriente estaria adequado: nitrogênio (N) (2,9-3,2 %), fósforo (P) (1,2-1,6 g/kg), potássio (K) (18-22 g/kg), cálcio (Ca) (10-13 g/kg) e magnésio (Mg) (3,1-4,5 g/kg) (MARTINEZ e outros, 1999).

Em estudo realizado com lavouras de café situadas em diversas regiões de Minas Gerais, Martinez e outros (2003a) observaram que a situação nutricional das lavouras cafeeiras daquela região difere de acordo com a localidade e com o ano amostrado. Os problemas nutricionais foram mais acentuados nas lavouras menos produtivas. Foram observados maiores desequilíbrios em relação aos micronutrientes e no ano de alta produção.

De acordo com Malavolta (1996), além do teor do nutriente isolado, a relação adequada entre pares de elementos também fornece informação sobre o estado nutricional da planta: N/P (16-18), N/K (1,3-1,4), N/Ca (2,3-2,7), N/Mg (8,7-8,9), K/Ca (1,7-2,1), K/Mg (6,1-6,6), K/P (12,7), Ca/P (6,7-7,0), Ca/Mg (3,2-3,9). Ainda que seja ressaltada a importância dos pares de nutrientes, em trabalho realizado com plantas de café por Martinez e outros (2003b), foi

observada correlação positiva com a produção apenas com os pares S (enxofre)/Cu (cobre) e S/Zn (zinco) foliares. Porém, nesse mesmo trabalho, foi observado maior número de correlações entre a produção e os pares de nutrientes das flores. Em estudo realizado por Marques e outros (1999) com cafeeiros durante sete anos agrícolas, foi feita a relação dos pares de nutrientes e de nutrientes isolados com a produção. Foi observado maior número de correlações entre os pares de nutrientes foliares e a produção, embora em sua maioria, negativas. Para os nutrientes foliares isolados, correlacionou-se com a produção o Ca e o S, positivamente, e o P, negativamente.

De acordo com Pereira (1999), o aumento no teor de N e K influenciou positivamente a formação de ramos e de área foliar em cafeeiros, sendo que o N foi efetivo em influenciar o aumento no número de nós e de ramos plagiotrópicos. Em estudo realizado por Neves e outros (2006), foi verificado maiores teores de K e P, em relação ao total da planta de cafeeiro, nos frutos e de N nas folhas. Também observaram maior acúmulo de matéria seca nas raízes, seguidas dos frutos, folhas, ramos plagiotrópicos e, por último, ramos ortotrópicos.

Os frutos do cafeeiro atuam como “drenos” de fotoassimilados, provocando uma diminuição na massa seca das folhas, nos teores de amido, proteínas e açúcares redutores (GONÇALVES, 2007). Conforme observado por Valarini e outros (2005), os frutos também atuam como drenos dos nutrientes absorvidos pelo cafeeiro e podem mobilizar nutrientes das folhas e de outras partes da planta. Observou-se, no referido estudo, que foram reduzidos os teores de macronutrientes nas folhas dos cafeeiros à medida que os frutos se desenvolveram. Em estudo realizado por Laviola e outros (2008) sobre acúmulo de NPK em frutos de cafeeiros cultivados em quatro altitudes (720, 800, 880 e 950 m), em Martins Soares-MG, observou-se que, no estágio de expansão rápida dos frutos, a porcentagem de acúmulo de matéria seca (MS) e NPK dos frutos

foram maiores na altitude de 720 m, comparado principalmente a altitude de 950 m. A taxa máxima de acúmulo diário no estágio de granação-maturação apresentou tendência de ser mais tardia com elevação da altitude. Verificou-se que a demanda de N, P e K foi relativamente elevada já no estágio de expansão rápida do fruto, embora a fase de maior demanda tenha sido a de granação-maturação do fruto.

Em experimento realizado por Borges e outros (2004), na região do Alto Parnaíba, foi verificado que Mn, K, S, N e P, no tecido foliar, foram os principais nutrientes limitantes à produtividade do cafeeiro naquela região.

Em estudo sobre repartição de nutrientes em ramos produtivos de cafeeiros, realizado por Malavolta e outros (2002), foi observado que, para a variedade catuaí, a folha representou 61% do N, 37% do P, 56% do K, 48% do Ca e 31% do Mg totais (flor+folha+ramo). Foi observado também que as flores do cafeeiro representaram um significativo dreno temporário de nutrientes e por isso a adubação deve ser realizada antes do florescimento.

Augusto e outros (2007) realizaram estudo sobre concentração foliar de nutrientes em cultivares de café arábica sob espaçamentos adensados. Fizeram avaliações aos 21 e 34 meses após o plantio. Observaram que o adensamento evidenciou diferenças entre as cultivares na capacidade de absorção ou translocação dos macronutrientes N, K e S. Verificaram que, aos 34 meses após o plantio, o adensamento influenciou os teores foliares de P, K e Mg dos cafeeiros. No entanto, o espaçamento não afetou a absorção do N, P e K para algumas cultivares. Prezotti e Rocha (2004) também realizaram estudo sobre nutrição de cafeeiro em diferentes densidades e doses de NPK. Observaram maior exigência de N pelos cafeeiros em anos de baixa produtividade. Os cafeeiros submetidos ao sistema de cultivo adensado apresentaram maiores teores foliares de P e K quando comparados àqueles cultivados em espaçamentos mais largos.

Em relação aos SAFs com café, é freqüente encontrar a cultura associada com árvores leguminosas. O sucesso dessa associação depende da escolha adequada das espécies arbóreas e do manejo, visando minimizar a competição entre as árvores e o cafezal (DaMATTA; RENA, 2002; SCHALLER e outros, 2003). Em experimento realizado por Coelho e outros (2006), verificou-se que o teor de N na folha de cafeeiro (*Coffea canephora*), associado à gliricídia (*Gliricidia sepium*) e à bananeira (*Musa spp*), manteve-se acima de 3%, sendo esse teor considerado adequado por Martinez e outros (1999). Esse alto valor de N nas folhas do cafeeiro associado à gliricídia, foi atribuído a deposição de serapilheira (folhas e ramos) e a fixação biológica (FBN). Jesus e outros (2006) observaram teores foliares de K mais elevados em cafeeiros cultivados em SAF do que nos cafeeiros em monocultivo. Em estudo realizado por Ricci e outros (2006) com seis cultivares de café arábica verificou-se que, comparativamente ao cultivo a pleno sol, o cafeeiro no SAF apresentou maiores teores de N e de Mg no tecido foliar, não sendo alterados os teores de P, K e Ca.

Embora os SAFs com café proporcionem a conservação do solo e a manutenção e incremento da biodiversidade (CARDOSO e outros, 2001), a baixa produtividade é um grande fator limitante para a difusão destes sistemas de produção. A baixa produção é decorrente da competição por nutrientes, água e luz entre as árvores e os cafeeiros. Assim, torna-se difícil diferenciar os efeitos de cada um destes fatores de forma independente, especialmente no caso da luz, já que a presença de árvores não só afeta a intensidade da luz incidente na cultura, como também cria um microclima local (RENA e outros, 2001).

2.4 Fungos micorrízicos arbusculares

2.4.1 Aspectos gerais

A microbiota do solo, principalmente os fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) e as bactérias fixadoras de nitrogênio, tem grande influência sobre a diversidade e produtividade de plantas (VAN DER HEIDEN e outros, 1998).

Os FMAs estabeleceram simbiose mutualística com a maioria das espécies de plantas tropicais, sendo considerada a simbiose mais comum entre raízes de plantas e microrganismos (SMITH; READ, 1997). Essa simbiose é essencial para a manutenção do equilíbrio dos ecossistemas agrícolas e naturais, devido a sua interação em processos com absorção e transferência de nutrientes para as plantas. Além disso, as hifas fúngicas formam uma complexa rede que envolve as partículas de solo, contribuindo para a manutenção e formação de agregados mais estáveis, que favorecem o intercâmbio gasoso e hídrico no solo (MILLER; JASTROW, 2000; RILLIG, 2004), favorecendo o desenvolvimento vegetal. As plantas mantêm essa interação com os FMAs, favorecendo-os com a cessão de parte do carbono fixado a partir da fotossíntese, podendo chegar a 20% do total (JOHNSON e outros, 2002). Isso caracteriza a relação mutualística, que, pela sua eficiência e funcionalidade, tem prevalecido desde o surgimento das primeiras plantas terrestres há mais de 500 milhões de anos (BRUNDRETT, 2002).

Os FMAs também melhoram as relações hídricas das plantas (AUGÉ, 2004) e contribuem para o desenvolvimento vegetal, mesmo que sob condições adversas do ambiente (ENTRY e outros, 2002). Dessa forma, a inoculação de FMAs tem sido empregada na reabilitação de áreas degradadas (CAPRONI,

2001) e para a sustentabilidade de sistemas agrícolas (JOHANSSON e outros, 2004).

Os FMAs necessitam estar associados às plantas compatíveis para que possam se multiplicar. Esses fungos são de ocorrência generalizada nos solos. Sabe-se que práticas agrícolas (aração, adubação, uso de agroquímicos) e manejo da vegetação (cobertura viva, capinas, monocultura e policulturas) têm grande influência sobre a diversidade e abundância desses fungos. O cultivo de planta não-hospedeira, o pousio prolongado sem vegetação, a erosão, a compactação, o uso de fertilizantes em quantidades excessivas e o uso de agrotóxicos sistêmicos estão entre os principais fatores que concorrem para redução ou eliminação dos FMAs. A monocultura tem efeito negativo sobre o potencial de inóculo de FMAs, porque geralmente selecionam espécies mais adaptadas ao agrossistema, mas de eficiência simbiótica menor (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

De acordo com Koide e Dickie (2002), a colonização por FMAs, por viabilizar maior vigor ao desenvolvimento da planta, maximiza os processos de reprodução das mesmas.

O benefício dos FMAs nativos para a cultura principal é dependente do manejo da cobertura vegetal, o qual influencia o grau da associação micorrízica e a comunidade dos FMAs (BAUMGARTNER e outros, 2004). Rêgo e outros (2004) observaram que o manejo com espécie leguminosa na entrelinha de pomar de citros foi favorável à elevada contribuição dos FMAs nativos no crescimento e na nutrição de mudas de limão-cravo.

2.4.2 Colonização radicular e esporulação micorrízica

A Colonização Micorrízica (CM) é uma característica que pode ser afetada por inúmeros fatores como a espécie vegetal, a idade da planta, a

densidade de raízes, dos propágulos de FMA no solo, a eficiência de colonização de FMA e o manejo do solo, dentre outros (AFEK e outros, 1990). É difícil comparar a colonização micorrízica de diferentes plantas devido a compatibilidade diferenciada com as espécies de FMA existentes no solo e a variação nas características genéticas das plantas (SMITH; GIANINAZZI-PEARSON, 1988), que determinam sua dependência às micorrizas.

De acordo com Saggin-Júnior e Siqueira (1996), fundamentados em dados de colonização observados em lavouras cafeeiras adultas na Colômbia e em São Paulo, a CM pode ser afetada, positiva ou negativamente, pela idade da lavoura. Esses autores verificaram que, na Colômbia, o cafeeiro adulto apresentou maior colonização, podendo tal fato estar relacionado ao sombreamento das lavouras. Este manejo teria favorecido a CM das plantas por fungos micorrízicos arbusculares e promovido maior sustentabilidade do agroecossistema cafeeiro, em relação ao cultivo convencional praticado em São Paulo.

O elevado direcionamento de metabólitos aos frutos e restrito transporte para as raízes, determinam menores taxas de colonização micorrízica das raízes (MARSCHNER; TIMONEN, 2005). Desta forma, os produtos da fotossíntese destinados aos FMAs, numa relação de simbiose, essencial para ambos (HURST e outros, 2002) ficam comprometidos, o que restringe a colonização das raízes (BEREAU e outros, 2005). A colonização micorrízica também é favorecida pela umidade do solo mais próxima da capacidade de campo (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

As práticas do controle do mato podem ter efeito indireto sobre a colonização micorrízica pela morte das plantas espontâneas que são hospedeiras do fungo micorrízico (SCHREINER e outros, 2001).

A ocorrência de uma elevada esporulação é indicativo de uma adequada condição nutricional e ambiental ao fungo (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). A

maior quantidade de raízes também favorece a ocorrência de maior número de esporos (CARDOSO e outros, 2003).

As gramíneas possuem sistema radicular abundante e de rápido crescimento, com intenso contato entre raízes e propágulos de FMAs e grande capacidade de fornecer fotossintatos ao fungo (DANIELS-HETRICK; BLOOM, 1986), o que favorece a esporulação. Em ecossistemas naturais não perturbados freqüentemente, é observado pequeno número de esporos, o qual decorre da estabilidade do ecossistema (CAPRONI, 2001).

2.4.3 Cafeeiros e fungos micorrízicos arbusculares

O cafeeiro se beneficia da simbiose com FMAs a qual tem maior potencial em solos de baixa disponibilidade de nutrientes, principalmente fósforo, que é a característica predominante nos solos brasileiros (SILVA-FILHO; VIDOR, 2001).

O café arábica, apesar de ser uma espécie exótica, oriunda de matas com vegetação caducifólia da Etiópia, apresentou grande adaptação às condições edafo-climáticas brasileiras, possivelmente por se beneficiar dos FMAs presentes nos solos, os quais são capazes de estabelecer simbiose mutualística com o mesmo (SAGGIN-JÚNIOR; SIQUEIRA, 1996).

Balota e Lopes (1996a) encontraram seis espécies nativas associadas aos cafeeiros, com densidade entre 2 e 211 esporos em 100 mL de solo. Espécies do gênero *Acaulospora* apresentaram ocorrência de 94,5 % nas amostras avaliadas. Balota e Lopes (1996b) observaram valores médios para a colonização em cafeeiros em torno de 35 %. Também observaram variação sazonal dos FMAs associados aos cafeeiros, com menores valores de colonização no período de setembro a janeiro e maior densidade de esporos logo após o período de baixas temperaturas e precipitação, em setembro. A sazonalidade na esporulação de

FMA's estaria relacionada com o período de menor disponibilidade de fontes de carbono para o fungo, que corresponderia a frutificação do cafeeiro, quando os carboidratos são utilizados em maior intensidade pela planta. A partir dos estudos descritos anteriormente, foi verificado que a esporulação de espécies de FMA's associadas aos cafeeiros foi muito variável e que não necessariamente refletiram o grau de colonização das raízes pelos FMA's.

De acordo com Saggin-Júnior e Siqueira (1996) a colonização de raízes de cafeeiro no campo apresenta ampla variação, sendo influenciada pelas características do local, idade da planta e manejo da cultura sem muita influência da variedade ou fator genético da planta.

A variação dos índices de colonização micorrízica em lavouras cafeeiras adultas é muito grande e decorre de diferentes condições de obtenção dos dados (THEODORO e outros, 2003).

Colozzi-Filho e Cardoso (2000) observaram que a densidade de esporos e colonização micorrízica foram maiores em cafeeiros com leguminosas cultivadas nas entrelinhas. O maior número de esporos foi coletado na projeção da copa dos cafeeiros cultivados com mucuna cinzenta e caupí nas entrelinhas. Em cafezais consorciados com leguminosas para adubação verde, observaram que as espécies de FMA's no cafeeiro foram diferentes das encontradas na crotalária. No cafeeiro observou-se predominância de *Acaulospora* enquanto que na crotalária predominaram espécies de *Scutellospora* e *Gigaspora*. Maior diversidade de espécies foi encontrada nos cafeeiros sem leguminosas, sendo este comportamento explicado pela presença de ervas invasoras que ocorreram nas entrelinhas e que, possivelmente modificaram a população de FMA's. Elevado grau de ocorrência dos gêneros *Glomus* e *Acaulospora* foram observados por Muleta e outros (2007, 2008) em cultivos de café na Etiópia. De acordo com Öpik e outros (2006), a elevada abundância de *Glomus* ocorre independentemente do grau de distúrbio e forma de uso da terra. De maneira

geral, a riqueza de espécies de FMAs é reduzida à medida que se intensificam processos de degradação do solo (BODDINGTON; DODD, 2000).

Comparando a ocorrência de espécies de FMAs em diferentes ecossistemas, Macêdo e outros (2004) encontraram na cultura de café maior densidade de esporos, do que em áreas de pastagens, mata nativa e SAF com cacau. Os autores atribuíram a maior ocorrência de fungos nos cafeeiros à dependência micorrízica que esta planta apresenta. A maior diversidade de espécies vegetais na mata e no SAF avaliados não correspondeu a um maior número de esporos. Os autores atribuíram esse fato a menor dominância de FMAs em sistemas que apresentam alta diversidade de organismos no solo.

O cultivo de leguminosas altamente micorrízicas pode aumentar o potencial de inóculo de FMAs no solo, tanto da região do cultivo como também de áreas vizinhas, e isto pode ser particularmente importante em situações de monocultivos permanentes, como é o caso do cultivo do café e de citros, pois monoculturas prolongadas diminuem o potencial de inóculo natural do solo e a diversidade de espécies de FMAs (COLOZZI-FILHO; CARDOSO, 2000).

As informações sobre a ocorrência de FMAs em cafeeiros em produção não-inoculados mostram a predominância de espécies indígenas de baixa eficiência simbiótica (BALOTA; LOPES, 1996a). Espécies selecionadas eficientes normalmente não ocorrem no campo, e quando introduzidas via inoculação, têm dificuldade de permanecer no agrossistema (BALOTA; LOPES, 1996b).

A diversidade de espécies e a composição da comunidade de FMAs estão relacionadas com o número de espécies vegetais presentes no cafezal (COLOZZI-FILHO; CARDOSO, 2000).

Em cafezais sob manejo agroflorestal também foram observadas diferenças na composição e esporulação de espécies de FMAs. Em cafeeiros sombreados do Estado de Rondônia observou-se incrementos na esporulação de

FMA's com a introdução de essências florestais nos cafezais. A maior densidade de esporos foi encontrada em cafeeiros sombreados com teca (*Tectona grandis*), pinho cuiabano (*Parkia* sp.) e bandararra (*Schizolobium* sp.). A menor ocorrência de esporos foi encontrada no café solteiro (CARMO e outros, 2003). Entretanto, Scherer e outros (2004) observaram que o manejo orgânico de cafezais solteiros estimulou maior esporulação e colonização de FMA's quando comparados a cafeeiros orgânicos arborizados e sob manejo convencional. Em estudos realizados sobre distribuição de esporos de FMA's em SAFs no Sudoeste da Etiópia, Muleta e outros (2008) verificaram que fatores como distribuição espacial horizontal e vertical, espécies arbóreas e idade dos cafeeiros afetaram a densidade das espécies de esporos de FMA's.

Muthukumar e outros (2003) mencionaram que diferenças na composição de espécies, estrutura, perturbação e níveis de competição entre plantas determinaram os padrões de crescimento e distribuição de raízes, que por sua vez, afetam a associação micorrízica. Estes autores encontraram alta colonização de raízes e baixo número de esporos em sistemas florestais e questionaram a efetividade dos esporos como propágulos em sistemas diversificados, propondo a rede micelial e as raízes micorrizadas senescentes como meios de propagação.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização

A área do estudo localiza-se no município de Barra do Choça, no Sudoeste da Bahia, Planalto da Conquista, situado a latitude 14°51' Sul e longitude 41°08' Oeste com altitude média de 860m e precipitação média anual de aproximadamente 800 mm (Figura 1).

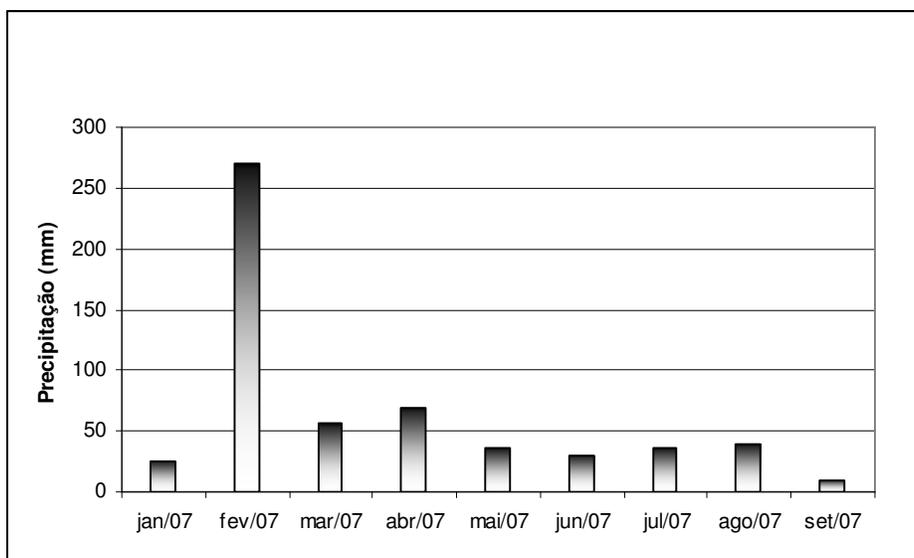


Figura 1 - Precipitação pluvial mensal (mm) no período de janeiro de 2007 e setembro de 2007. Barra do Choça-BA.

A pesquisa foi realizada em propriedade particular sob regime de agricultura familiar. Há muitos anos a família conduz as lavouras de café no manejo orgânico. As lavouras estão situadas em áreas de relevo plano e cada sistema recebeu o manejo adequado às exigências de cultivo, que serão descritas

mais detalhadamente a seguir. Não houve interferências quanto ao manejo adotado na propriedade.

3.2 Delineamento experimental e análise estatística

O estudo foi realizado em três campos experimentais de café (cafeeiro cultivado a pleno sol, cafeeiro associado ao vinhático, cafeeiro associado ao ingazeiro e abacateiro) e uma mata nativa. As avaliações foram realizadas em duas épocas: março (época de elevada precipitação - estação úmida) e agosto (época com pouca precipitação – estação seca) de 2007. A amostragem foi constituída, em cada campo experimental, por quatro repetições para as variáveis de solo e seis repetições para as demais. A unidade experimental foi definida por uma planta de café situada em disposição aleatória e representativa. Os dados foram submetidos ao teste “t” de Bonferroni, por meio do programa SISVAR (versão 5.0), e correlação de Pearson, por meio do programa SAEG (versão 9.1).

3.3 Descrição dos sistemas de produção de café

3.3.1 Monocultura

Este sistema de cultivo (Figura 2) foi constituído por cafeeiros conduzidos em sistema tradicional, configurando-se uma monocultura (MONO). Essa lavoura foi formada há sete anos, estava em produção, e os cafeeiros foram plantados no espaçamento de 3 m x 1 m, determinando uma densidade de 3.333 cafeeiros.ha⁻¹. Neste sistema, o cafeeiro foi adubado uma vez e roçado até quatro vezes por ano e feita uma capina.

3.3.2 Sistema Agroflorestal 1

Este sistema de produção foi formado pela associação do cafeiro com o vinhático (*Plathymenia* spp), uma espécie arbórea (Figura 3) (SAF-CV). Os cafeeiros foram plantados no espaçamento de 3 m x 1,5 m, totalizando 2.222 cafeeiros.ha⁻¹. Essa lavoura fora implantada havia 23 anos, sendo realizada poda rasa nos cafeeiros (recepa); por ocasião das avaliações a rebrota estava com dois anos. A última adubação mineral realizada neste sistema foi há 15 anos, sendo roçado uma vez por ano, sempre antes da colheita. A população de vinhático apresenta uma densidade de 1.255 árvores.ha⁻¹ e foi formada por meio de dispersão natural de uma árvore matriz que se localiza no interior da lavoura. O vinhático é uma espécie caducifólia, portanto, sofre uma desfolha natural que, nas condições locais, inicia em julho e estende-se até setembro, como também ocorre uma abscisão de galhos.

3.3.3 Sistema Agroflorestal 2

Neste sistema o cafeeiro foi associado ao ingazeiro (*Inga edulis*) e ao abacateiro (*Persea americana*) (SAF-CAI). A densidade do ingazeiro foi de 308 árvores.ha⁻¹ e a do abacateiro, 175 árvores.ha⁻¹, totalizando uma densidade arbórea de 483 árvores.ha⁻¹ (Figura 4). Este sistema foi plantado há 20 anos e foi recepado há sete anos. O cafeeiro foi mantido no espaçamento de 3 m x 1 m, apresentando uma densidade de 3.333 cafeeiros.ha⁻¹. Foi adubado há nove anos, sendo roçado uma vez por ano, antes da colheita. Não foram realizadas podas de manejo da sombra nas espécies arbóreas.



Figura 2 - Sistema de produção de café a pleno sol (MONO) em Março (A) e Agosto (B) de 2007. Barra do Choça-BA.



Figura 3 - Sistema de produção de café associado ao vinhático (SAF-CV) em Março (A) e Agosto (B) de 2007. Barra do Choça-BA.



Figura 4 - Sistema de produção de café associado ao abacateiro e ingazeiro (SAF-CAI) em Março (A) e Agosto (B) de 2007. Barra do Choça-BA.

3.4 Avaliações realizadas

O estudo foi realizado nos três agrossistemas de cultivo de café (tratamentos) anteriormente descritos. As avaliações foram realizadas em duas épocas diferentes e coincidentes com os seguintes estádios fenológicos do cafeeiro: maturação dos frutos (março de 2007) e pós-colheita (agosto de 2007). As avaliações realizadas foram as seguintes:

3.4.1 Determinação da radiação fotossinteticamente ativa e do nível de sombreamento dos sistemas

Utilizou-se um ceptômetro de barra (EMS-1, PPSsystems, UK) para determinar a Radiação Fotossinteticamente Ativa (RFA) Global, na rua e no interior da copa do cafeeiro (Figura 5).



Figura 5 - Utilização do ceptômetro de barra para medir a radiação fotossinteticamente ativa global (A) e na rua (B) e detalhe da leitura (C).

O ceptômetro é constituído de um sensor com 0,80 m de comprimento, composto por dez células fotossensíveis, que determina o fluxo de fótons fotossinteticamente ativos (comprimento de onda entre 400 e 700 nm). As RFA foram determinadas ao meio dia. A RFA Global foi determinada a pleno sol a

1,5 m do solo; a RFA na rua, também a 1,5 m do solo entre duas linhas de café; e a RFA na copa, foi avaliada no interior da copa do cafeeiro na altura do terço médio. Foram feitas seis repetições e os valores das radiações determinadas na rua e na copa do cafeeiro foram transformadas em valores percentuais em relação à radiação global. O nível de sombreamento do sistema foi obtido subtraindo de 100 a porcentagem da radiação global avaliada na rua do cafeeiro: % de sombreamento do sistema = $100 - [(PAR \text{ da rua} / PAR \text{ global}) \times 100]$. A porcentagem de auto-sombreamento do cafeeiro foi calculada subtraindo de 100 a relação percentual da PAR que chega no interior da copa do cafeeiro em relação a PAR da rua: % de auto-sombreamento = $100 - [(PAR \text{ na copa} / PAR \text{ na rua}) \times 100]$.

3.4.2 Umidade do solo

Para determinar a umidade, foi utilizado o solo rizosférico coletado em seis pontos aleatórios nos sistemas, na profundidade de 0-20 cm, sob a projeção da copa do cafeeiro. O solo desses pontos foi misturado, homogeneizado, formando-se uma amostra composta de onde foram obtidas quatro repetições. A umidade do solo foi avaliada pelo método gravimétrico. Foi determinado o peso de uma amostra do solo úmido em recipiente de peso conhecido e em balança analítica. Depois, a amostra foi deixada em estufa por 24 h a 105°C. Após esse período, deixou-se esfriar em dessecador e pesou-se o recipiente com o solo seco. A umidade foi expressa em porcentagem correspondente à massa de solo. Para determinar os teores de umidade gravimétrica correspondentes ao ponto de murcha permanente (PMP) e a capacidade de campo (CC), utilizou-se equação formulada por Arruda e outros (1987):

$$CC = 3,1 + 0,629X - 0,0034X^2 \quad \text{e} \quad PMP = (398,9X)/(1308,1 + X)$$

Onde **X** é o teor percentual de argila do solo.

3.4.3 Análise química e física do solo

Em cada sistema, foram coletadas amostras de solo rizosférico sob a projeção da copa de seis cafeeiros, na profundidade de 0-20 cm. Esse solo foi homogeneizado, formando-se uma amostra composta, de onde retirou-se 500 g sendo encaminhada para análise química (Tabela 1) e física (Tabela 2). O solo coletado foi seco ao ar e peneirado para obtenção de terra fina seca ao ar, e, posteriormente, analisado no Laboratório de Solos da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia. Para a avaliação química, foram realizadas as seguintes determinações: pH em água; Alumínio (Al) trocável; Cálcio (Ca) + Magnésio (Mg) trocáveis; Fósforo (P) disponível; Hidrogênio (H) + Al; Potássio (K); soma das bases trocáveis; CTC efetiva; CTC a pH 7,0; saturação por bases trocáveis; saturação por Al e Matéria Orgânica (MO). Para a caracterização física, foram determinados os teores de areia grossa, areia fina, silte e argila.

Tabela 1 - Análise química do solo rizosférico dos sistemas de produção de café solteiro (MONO), associado ao vinhático (SAF-CV) e associado ao abacateiro e ingazeiro (SAF-CAI), na profundidade de 0 a 20 cm. Barra do Choça-BA, março e agosto de 2007.

Sistema	pH	P ¹	K ²	Ca ³	Mg ³	Al ³	H	SB	t	CTC	V	MO
	(H ₂ O)	mg/dm ³									%	g/dm ³
Março												
MONO	7,5	7	1,88	4,3	2,7	0,0	1,6	8,9	8,9	10,5	85	42
SAFCV	5,5	2	0,14	4,7	2,7	0,1	4,4	7,5	7,6	12,0	63	48
SAFCAI	7,2	4	0,28	5,0	1,8	0,0	1,4	7,1	7,1	8,5	83	29
Agosto												
MONO	6,8	11	1,10	4,8	4,0	0,0	2,0	9,9	9,9	11,9	83	34
SAFCV	5,1	2	0,16	3,4	1,5	0,5	6,0	5,1	5,6	11,6	44	39
SAFCAI	7,1	58	0,46	6,1	3,6	0,0	1,5	10,2	10,2	11,7	87	34

SB: soma das bases trocáveis; t: capacidade de troca de cátions efetiva do solo; CTC: capacidade de troca de cátions a pH 7,0; V%: índice de saturação em bases trocáveis.

1 - Extrator Mehlich; 2 - Extrator KCl (1mol.L⁻¹).

Tabela 2 - Análise física do solo rizosférico dos sistemas de produção de café solteiro (MONO), associado ao vinhático (SAF-CV) e associado ao abacateiro e ingazeiro (SAF-CAI), na profundidade de 0 a 20 cm. Barra do Choça-BA, março e agosto de 2007.

Sistema de cultivo	Terra fina (< 2,0 mm) (%)	Composição granulométrica			
		Areia grossa (0,2-2,0 mm)	Areia fina (0,05-0,20 mm)	Silte (0,002-0,05 mm)	Argila (< 0,002 mm)
g/Kg					
março					
MONO	100	340	200	100	360
SAFCV	100	390	170	60	380
SAFCAI	100	380	200	80	340
agosto					
MONO	100	350	200	70	380
SAFCV	100	430	230	50	290
SAFCAI	100	400	220	70	310

3.4.4 Caracterização morfológica do cafeeiro

Para determinação da área foliar, foram coletados 8 terceiros pares de folhas ao redor do terço médio do cafeeiro e foi utilizado um integralizador de área da marca LICOR (Modelo 3100).

O diâmetro do caule foi avaliado no ramo ortotrópico (principal) por meio de um paquímetro na altura do terço e médio.

O diâmetro da copa do cafeeiro foi avaliado na altura do terço médio e foi utilizada uma régua graduada colocada transversalmente ao ramo ortotrópico.

A altura foi determinada com uma régua graduada disposta paralelamente ao caule e a medida foi realizada entre o colo e o ápice do cafeeiro.

3.4.5 Avaliação nutricional foliar do cafeeiro

Para avaliar o estado nutricional dos cafeeiros, foram coletadas amostras de folhas de cada sistema, constituída do terceiro par de folhas no sentido basípeto, localizado no terço médio das plantas (MALAVOLTA e outros, 1989). Foram feitas seis repetições. Após a coleta, as folhas foram acondicionadas em saco de papel e secas em estufa de circulação forçada de ar, com temperatura de 65 °C, até peso constante. Em seguida, essas folhas foram moídas e encaminhadas para análise nutricional no Laboratório de Solos e Tecido Foliar do Centro Nacional de Pesquisa em Agrobiologia - Embrapa Agrobiologia, Seropédica-RJ, para determinação dos teores de Nitrogênio (N), P, K, Ca e Mg.

3.4.6 Avaliação de fungos micorrízicos arbusculares

Para a extração de esporos de Fungos Micorrízicos Arbusculares (FMAs), utilizou-se o solo rizosférico na profundidade de 0-20 cm. Coletou-se em cada sistema, 1,5 L de solo em seis pontos da lavoura e fez-se uma amostra composta. Esse solo foi seco à sombra, destorroado e utilizaram-se 25 mL para extração de esporos. Os esporos (Figura 6) foram extraídos por peneiramento úmido, conforme Gerdemann e Nicolson (1963), e centrifugados em água a 3000 rpm por 3 min e 30 segundos e, posteriormente em sacarose 60%, a 1000 rpm durante 1 min e 30 segundos. Após a extração, os esporos foram transferidos para placa de Petri, contendo anéis concêntricos em alto relevo e contados sob microscópio estereoscópio de luz (40x).

Para as determinações qualitativas (identificação de espécies) os esporos foram fixados com Polivinil-álcool (PVL) em lâminas microscópicas e observados em microscópio óptico composto. A identificação das espécies foi

feita baseando-se em critérios morfológicos, conforme descrito por Schenck e Perez (1987) e Morton e Beny (1990).

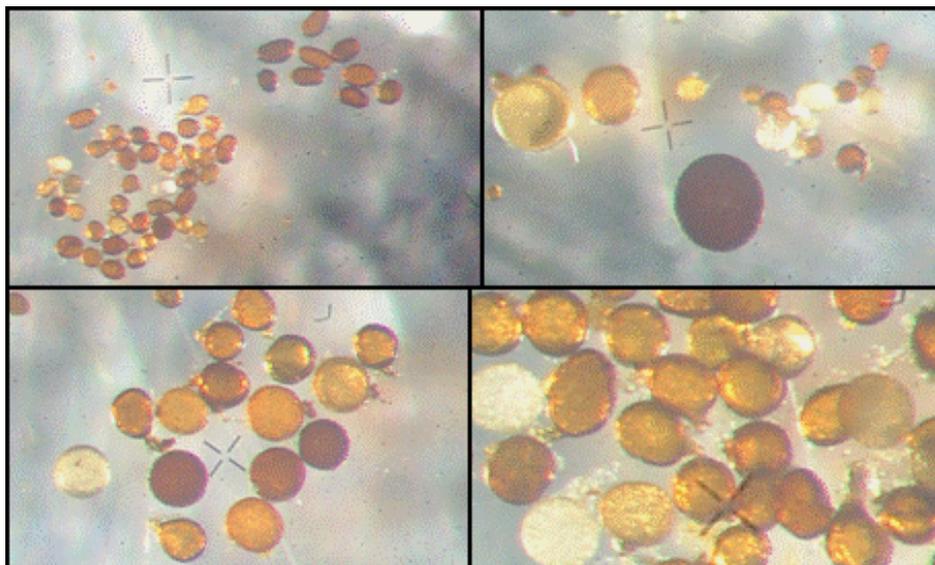


Figura 6 - Amostras representativas dos esporos extraídos dos solos dos sistemas de produção de café. Barra do Choça-BA.

Para avaliar a colonização radicular por FMAs (Figura 7), as raízes foram separadas do solo rizosférico em água corrente e lavadas. Selecionou-se as raízes finas e as mesmas foram mantidas por 12 horas em solução de KOH 10%. Decorrido esse tempo, as raízes foram aquecidas, na mesma solução, a 85 °C por aproximadamente 30 min para clarificação. Após o resfriamento, utilizou-se uma peneira para descartar a solução e as raízes foram lavadas em água corrente. Cobriram-se as raízes com H₂O₂ por 20 min e as mesmas foram lavadas novamente. Para melhor fixação do corante, as raízes foram imersas em HCl 1% por 5 min para acidificação. Descartou-se o HCl e as raízes foram imersas por 12 horas em solução corante de glicerol-ácido + azul de tripano 0,05 %, para colorir as estruturas fúngicas internas, segundo Philips e Hayman

(1970). Retirou-se o corante e as raízes foram lavadas em água corrente, sendo mantidas em água para retirada do excesso de corante. Após a retirada do excesso de corante, as raízes foram conservadas em solução de ácido láctico (250 mL) + glicerina (400 mL) + água destilada (350 mL). A determinação da percentagem de colonização radicular foi feita em microscópio estereoscópio, aumento de 40X, pelo método da placa quadriculada (Figura 8), de acordo com Giovannetti e Mosse (1980).

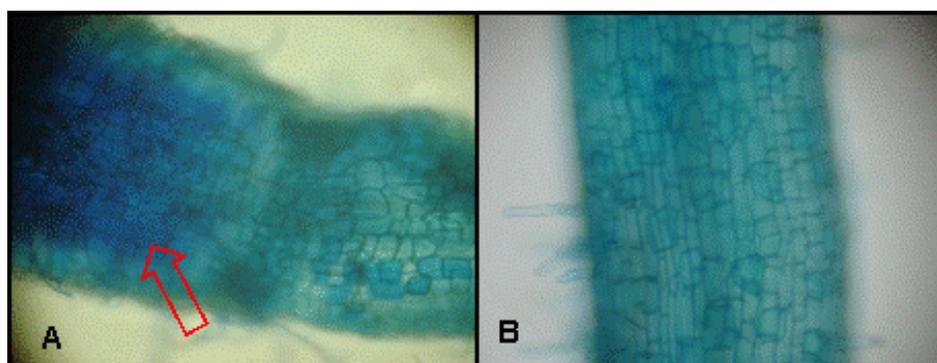


Figura 7 - Seguimento de raiz de cafeeiro com um ponto de colonização por FMA indicado pela seta (A) e seguimento sem colonização (B).

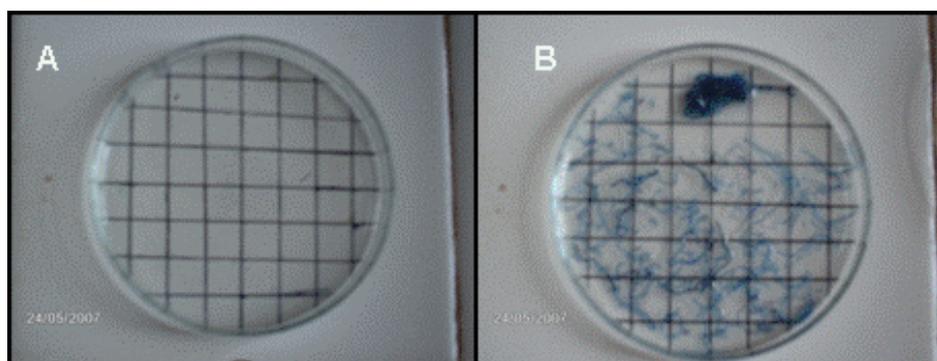


Figura 8 - Placa de petri quadriculada (A) e placa de petri quadriculada com seguimentos de raízes finas de cafeiro para avaliação da colonização (B).

3.4.7 Estimativa da fitomassa das plantas espontâneas

Para estimar a fitomassa das plantas espontâneas, foi utilizado um quadro de madeira de 0,5 m de lado, perfazendo uma área de 0,25 m². A amostragem foi feita aleatoriamente nos sistemas e foram coletadas as plantas espontâneas presentes no interior do quadro. Após a coleta, as plantas foram acondicionadas em sacos de papel e secas em estufa a 65°C até atingir peso constante. Após a secagem, foi obtida a massa seca e estimada, em cada sistema, a fitomassa produzida em quilogramas de massa seca por hectare (ms.ha⁻¹).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Determinação da radiação fotossintética e dos níveis de sombreamento

Nas duas épocas de avaliação, os níveis de restrição de radiação dos SAFs foram intensos (Tabela 3). Tais níveis de restrição mostraram-se desfavoráveis à produção de café em outros trabalhos. Conforme estudo realizado por Soto-Pinto e outros (2000), níveis de restrição entre 23 e 38% da radiação incidente, sob condições de arborização, foram favoráveis à produção dos cafeeiros e, partir de 50%, foi observada redução da produção. Lunz e outros (2006), avaliando sistemas de café associado à seringueira, em diferentes níveis de sombreamento, verificaram que níveis de sombreamento do cafeeiro entre 20 e 30% não afetaram a produção dos cafeeiros. Para os SAFs, nas duas avaliações, os valores de Radiação Fotossinteticamente Ativa (RFA) dos cafeeiros foram inferiores ao limite mínimo de saturação lumínica de $300 \mu\text{mol de fótons m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ para cafeeiros sombreados (WINTGENS, 2004 citado por BOTE, 2007).

Para as duas avaliações, as irradiâncias verificadas em MONO, foram inferiores ao limite de fotoinibição da fotossíntese ($2200 \mu\text{mol m}^{-2}.\text{s}^{-1}$, NUNES e outros, 1993 citados por MORAIS e outros, 2003) (Tabela 3). Entretanto, grande amplitude de variação foi observada entre as duas épocas, ocorrendo em março valores que atingiram 500% da RFA determinada em agosto. Em estudos realizados sobre cafeeiros associados às seringueiras, Oliveira e outros (2006) também verificaram variação sazonal da RFA, sendo os maiores valores observados no verão.

Tabela 3 - Valores da radiação fotossinteticamente ativa (RFA) global, na rua e no interior da copa do cafeeiro, níveis de sombreamento do sistema e de auto-sombreamento do cafeeiro, calculados com base nos valores das RFA global, na rua e no interior da copa do cafeeiro. Barra do Choça-BA, março e agosto de 2007.

Sistemas de Cultivo	RFA Global ($\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$)		RFA na rua do cafeeiro ($\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$)		RFA no interior da copa do cafeeiro		Sombreamento do sistema (%)		Auto-sombreamento do cafeeiro (%)	
	março	agosto	março	agosto	março	agosto	março	agosto	março	agosto
MONO	1787	345	1787	345	76	66	0,0 c	0,0 c	95,8 aA	73,9 abB
SAF-CV	1722	357	116	223	14	25	93,3 aA	37,5 bB	85,6 aA	88,6 aA
SAF-CAI	395	507	69	53	17	17	82,3 bA	89,5 aA	69,6 bA	61,4 bA
CV	-	-	-	-	-	-	7,9	10,18	11,98	19,93

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna (tratamento) e maiúscula na linha (época) não diferem entre si pelo teste t de Bonferroni a 5%.

Na avaliação de março, foi observada em MONO RFA superior ao limite de saturação de luz ($600 \mu\text{mol}$ de fótons $\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ para cafeeiros a pleno sol) definido por Wintgens (2004 citado por BOTE, 2007) e em agosto, tais valores foram inferiores. Embora os limites de saturação lumínica e fotoinibição sejam freqüentemente generalizados para os cafeeiros, Franck e outros (2007) postularam a existência de variações destes limites relacionados ao condicionamento das plantas aos gradientes de RFA que ocorrem no ambiente de cultivo. No referido estudo, foi verificada uma relação linear crescente entre níveis de sombreamento e limites de saturação lumínica. Portanto, apesar de muitos estudos sobre arborização de cafezais expressarem a intensidade de radiação em termos relativos de porcentagem de restrição luminosa, a informação sobre valores da densidade de fluxo de fótons incidente é de extrema importância para a avaliação do comportamento fotossintético dos cafeeiros. Jaramillo-Botero (2007), em estudos sobre arborização de cafeeiros, observou valor anual médio de radiação incidente no local do experimento de $228 \mu\text{mol}$ de fótons $\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$, nas condições de Viçosa-Minas Gerais. Oliveira e outros (2006) observaram valores de 1100 a 2200 μmol de fótons $\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$, determinados no inverno e verão, respectivamente, durante o período das 11:00 às 13:00h, em Lavras-Minas Gerais.

É necessário pontuar que além da radiação luminosa, o sombreamento pode afetar outros fatores ambientais como a redução do déficit de pressão de vapor de água e da variação de temperatura do ar. Tais alterações podem afetar características do cafeeiro como a arquitetura da planta, condutância estomática, temperatura da folha e carga de frutos, resultando em forte interação com a radiação incidente e determinando a capacidade fotossintética da planta.

Em março, foi observado maior nível de restrição de luz para o sistema café e vinhático seguido pelo sistema café associado ao abacate e ao ingá em relação ao sistema de cultivo de café a pleno sol (MONO) (Tabela 3). Para a

avaliação realizada em agosto, o maior nível de sombreamento foi verificado para SAF-CAI, seguido do SAF-CV, em relação à MONO (Tabela 3). Nessa última avaliação houve um decréscimo acentuado no nível de sombreamento de SAF-CV, devida à abscisão de folhas. Como o componente arbóreo em SAF-CV foi constituído apenas pelo vinhático, uma espécie caducifólia (LORENZI, 1992), esta sofreu desfolha total e abscisão de galhos, maximizando a maior incidência de luz no sistema, reduzindo o sombreamento de 93,3% para 37%. Embora alguns trabalhos observaram, em condição de sombreamento, redução no diâmetro dos cafeeiros, no número de ramos produtivos e de nós por ramos (ESTÍVARIZ, 1997; MUSCLHER, 2001; MORAIS e outros, 2003; RICCI e outros 2006), é possível obter produção semelhante ao cultivo a pleno sol. Isso é decorrente do aumento da área foliar, do maior peso dos grãos (RICCI e outros, 2006) e da elevada eficiência de pegamento e vingamento de frutos (ESTÍVARIZ, 1997).

Para a avaliação realizada em março, os maiores índices de auto-sombreamento foram verificados para MONO (95,8%) e SAF-CV (85,6%), sendo considerados semelhantes (Tabela 3). Fernandes (1986) relacionou baixos valores de auto-sombreamento à ocorrência de internódios mais longos e menor número de folhas, os quais caracterizam uma adaptação da planta ao ambiente com a finalidade de aumentar a eficiência fotossintética (RENA e outros, 1994). Tal adaptação pode ter sido a explicação para que cafeeiros cultivados a pleno sol e em SAF-CV tenham apresentado copa mais densa do que no SAF-CAI no presente trabalho. Embora as condições de restrição de luz mantidas no sistema SAF-CV tenham sido superiores à SAF-CAI, as diferentes fases de desenvolvimento dos cafeeiros nos dois sistemas resultaram na ocorrência de alterações morfológicas específicas, condicionando maior nível de auto-sombreamento em SAF-CV. Convém lembrar que os cafeeiros de SAF-CV sofreram poda drástica dois anos antes do referido estudo e por isso

apresentaram características morfológicas típicas de desenvolvimento inicial da cultura.

Para a avaliação de auto-sombreamento, realizada em agosto, o comportamento entre os SAFs foi semelhante ao verificado em março, sendo mantido o maior valor em SAF-CV (88,6%) em relação à SAF-CAI (61,4%) apresentado. Entretanto, para cafeeiros mantidos a pleno sol, foi observada uma redução do índice de auto-sombreamento, mantendo valor intermediário entre os SAFs. A avaliação realizada em agosto coincidiu com o período pós-colheita do café, sendo o efeito da desfolha, de origem física. Este efeito foi acentuado nos cafeeiros mantidos a pleno sol devido os processos de colheita realizados nos meses anteriores. Em estudo realizado por Ricci e outros (2006), foi observado que cafeeiros a pleno sol apresentaram maior susceptibilidade à abscisão foliar promovida pela colheita em relação à condição de sombreamento natural. Esses autores concluíram que a desfolha mais acentuada em cafeeiros a pleno sol foi relacionada à redução do auto-sombreamento.

4.2 Caracterização morfológica do cafeeiro

O cafeeiro apresentou maior altura em SAF-CAI, em relação à MONO e SAF-CV nas duas avaliações (Tabela 4). A maior altura apresentada pelo cafeeiro cultivado em SAF-CAI foi resultado do elevado nível de sombreamento nesse sistema, corroborando com outros estudos realizados com cafeeiros sombreados (FAHL e outros, 1994; RICCI e outros, 2006).

Tabela 4 - Caracterização morfológica do cafeeiro (altura, diâmetro do caule, diâmetro da copa e área foliar) em sistema de cultivo de café a pleno sol (MONO) e dois sistemas agroflorestais (SAF-CV e SAF-CAI). Barra do Choça-BA, Março e Agosto de 2007.

Sistemas de Cultivo	Morfologia do cafeeiro							
	Altura (m)		Diâmetro do Caule (cm)		Diâmetro da Copa (m)		Área Foliar Individual (cm ²)	
	Março	Agosto	Março	Agosto	Março	Agosto	Março	Agosto
MONO	2,35 b	2,51 b	2,37 a	2,86 a	1,65 a	1,71 b	38,65 b	41,71 b
SAF-CV	2,07 b	2,22 b	1,78 b	1,68 b	1,80 a	1,76 a	75,63 a	77,12 a
SAF-CAI	2,90 a	3,03 a	2,37 a	2,61 a	1,86 a	2,05 a	69,81 a	63,21 a
CV(%)	13,17	8,05	12,32	17,99	13,37	11,72	12,66	20,63

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna (tratamento) não diferem entre si pelo teste t de Bonferroni a 5%.

Para o presente estudo, desenvolvido em condição de campo, com plantas adultas, foi observada maior altura dos cafeeiros em condição de sombreamento. A diferença entre os estádios de desenvolvimento, aliada às condições diferenciadas de sombreamento, foram fatores determinantes para tal divergência de comportamento entre situações, a princípio, definido como semelhantes. Embora em muitos estudos a característica altura seja utilizada como um dos parâmetros de crescimento, DaMatta (2004) ressalta que em sistemas com restrição de luz, esta é uma alteração morfológica que não pode ser diretamente relacionada ao vigor vegetativo da planta e sim a uma anomalia fisiológica denominada estiolamento.

Para o diâmetro do caule, os maiores valores foram observados em MONO e SAF-CAI, quando comparados à SAF-CV, nas avaliações das duas épocas (Tabela 4). A semelhança de valores de diâmetro do caule em MONO e SAF-CAI pode indicar similaridade na síntese de carboidratos estruturais neste órgão. O menor diâmetro do caule em SAF-CV, nas duas avaliações, ocorreu em função do ciclo do cafeeiro ter sido alterado pela recepa. Desse modo, o cafeeiro de SAF-CV, em comparação a MONO e SAF-CAI, não havia atingido seu máximo desenvolvimento vegetativo.

Devido ao fato da lavoura ter sofrido uma poda rasa (recepa total) e ter sido avaliada após dois anos de rebrota, menores valores da altura e do diâmetro do caule do cafeeiro foram observados em SAF-CV. De acordo com Ricci e outros (2006), a taxa de crescimento dos cafeeiros conduzidos em campo sob sombreamento é reduzida no início do desenvolvimento da cultura (primeiros 15 meses).

Para a avaliação realizada em março, não houve diferença no diâmetro da copa do cafeeiro entre os sistemas, sugerindo que MONO (pleno sol) e SAFs (sombreados) produziram ramos de comprimento semelhante. Em agosto, maior

diâmetro de caule foi verificado em SAF-CAI, valor intermediário foi observado em SAF-CV e MONO, apresentou menor diâmetro.

Maior área foliar individual (AFI) foi verificada nos SAFs em relação à MONO, nas duas avaliações, (Tabela 4). Em SAF-CV, a expansão da AFI foi de 90% (março) e 85% (agosto) superior a do café em MONO. Em SAF-CAI, AFI foi 80% (março) e 51% (agosto) superior em relação a MONO. Houve um aumento de 15% na AFI do cafeeiro em SAF-CV em relação ao SAF-CAI. Maiores índices de auto-sombreamento verificados em SAF-CV potencializaram o efeito do sombreamento neste sistema quando comparado à SAF-CAI. Portanto, a folha foi o órgão que apresentou grande capacidade de adaptação à restrição de luz dos SAFs, resultando em maior eficiência de captação da energia solar disponível (FAHL e outros, 1994).

Carelli e outros (1999), avaliando o crescimento inicial de *C. arabica* mantido sob cobertura artificial, observaram redução da área foliar total em denso sombreamento (80% de sombra). Em estudo realizado por Morais (2003), aumento no tamanho individual das folhas dos cafeeiros foi uma das principais alterações morfológicas observadas em sistemas arborizados. Foi observado menor massa seca e menor massa específica (massa/área), resultando em maior eficiência da interceptação da energia solar disponível no sistema.

4.3 Umidade do solo

Para a avaliação realizada em março, época chuvosa, não houve diferença entre a umidade gravimétrica do solo (US) para os três sistemas de cultivo de café e mata nativa (Tabela 5).

Tabela 5 - Umidade gravimétrica do solo (US) rizosférico de cafeeiros em monocultivo (MONO), sistema agroflorestal com vinhático (SAF-CV) e sistema agroflorestal com abacateiro e ingazeiro (SAF-CAI), na profundidade de 0 – 20 cm. Barra do Choça-BA. Março e Agosto de 2007.

Sistema de Cultivo	Umidade Gravimétrica (%)					
	Março			Agosto		
	PMP ¹	CC ²	US	PMP	CC	US
MONO	10,7	21,3	19,0 a	11,2	22,1	17,3 a
SAF-CV	11,2	22,1	14,5 a	8,6	18,5	15,1 b
SAF-CAI	10,1	20,6	18,2 a	9,2	19,3	9,5 d
MATA	9,5	19,7	18,5 a	11,5	22,5	12,7 c
CV (%)	-	-	18,9	-	-	2,04

Médias seguidas de mesma letra na coluna (tratamento) não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t de Bonferroni.

¹ – Ponto de Murcha Permanente (PMP); ² – Capacidade de Campo (CC).

Em agosto, época caracterizada por menores índices de precipitação, US foi superior em MONO (17,3%), seguido por SAF-CV (15,1%) e SAF-CAI (9,5%) (Tabela 5). Os menores valores de US dos SAFs foram decorrentes da soma da transpiração dos cafeeiros com o componente arbóreo. Esses resultados concordam com os encontrados por Neves e outros (2007), em trabalhos realizados com cafés arborizados. Esses autores verificaram que a introdução do componente arbóreo elevou o potencial de transpiração dos sistemas agroflorestais, resultando na rápida e intensa redução de US em relação ao sistema a pleno sol. No entanto, Jaramillo e Cháves (1999) observaram que os solos dos cafezais sombreados com ingá (*Inga sp.*) não apresentaram deficiência de água durante os períodos críticos, e nos cafezais a pleno sol ocorreram deficiências severas. Imbach e outros (1989) verificaram menor conteúdo de água no solo de SAFs nas camadas mais superficiais. Delegaram tal

comportamento ao fato de essas camadas pertencerem a principal zona de absorção de água pelas raízes, além de estarem mais expostas a evaporação, bem como a perda de água por gravidade. Matsumoto e outros (2006), em estudo realizado durante três anos, com avaliações trimestrais de US do solo, verificaram que as variações de US foram dependentes da distribuição espacial horizontal das amostras em relação ao componente arbóreo e da profundidade do solo. Para este estudo, a US dos sistemas foi mantida, nas duas épocas, acima do Ponto de Murcha Permanente (PMP) (Tabela 5). Entretanto, devido ao elevado potencial de transpiração ocorrido em agosto para SAF-CAI em relação aos demais, US foi mantida próxima ao PMP.

4.4 Estado nutricional foliar do cafeeiro

A presença de espécies leguminosas arbóreas, por meio da fixação biológica, contribuiu para elevar o teor de N foliar dos cafeeiros nos SAFs em relação à MONO na avaliação realizada em março (Tabela 6). Tal fato foi observado por Coelho e outros (2006) em SAF constituído por cafeeiros associados à *Gliricidia sepium*, uma leguminosa arbórea. Nesse sistema, o teor de N foliar foi superior nos cafeeiros em monocultivo em todas as avaliações realizadas. Além disso, deve ser ressaltado que, em março, a menor frutificação dos cafeeiros nos SAFs contribuiu para potencializar tal comportamento. A presença de frutos foi considerada como importante dreno, resultando em intenso transporte de fotoassimilados e compostos nitrogenados das folhas em direção aos frutos (LAVIOLA, 2007). Para o presente estudo, na avaliação realizada em agosto, não houve diferença no teor de N foliar do cafeeiro entre os três sistemas de cultivo. Isso se deve ao fato do cafeeiro, em todos os sistemas, se apresentar na fase de pós-colheita. A fase do ciclo, caracterizada pela

ausência de estruturas reprodutivas, propiciaram o desenvolvimento vegetativo e o acúmulo de compostos nitrogenados nas folhas dos cafeeiros (AMARAL e outros, 2001).

Na avaliação realizada em março, maiores valores de P foliar foram verificados em MONO e SAF-CAI, seguidos por SAF-CV, com menor valor (Tabela 6). Na avaliação realizada em agosto, o maior teor de P foliar foi observado em MONO, seguido por SAF-CAI e SAF-CV. Para as duas avaliações, menores teores de P foram verificados em SAF-CV, podendo estar relacionado ao teor mais baixo de P no solo que nos demais (Tabela 1).

Para K, em março, maiores médias foram observadas em SAF-CAI e MONO em relação à SAF-CV. Em agosto, foi verificado maior teor em SAF-CAI, SAF-CV valor intermediário e MONO a menor média.

O K e o N são os principais nutrientes envolvidos no desenvolvimento e na produção do cafeeiro (MALAVOLTA, 1986; WILLSON, 1987). Em estudo realizado por Neves e outros (2006) foi verificado maiores teores de K e P, em relação ao total da planta de cafeeiro, nos frutos. Conforme observado por Valarini e outros (2005) os frutos atuam como drenos dos nutrientes absorvidos pela planta e podem remobilizar nutrientes das folhas e de outras partes da planta.

Em março, maior teor de Ca foliar foi observado para SAF-CV; valor intermediário foi atribuído à SAF-CAI, e MONO apresentou o menor valor. Em agosto, não houve diferença entre os sistemas. Para Mg, não houve diferença entre os sistemas nas duas épocas (Tabela 6).

Os teores foliares de nutrientes encontrados neste estudo (Tabela 6) foram semelhantes aos valores verificados por Alfonsi e outros (2005) em estudo realizado com quatro genótipos de café em sistema de cultivo a pleno sol.

Tabela 6 - Teores de macronutrientes foliares de cafeeiros em monocultura (MONO) e em sistema agroflorestal associado ao vinhático (SAF-CV) e associado ao abacateiro e ingazeiro (SAF-CAI), em março e agosto de 2007. Barra do Choça-BA.

Sistemas de cultivo de café	N	P	K	Ca	Mg
	g kg ⁻¹				
Março					
Mono	25,9 b	1,49 a	22,21 a	12,84 b	5,79 a
Saf-cv	30,2 a	0,89 b	17,13 b	16,88 a	6,08 a
Saf-cai	29,7 a	1,46 a	22,79 a	15,10 ab	4,90 a
CV (%)	6,01	15,54	13,19	12,29	19,38
Agosto					
Mono	29,3 a	2,43 a	18,46 b	15,07 a	5,40 a
Saf-cv	28,9 a	0,92 c	21,17 ab	15,86 a	4,90 a
Saf-cai	29,4 a	1,39 b	23,13 a	16,84 a	4,53 a
CV (%)	7,91	12,93	10,42	12,14	15,98
Faixa de teores adequados					
Martinez e outros (1999)	2,9 – 3,2	1,2 – 1,6	18 – 22	10 – 13	3,1 – 4,5

Médias seguidas de mesma letra na coluna (tratamento), em cada época, não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t de Bonferroni.

A presença do componente arbóreo, em março, favoreceu o acúmulo foliar de N e Ca e não diferiu para Mg, em agosto, o acúmulo de K e Ca e não diferiu para N e Mg. Esses teores foliares dos cafeeiros nos SAFs em relação a MONO é decorrente dos nutrientes contidos na serapilheira (CAMPANHA e outros, 2007) e pela capacidade de fixação biológica de N das leguminosas (RESENDE e outros 2003; COELHO e outros, 2006). A menor carga de frutificação nos sistemas arborizados, também foi considerada como importante fator para o maior acúmulo de nutriente nas folhas. Estudo realizado por Borges

e outros (2004), na região do Alto Parnaíba, foi verificado que Mn, K, S, N e P, no tecido foliar, foram os principais nutrientes limitantes à produtividade do cafeeiro naquela região. Jesus e outros (2006) observaram teores foliares de K mais elevados em cafeeiros cultivados em SAF do que nos cafeeiros em monocultivo. Em estudo realizado por Ricci e outros (2006) com seis cultivares de café arábica revelou que, comparativamente ao cultivo a pleno sol, o sombreamento proporcionou ao cafeeiro maiores teores de N e de Mg no tecido foliar, não sendo alterados os teores de P, K e Ca.

Quando comparados os teores foliares dos nutrientes com os valores considerados adequados por Martinez e outros (1999), verificou-se que, em MONO, na avaliação de março, os nutrientes limitantes (que se apresentaram abaixo ou acima do teor considerado adequado) foram N e Mg, e em agosto foram P, Ca e Mg. Para SAF-CV, em março, os nutrientes limitantes foram P, K Ca e Mg; em agosto, foram P, Ca e Mg. Para SAF-CAI, em março e agosto, os nutrientes limitantes foram K, Ca e Mg. Em agosto, foram K, Ca e Mg. Considerando as duas avaliações, SAF-CV foi o sistema que apresentou maior número de nutrientes limitantes em relação aos demais sistemas. Os nutrientes mais limitantes foram Ca e Mg, pois foram observados com maior frequência fora da faixa adequada.

De acordo com Malavolta (1996), além do teor do nutriente isolado, a relação adequada entre pares de elementos também fornece informação sobre o estado nutricional da planta. Considerando-se a relação adequada entre os pares de nutrientes foliares (Tabela 7), os sistemas, de uma maneira geral, não apresentaram estado nutricional adequado. Todos os sistemas apresentaram pares com valores abaixo ou acima da faixa considerada adequada. Embora seja preconizada a importância dos pares de nutrientes, em trabalho realizado com plantas de café por Martinez e outros (2003b), observaram correlação positiva com a produção apenas com os pares S (enxofre)/Cu (cobre) e S/Zn (zinco)

foliares. Porém, nesse mesmo trabalho, foi observado maior número de correlações entre a produção e os pares de nutrientes das flores. Já Marques e outros (1999), em estudo realizado com cafeeiros durante sete anos agrícolas, observaram maior número de correlações, embora em sua maioria negativas, entre os pares de nutrientes foliares e a produção. Para os nutrientes foliares isolados, correlacionou-se com a produção o Ca e o S, positivamente, e o P, negativamente.

Tabela 7 - Relação entre os nutrientes foliares de café em (g/kg)/(g/kg) nos sistemas de cultivo de café a pleno sol (MONO), associado ao vinhático (SAF-CV) e associado ao abacate e ao ingá (SAF-CAI), em março e agosto de 2007. Barra do Choça-BA.

Relação entre os nutrientes	Sistemas de cultivo de café						* Faixa adequada
	Março			Agosto			
	Mono	Saf-cv	Saf-cai	Mono	Saf-cv	Saf-cai	
N/P	17,38	33,9	20,34	12,05	31,41	21,15	16 - 18
N/K	1,16	1,76	1,30	1,58	1,36	1,27	1,3 - 1,4
N/Ca **	2,01	1,78	1,96	1,94	1,82	1,74	2,3 - 2,7
N/Mg **	4,47	4,96	6,06	5,42	5,89	6,49	8,7 - 8,9
K/Ca	1,72	1,01	1,51	1,22	1,33	1,37	1,7 - 2,1
K/Mg	3,83	2,81	4,65	3,41	4,32	5,10	6,1 - 6,6
K/P	15,90	19,24	15,60	7,59	23,01	16,64	12,7
Ca/P **	8,61	18,96	10,34	6,2	17,23	12,11	6,7 - 7,0
Ca/Mg **	2,21	2,77	3,08	2,79	3,23	3,71	3,2 - 3,9

* Faixa adequada utilizada como referência segundo Malavolta e outros (1993).

** Valores obtidos relacionando-se os teores mínimos e máximos da faixa crítica dos autores citados.

4.5 Fungos micorrízicos arbusculares

Para as duas épocas de amostragem, o número mais elevado de esporos foi observado no sistema SAF-CV (Figura 9). Cardoso e outros (2003) relacionaram a ocorrência de maior número de esporos a maior quantidade de raízes nas camadas mais profundas do solo. Schreiner (2005) verificou, em condição de campo, para videiras a ocorrência de maior densidade de esporos nas linhas de cultivo em relação a entrelinha. Devido a dificuldade de controle das espontâneas na linha de cultivo, houve maior densidade de raízes resultando em elevado número de esporos. No presente estudo, a semelhança da densidade de esporos nas duas épocas em SAF-CV, pode ser indicativo da ausência de sazonalidade na esporulação dos FMAs nesse sistema. De acordo com Balota e Lopes (1996b), a sazonalidade na esporulação de FMAs estaria relacionada com o período de menor disponibilidade de fontes de carbono para o fungo, que corresponderia a frutificação do cafeeiro, quando os carboidratos são requeridos em maior intensidade pela planta. Apesar de uma das avaliações ter sido realizada em época característica de desenvolvimento reprodutivo da cultura do cafeeiro em SAF-CV, por ter sido recepado há dois anos, foi considerada incipiente. Os frutos não se constituíram em drenos tão intensos que justificassem a competição por fonte de carbono com os fungos. Portanto, a fase de desenvolvimento da cultura induziu a estabilidade de valores de esporulação em SAF-CV, nas duas avaliações.

A maior densidade de esporos observada nos SAFs (Figura 9) também foi verificada por Toro e Herrera (1987) e Toro-Garcia (1987). Esses autores observaram, na Venezuela, maior ocorrência de esporos em cafeeiros arborizados em relação aos mantidos a pleno sol. A presença de espécies arbóreas leguminosas nos SAFs foi um fator importante para a definição desse comportamento. De acordo com Muleta e outros (2008) a presença de bactérias

fixadoras de N estimulam a associação micorrízica por favorecer o vigor da planta.

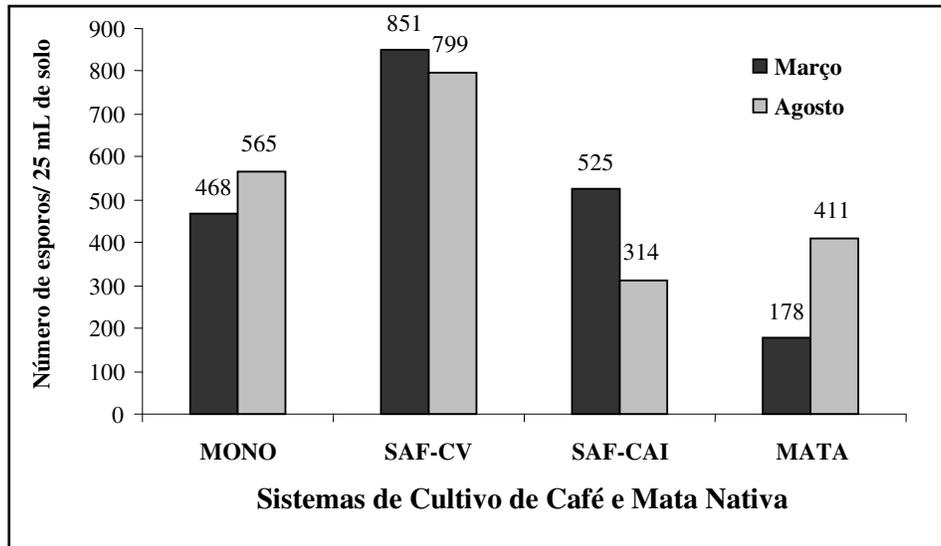


Figura 9 - Esporos de fungos micorrízicos arbusculares extraídos do solo de mata nativa (MATA) e sistemas de manejo de café em monocultivo (MONO), associado ao vinhático (SAF-CV) e associado ao abacateiro e ingazeiro (SAF-CAI), avaliado em março e agosto de 2007. Barra do Choça-BA.

Em março, para todos os sistemas cultivados, foi verificada maior densidade de esporos em relação a mata. A ocorrência de determinadas espécies de plantas espontâneas, comumente verificadas em cultivos de cafeeiros, por sua interação com os FMAs favoreceu esse comportamento. Para os sistemas a pleno sol, a predominância de gramíneas como plantas espontâneas foi observado por Coelho e outros (2004) e Silva e outros (2006). As gramíneas possuem sistema radicular abundante e de rápido crescimento, com intenso contato entre raízes e propágulos de FMA e grande capacidade de fornecer fotossintatos ao fungo (DANIELS-HETRICK; BLOOM, 1986), o que teria favorecido a esporulação em MONO. A menor densidade de esporos de FMA em ecossistemas naturais

não perturbados, como observado em MATA nessa avaliação, é comumente observada e decorre da estabilidade do ecossistema (MUNYANZIZ e outros, 1997; CAPRONI, 2001). Neste estudo, em MONO foi verificada expressiva fitomassa acumulada pelas espontâneas, entretanto, MATA foi caracterizada pela ausência desse componente, nas avaliações realizadas tanto em março como em agosto (Tabela 8). Para a avaliação realizada em agosto, o número de esporos observados para MONO foi superior a MATA e SAF-CAI. De acordo com Dias e outros (2005), sob condição de baixa disponibilidade hídrica, não somente no solo, mas também no ar, o desenvolvimento de uma população de plantas daninhas torna-se mais favorável que a cultura do cafeeiro. Portanto, na época de menor precipitação, o efeito do maior vigor das plantas daninhas em MONO sobre a densidade de esporos foi preponderante ao efeito da presença de microrganismos fixadores de N.

Tabela 8 - Massa seca ($t \cdot ha^{-1}$) das plantas espontâneas de sistemas de cultivo de café a pleno sol (MONO), em associação com vinhático (SAF-CV) e associado ao abacateiro e ingazeiro (SAF-CAI) e mata nativa (MATA) em duas épocas de avaliação. Barra do Choça-BA. Agosto/06 e março/07.

Sistema de Cultivo	Massa seca das plantas espontâneas ($t \cdot ha^{-1}$)	
	Agosto/06	Março/07
MONO	0,5 bc	1,6 a
SAF-CV	1,3 a	1,0 b
SAF-CAI	0,9 ab	0,4 c
MATA	0,0 c	0,0 c
CV (%)	65,32	37,49

Médias seguidas de mesma letra na coluna (tratamento) não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t de Bonferroni.

Para a avaliação de agosto o elevado acúmulo de fitomassa das plantas espontâneas não foi mantido em MONO (tabela 8). Isso foi relacionado ao manejo da lavoura que, no caso de MONO foi roçado quatro vezes por ano enquanto, nos SAFs, somente uma vez por ano, antecedendo a colheita. Para as duas épocas de avaliação, a elevada esporulação em SAF-CV foi potencializada pela colonização do cafeeiro nesse sistema e pela significativa ocorrência de espontâneas (Tabela 8). Em sistemas de produção de café, a fitomassa das espontâneas é elevada quando o cultivo é mantido a pleno sol, porém, apresenta menor diversidade que os sistemas parcialmente sombreados (COELHO e outros 2004; SILVA e outros, 2006).

As considerações anteriormente descritas foram definidas a partir de avaliações realizadas em estrato de solo entre 0 a 30 cm. Entretanto, em estudos realizados sobre distribuição de esporos de FMAs em SAFs no Sudoeste da Etiópia, Muleta e outros (2008) verificaram que fatores como distribuição espacial horizontal e vertical, espécies arbóreas e idade dos cafeeiros afetaram a densidade das espécies de esporos de FMAs.

Para o processo de identificação das espécies de FMAs por meio dos esporos, foram observadas, nas duas épocas, 23 espécies dos gêneros *Glomus*, *Acaulospora*, *Scutellospora*, *Gigaspora* e *Ambispora* (Tabela 9). Foi verificada ocorrência dos gêneros *Glomus* e *Acaulospora* em todos os sistemas avaliados. Elevado grau de ocorrência do gênero *Glomus* e *Acaulospora* também foi observada por Muleta e outros (2007) e Muleta e outros (2008). De acordo com Wubet e outros (2004), a elevada abundância de *Glomus* ocorre independentemente do grau de distúrbio e forma de uso da terra. No presente estudo, maior abrangência espacial e temporal foi verificado para a espécie *Glomus aff. dimorphicum*, sendo identificada em MATA na avaliação de março, e nos demais sistemas, nas duas avaliações. As espécies *Scutellospora* sp. 2, *A. longula*, *A. mellea*, *Ambispora appendicula*, *Acaulospora* sp., foram as que

tiveram menor ocorrência, sendo observada somente em um sistema e uma única vez. A riqueza de espécies de FMA de MONO foi superior aos demais, nas duas épocas de avaliação (Tabela 9). De maneira geral, considera-se que a riqueza de espécies de FMAs seja reduzida quanto mais intensas forem as condições de degradação do solo (BODDINGTON; DODD, 2000). Entretanto, a estreita relação entre os FMAs e a população de plantas espontâneas dos cafeeiros resultou na maior riqueza de espécies de FMAs.

Para a avaliação realizada em agosto, embora a maior riqueza de espécies de FMAs tenha sido mantida para MONO, foi verificado elevação de valores para MATA e SAF-CAI. De acordo com Koide e Dickie (2002) a colonização por FMAs, por viabilizar maior vigor ao desenvolvimento da planta, maximiza os processos de reprodução. Este aspecto é de suma importância para espécies nativas, principalmente para aquelas que dependem de elevadas taxas de reprodução, como as plantas espontâneas dos plantios de café, principalmente sob condição de baixa disponibilidade hídrica. Portanto, em função da ocorrência de tal condição em agosto, foi verificado esse comportamento diferenciado.

Devido a diferença de habilidade de colonização, apenas a identificação das espécies de esporos de FMAs no solo rizosférico não é suficiente para representar a real magnitude da interação entre cada uma dessas espécies de fungos que colonizam as raízes dos cafeeiros. Nesta situação, possíveis interações entre tais espécies de FMAs e outros componentes vegetais do sistema podem ser estabelecidas, sendo a intensidade desta associação mais expressiva do que a mantida com os cafeeiros. Essa relação poderia ser visualizada utilizando-se técnicas moleculares para caracterizar FMAs na rizosfera e nas raízes colonizadas do cafeeiro. Em estudo realizado por Colozzi-Filho e Cardoso (2000) foi observado que esporos do fungo *Scutellospora*

gilmorei constituíram 19% do total de esporos coletados, entretanto, em nenhuma das avaliações de colonização radiculares essa espécie foi identificada.

Tabela 9 - Espécies dos esporos de Fungos Micorrízicos Arbusculares coletados no solo dos três sistemas de cultivo de café (monocultura – MONO; associado ao vinhático – SAF-CV; associado ao abacate e ingá – SAF-CAI) e mata nativa (MATA). Barra do Choça-BA, março e agosto de 2007.

Espécie	Sistemas de cultivo							
	MONO		SAF-CV		SAF-CAI		MATA	
	Mar	Ago	Mar	Ago	Mar	Ago	Mar	Ago
Gênero Acaulospora	X	X	X	X		X		X
<i>Acaulospora</i> sp.		X						
<i>A. aff. Colossica</i>								
<i>A. foveata</i>		X		X				
<i>A. longula</i>						X		
<i>A. mellea</i>						X		
<i>A. morrowiae</i>		X	X					
<i>A. rehmi</i>		X	X					
<i>A. scrobiculata</i>	X	X	X			X		
<i>A. spinosa</i>		X						X
<i>A. tuberculata</i>								X
Gênero Ambispora	X							
<i>Ambispora appendicula</i>	X							
Gênero Gigaspora		X						
<i>Gigaspora margarita</i>		X						
Gênero Glomus	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Glomus aff. dimorphicum</i>	X	X	X	X	X	X		X
<i>Gl. aff.kerguelense</i>		X						
<i>Gl. Claroideum</i>	X	X		X		X	X	X
<i>Gl. etunicatum</i>					X	X	X	
<i>Gl. Fasciculatum</i>	X				X		X	X
<i>Gl. Geosporum</i>	X	X						
<i>Gl. Invermaium</i>					X			X
<i>Gl. Macrocarpum</i>	X	X	X			X	X	X
<i>Gl. Microcarpum</i>	X						X	X
Gênero Scutellospora			X	X				X
<i>Scutellospora</i> sp. 1				X				X
<i>Scutellospora</i> sp. 2			X					
Total de espécies (Riqueza)	8	12	5	4	4	7	5	9

A Colonização Micorrízica (CM) foi observada em todas as amostras avaliadas e a taxa de colonização variou entre 16,85% e 47,50% (Tabela 10). A colonização micorrízica em lavouras cafeeiras adultas tem índices bastante variados devido as diferentes condições de obtenção dos dados (THEODORO e outros, 2003), atingindo valores de 4% (LOPES e outros, 1983) até 80% (OLIVEIRA e outros, 1990).

Tabela 10 - Colonização por Fungos Micorrízicos Arbusculares (FMAs) em raízes de cafeeiros cultivados a pleno sol (MONO) e em sistema agroflorestal associado ao vinhático (SAF-CV) e associado ao abacateiro e ingazeiro (SAF-CAI). Barra do Choça-BA. Março e agosto de 2007.

Sistema de Cultivo	Colonização Radicular (%)		CV (%)
	Março	Agosto	
MONO	24,50 abB	47,50 aA	16,88
SAF-CV	35,50 aA	37,80 abA	20,08
SAF-CAI	16,85 bB	29,50 bA	19,73
CV (%)	27,68	17,72	

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna (tratamento) e maiúscula na linha (épocas) não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t de Bonferroni.

Na avaliação realizada em março, SAF-CV apresentou a maior taxa de colonização; MONO, valor intermediário; e SAF-CAI a menor taxa de colonização. Em agosto, a maior taxa foi apresentada por MONO; SAF-CV, valor intermediário; e SAF-CAI a menor taxa (Tabela 10).

A granação, que ocorreu no cafeeiro em março, é a fase de maior demanda por fotoassimilados pelos frutos e esses são drenos preferenciais de fotoassimilados e nutrientes durante o período reprodutivo (LAVIOLA e outros, 2007). As menores taxas de colonização micorrízica das raízes dos cafeeiros

verificadas em março foram relacionadas ao elevado direcionamento de metabólitos aos frutos, restringindo o transporte para as raízes (MARSCHNER; TIMONEN, 2005). Desta forma os produtos da fotossíntese destinados aos FMAs, numa relação de simbiose, essencial para ambos (HURST e outros, 2002) foi perturbado, restringindo a colonização das raízes (BEREAU e outros, 2005). Schreiner (2005) verificou em plantio de videiras Pinot Noir, cultivada em região árida, elevação da colonização das raízes após a fase de frutificação da cultura, relacionando tal comportamento a maior disponibilidade e direcionamento de fotoassimilados para as raízes. MONO, possivelmente, apresentou carga de produção significativa, porém, não sofreu restrição lumínica, o que pode ter possibilitado uma produção de fotoassimilados que atendessem a demanda dos frutos e dos FMAs. Já SAF-CAI, que apresentou menor taxa de colonização em março, além da demanda dos frutos por C, esse sistema sofreu restrição lumínica, limitando ainda mais a colonização, atribuída a menor eficiência fotossintética do cafeeiro nesse sistema (CORDEIRO e outros, 2005).

Na avaliação realizada em agosto, época com menor precipitação, fase pós-colheita dos frutos, os dois sistemas em produção, MONO e SAF-CAI, apresentaram uma elevação na taxa de colonização. Isso pode ser explicado pelo fato de não haver frutos concorrendo por fotoassimilados com os FMAs. Outro fator a ser considerado é a demanda da planta por nutrientes e água do solo.

As plantas controlam a CM por mecanismos não inteiramente esclarecidos (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006), mantendo o nível de colonização conforme a sua dependência micorrízica, o benefício em absorção de nutrientes que esses fungos estejam proporcionando (SCHWAB e outros, 1991) e a demanda dos mesmos por fotoassimilados (BEREAU e outros, 2005). Não há relação entre colonização e esporulação (DOUDS Jr, 1994), como observado

neste trabalho, em que não manteve-se, nas duas avaliações, a mesma proporção entre colonização e número de esporos nos sistemas.

Para a interpretação dos resultados apresentados, deve ser salientado que a calagem do solo não foi realizada em nenhum dos sistemas avaliados. De acordo com Siqueira e Colozzi-Filho (1986), fatores fungistáticos que atuam na germinação de esporos do solo podem ser atenuados pela prática da calagem, além de alterar a composição das populações de fungos micorrízicos arbusculares.

4.6 Aspectos abióticos relacionados a colonização micorrízica

Foi observada correlação negativa entre os teores de N foliar e US, na avaliação realizada em março (Tabela 11). A elevada disponibilidade de água no solo aliada a frutificação dos cafeeiros, condicionou o direcionamento de transporte de N das folhas para os frutos. Em estudo realizado por Valarini e outros (2005) com variedades de café arábica, observou-se que, durante a formação do fruto, houve decréscimo na concentração foliar de N e demais macronutrientes, com exceção para o Ca. Considerando o N um elemento de alta mobilidade no floema, dentre os fatores que podem influenciar sua concentração foliar destaca-se a intensidade da frutificação (MARTINEZ e outros, 2003a). Maiores cargas de frutos podem promover maior mobilização e direcionamento de N das folhas para órgãos reprodutivos (LAVIOLA e outros, 2006). Amaral e outros (2001) verificaram que, embora tenha ocorrido estímulo à atividade da redutase do nitrato na folha, induzida pela frutificação, os teores de amino-N foi reduzido em detrimento do fluxo para os frutos.

Para a avaliação realizada em agosto, a ausência da correlação entre N e US foi relacionada à incidência de baixas temperaturas e ausência dos órgãos

reprodutivos (fruto), ocasionando menor atividade da redutase do nitrato (RN) (CARELLI e outros, 2006). Para a relação entre N foliar e CM também não foi verificada correlação devido a presença de leguminosas arbóreas que estabelecem uma interação mais intensa com a nutrição nitrogenada dos cafeeiros que os FMAs (Tabela 11). Esta associação mais efetiva das leguminosas arbóreas, seja pela atividade das bactérias fixadoras de N, seja pela deposição de serapilheira com maior teor de N, teria suplantado o efeito da CM no acúmulo de N foliar dos cafeeiros, conforme postulado por Bergo e outros (2006).

Tabela 11 - Correlações entre as características Umidade do Solo (US), Colonização Micorrízica (CM) e macronutrientes foliares do cafeeiro (N, P, K, Ca e Mg). Barra do Choça-BA. 2007.

	Março		Agosto	
	US	CM	US	CM
N	-0,5293**	ns	ns	ns
P	0,4212*	-0,6252**	0,4995**	0,6056**
K	Ns	-0,7088**	-0,7448**	-0,4202**
Ca	-0,6613**	0,4528*	-0,6966**	-0,3741*
Mg	-0,5255**	0,5203**	0,5176**	ns
US	-	ns	-	0,8564**

ns: não significativo; * significativo a 10% de probabilidade; ** significativo a 5% de probabilidade.

A estreita relação entre disponibilidade hídrica e acúmulo de P foliar foi verificada a partir da correlação positiva entre P e US nas duas épocas de avaliação. Entretanto, entre teores de P foliar e CM, correlações de igual magnitude, porém, de comportamento contrário foram observadas para as duas épocas. A correlação negativa observada entre P e CM foi modulada pela presença da frutificação em março. Como já discutido anteriormente, os frutos

são drenos preferenciais de fotoassimilados (LAVIOLA e outros, 2007), o que pode ter determinado menores taxas da CM nessa avaliação em contraposição aos menores teores de P. Em agosto, época caracterizada por severa estiagem e ausência de órgãos reprodutivos, tal comportamento foi alterado (correlação positiva entre P e CM). Essa época, contrariamente a anterior, favoreceu a potencialização da CM como fator favorável ao acúmulo de P nas folhas.

Para K e US, não foi observada correlação em março. A relação de teores de K em relação aos acréscimos de US foi relacionado ao “efeito diluição”, promovido pelo efeito deste nutriente em incremento e acúmulo de massa seca nas folhas. Esse efeito ocorre quando a taxa de crescimento relativo de matéria seca é superior a taxa de absorção relativa do nutriente (MAIA e outros, 2005). Em agosto, esse efeito foi potencializado pela US e CM, indicado pela correlação negativa simultânea de ambas com o K foliar, pois teriam favorecido a absorção desse nutriente, ocasionando o efeito diluição.

Em março, época úmida, a CM correlacionou-se positivamente com os teores foliares de Ca e Mg (Tabela 11). A interação de tais nutrientes (classificados como pouco móveis no solo e/ou de baixa disponibilidade) com os FMAs resultou na elevação dos teores foliares de Ca e Mg por meio do incremento da capacidade de absorção desses nutrientes (SMITH; READ, 1997; MARSCHNER, 1998). A relação desses nutrientes com a US nesta avaliação foi negativa, indicando que o efeito da CM na absorção desses nutrientes foi mais eficiente, tendo em vista que são pouco móveis no solo (Tabela 11). Em agosto houve correlação negativa do Ca com US e CM. Essas correlações negativas foram atribuídas ao “efeito concentração” foliar de Ca que ocorre no final da frutificação do cafeeiro, devido a baixa mobilidade desse nutriente na planta, conforme o observado por Valarini e outros (2005). Já o Mg foliar correlacionou-se positivamente com US em agosto, pois tem maior mobilidade na planta, aumentando sua concentração foliar em detrimento de maior

transpiração, e esta, de maior US. Não houve correlação do Mg com CM nesta avaliação.

Em março, a diferença de estádios de desenvolvimento do ciclo dos cafeeiros, caracterizado pela presença de frutos em MONO e SAF-CAI e incipiência da frutificação em SAF-CV, resultou na ausência de correlação entre US e CM. Em agosto, época com menor precipitação, houve correlação positiva entre US e CM. Esse comportamento foi relacionado a exigência da colonização micorrízica por um teor mínimo de disponibilidade de água. Portanto, quanto mais próximos os valores de US à capacidade de campo, maiores foram as taxas de CM (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

5 CONCLUSÕES

A ocorrência da abscisão foliar do componente arbóreo teve interferência na sazonalidade de incidência de luz para os cafeeiros mantidos em manejo agroflorestal.

Os principais fatores que definiram a morfologia do cafeeiro foram o manejo e sistemas de cultivo.

A presença do componente arbóreo definiu menor capacidade de conservação de água no solo dos sistemas agroflorestais.

Em condição de campo, a população de plantas espontâneas exerceu grande influência na densidade de esporos de fungos micorrízicos do solo.

A frutificação foi fator preponderante que definiu o comportamento da colonização micorrízica e a nutrição foliar do cafeeiro para nitrogênio e fósforo.

A disponibilidade hídrica do solo determinou os níveis de colonização micorrízica durante o estágio de desenvolvimento vegetativo dos cafeeiros.

REFERÊNCIAS

- AFEK, U. *et al.* Mycorrhizal inoculum influence colonization of cotton, onion and pepper seedlings. **Journal of the American Society for Horticultural Science**. v.115, n.1, p. 938-942, 1990.
- ALFARO-VILLATORO, M. A. A. **Matéria orgânica e indicadores biológicos da qualidade do solo na cultura de café sob manejo agroflorestal e orgânico**. 2004. 186f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2004.
- ALFONSI, E. L. *et al.* Crescimento, fotossíntese e composição mineral em genótipos de *Coffea* com potencial para utilização como porta-enxerto. **Bragantia**, v.64, n.1, p.1-13, 2005.
- ALTIERI, M.A. The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Agriculture, Ecosystem and Environment*, v.74, p.19-31, 1999.
- AMARAL, J.A.T.; DaMATTA, F.M.; RENA, A.B. Effects of fruiting on the growth of arabica coffee trees as related to carbohydrate and nitrogen status and to nitrate reductase activity. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**. v.13, n.1, p.66-74, 2001.
- ARRUDA, F.B.; ZULLO, J.; OLIVEIRA, J.B. Parâmetros de solo para cálculo da disponibilidade de água com base na textura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.11, n.1, p.11-15, 1987.
- AUGÉ, R. M. Arbuscular mycorrhizae and soil/plant water relations. **Canadian Journal of Soil Science**. v.84, n.4, p.373-381, 2004.
- AUGUSTO, H. S. *et al.* Concentração foliar de nutrientes em cultivares de *Coffea arabica* L. sob espaçamentos adensados. **Ciência e Agrotecnologia**, v.31, n.4, p.973-981, 2007.
- BALOTA, E.L.; LOPES, E. S. Introdução de fungo micorrízico arbuscular no cafeeiro em condições de campo. I. Persistência e interação com espécies nativas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.20, n.2, p.217-223, 1996a.
- BALOTA, E.L.; LOPES, E.S. Introdução de fungo micorrízico arbuscular no cafeeiro em condições de campo. II. Flutuação sazonal de raízes, de colonização

e de fungos micorrízicos arbusculares associados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.20, n.2, p.225-232, 1996b.

BAUMGARTNER, K.; SMITH, R. F.; BETTIGA, L. Weed control and cover crop management affect mycorrhizal colonization of grapevine roots and arbuscular mycorrhizal fungal spore populations in a California vineyard. **Mycorrhiza**, v.15, n.2, p.111-119, 2005.

BÉREAU, M. *et al.* Do mycorrhizas improve tropical tree seedling performance under water stress and low light conditions? A case study with *Dicorynia guianensis* (Caesalpinaceae). **Journal of Tropical Ecology**. v.21, n.4, p.375-381, 2005.

BERGO, C.L. *et al.* Avaliação de espécies leguminosas na formação de cafezais no segmento da agricultura familiar no Acre. **Acta Amazônica**, v.36, n.1, p.19-24, 2006.

BERTHAUD, J.; CHARRIER, A. Genetic resources of Coffea. In: CLARKE, R.J.; MACRAE, R. (Ed.). **Coffee**. London: Elsevier Applied Science, 1988, v.4, p.1-42.

BLACK, C. R.; ONG, C. K. Utilization of light and water in tropical agriculture. **Agriculture Forest Meteorology**, v.104, p.25-47, 2000.

BODDINGTON, C.L.; DODD, J.C. The effect of agricultural practices on the development of indigenous arbuscular mycorrhizal fungi. I. Field studies in an Indonesian ultisol. **Plant and Soil**, v.218, n.2, p.137-144, 2000.

BORGES, B. I. *et al.* Estado nutricional de lavouras de café na região do Alto Parnaíba – MG. **Bioscience Journal**, v.20, n.2, p.197-206, 2004.

BOTE, A. D. **Physiological effect of shade on growth and production of organic coffee in Ethiopia**. 2007. 67 f. Thesis (Master Science: Crop Physiology), Wageningen University, 2007.

BRUNDRETT, M.C. Coevolution of roots and mycorrhizas of land plants. **New Phytologist Lancaster**, v.154, n.2, p.275-304, 2002.

CAMPANHA, M. M. *et al.* 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**, v.31, n.5, p.805-812, 2007.

CAMPANHA, M.M. **Análise comparativa de cafeeiros (*Coffea arabica* L) em sistema agroflorestal e monocultivo na Zona da Mata de Minas Gerais.** 2001. 132 f.. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.

CAPRONI, A. L. **Fungos micorrízicos arbusculares em áreas reflorestadas remanescentes da mineração de bauxita em Porto Trombetas.** 2001. 186 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2001.

CARDOSO, I. M. *et al.* Distribution of mycorrhizal fungal spores in soils under agroforestry and monocultural coffee systems in Brazil. **Agroforestry Systems**, v.58, n.1, p.33-43, 2003.

CARDOSO, I.M. *et al.* Continual learning for agroforestry system desing: university, NGO and farmer partnership in Minas Gerais, Brasil. **Agricultural Systems**, v.69, n.3, p.235-257, 2001.

CARELLI, M. L. C. *et al.* Carbon isotope discrimination and gas exchange in *Coffea* species grown under different irradiance regimes. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v.11, n.2, p.63-68, 1999.

CARELLI, M.L.C.; FAHL, J.I.; RAMALHO, J.D.C. Aspects of nitrogen metabolism in coffee plants. **Brazilian Journal Plant Physiology**, v.18, n.1, p.9-21, 2006.

CARMO, L. A. do; COSTA, R. S. C. da; CAMPELO, K. de O. Ocorrência de micorrizas arbusculares em sistemas agroflorestais com café (*Coffea canephora*) em Rondônia. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 3., 2003, Porto Seguro-BA. **Anais...** Brasília: Embrapa Café, 2003. p.305.

CHIRWA, P. W. *et al.* Soil water dynamics in cropping systems containing *Gliricidia sepium*, pigeonpea and maize in southern Malawi. **Agroforest Systems**, v.69, n.1, p.29-43, 2007.

COELHO, R.A. *et al.* Efeito de leguminosa arbórea na nutrição nitrogenada do cafeeiro (*Coffea canephora* Pierre ex Froehn) consorciado com bananeira em sistema orgânico de produção. **Coffee Science**, v.1, n.1, p.21-27, 2006.

COELHO, R.A. *et al.* Influência do sombreamento sobre a população de plantas espontâneas em área cultivada com cafeeiro (*Coffea canephora*) sob manejo orgânico. **Agronomia**, v.38, n.2, p.23-28, 2004.

COLOZZI-FILHO, A.; CARDOSO, E.J.B.N. Detecção de fungos micorrízicos arbusculares em raízes de cafeeiro e de crotalária cultivada na entrelinha.

Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.35, n.10, p.2033-2042, 2000.

CORDEIRO, M. A. S. *et al.* Colonização e densidade de esporos de fungos micorrízicos em dois solos do cerrado sob diferentes sistemas de manejo.

Pesquisa Agropecuária Tropical, v.35, n.3, p.147-153, 2005.

CORRÊA, J.B. *et al.* Avaliação da fertilidade do solo e do estado nutricional de cafeeiros do sul de Minas Gerais. **Ciência Agrotecnologia**, v.25, n.6, p.1279-1286, 2001.

DaMATTA, F.M. Fisiologia do cafeeiro em sistemas arborizados. In: MATSUMOTO, S.N. (Org.). **Arborização de cafezais no Brasil**. Vitória da Conquista: Ed. Uesb, 2004. cap.3, p.87-122.

DaMATTA, F.M.; RENA, A.B. Ecofisiologia de Cafezais Sombreados e a Pleno Sol. In: ZAMBOLIM, L. (Ed.). **O Estado da arte de tecnologias na produção de café**. Viçosa: Ed. UFV, 2002, cap.3, p.93-136, 568p.

DANIELS-HETRICK, B. A.; BLOOM, J. The influence of host plant on production and colonization ability of vesicular-arbuscular mycorrhizal spores. **Mycologia**, v.78, n.1, p.32-36, 1986.

DIAS, T.C.S.; ALVES, P.L.C.A.; LEMES, L.N. Períodos de interferência de *Commelina benghalensis* na cultura do café recém-plantada. **Planta Daninha**, v.23, n.3, p.398-404, 2005.

DOUDS Jr, D. D. Relationship between hyphal and arbuscular colonization and sporulation in mycorrhiza of *Paspalum notatum* Flugge. **New Phytologist**, v.126, n.2, p.233-237, 1994.

ENTRY, J. A.; RYGIEWICZ, P. T.; WATRUD, L. S.; DONNELLY, P. K. Influence of adverse soil conditions on the formation and function of Arbuscular Mycorrhizas. **Advances in Environmental Research**, v.7, n.1, p.23-138, 2002.

ESTÍVARIZ-COCA, J.J. **Efecto de sombra sobre la floración y producción de café (*Coffea arabica* var. Caturra), después de una poda completa en Turrialba, Costa Rica**. 1997. 65p. Dissertação (Mestrado) - Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Turrialba, Costa Rica. 1997.

FAHL, J. I. *et al.* Nitrogen and irradiance levels affecting net photosynthesis and growth of young coffee plants (*Coffea arabica* L.). **Journal of Horticultural Science**, v.69, p.161-169, 1994.

FAHL, J. I.; CARELLI, M. L. C. Influência do sombreamento nas características fisiológicas envolvidas no crescimento de espécies de coffeea. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE CAFÉ ADENSADO, 1994, Londrina. **Anais...** Londrina: IAP, 1994. p.289-290.

FARFAN, V. F.; MESTRE, M. M. Respuesta del cafeto cultivado en un sistema agroforestal a la aplicación de fertilizantes. **Cenicafé**, v.55, n.2, p.161-174, 2004.

FERNANDES, D.R. Manejo do cafezal. In: RENA, A.B. *et al.* (ed.). **Cultura do café: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: Potafós, 1986, p.275-30.

FRANCK, N.; VAAST, P.; DAUZAT, J. What limits photosynthesis of coffee leaves under sun and shade? In: SECOND INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON MULTI-STRATA AGROFORESTRY SYSTEM WITH PERENNIAL CROPS, 2007, Turrialba, Costa Rica. **Anais...** Turrialba, Costa Rica, 2007.

GERDEMANN, J. W.; NICOLSON, T. H. Spores of mycorrhizas endogamous species extracted from soil by wet sieving and decanting. **British Mycological Society Transactions**, v.46, p.235-244, 1963.

GIOVANNETTI, M.; MOSSE, B. An evaluation of techniques for measuring vesicular arbuscular mycorrhizal infection in roots. **New Phytologist**, v.84, n.3, p.489-500, 1980.

GONÇALVES, G.C. **Cultivo em campo de *Coffea arabica* L. cv. Obatã a pleno sol x sombreamento parcial: avaliações bioquímicas, fisiológicas e nutricionais**. 2007. 116f. Tese (Doutorado em Ciências) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba-SP, 2007.

HURST, S. E.; TURNBULL, M. H.; NORTON, D. A. The effect of plant light environment on mycorrhizal colonization in field-grown seedlings of podocarp-angiosperm forest tree species. **New Zealand Journal of Botany**, v.40, p.65-72, 2002.

IMBACH, A. C. *et al.* Sistemas agroforestales de café (*Coffea arabica*) con Laurel (*Cordia alliodora*) y café con Poró (*Erythrina poeppigiana*) em

Turrialba, Costa Rica: VI. Balances hídricos e ingreso con lluvias y lixiviación de elementos nutritivos. **Turrialba**, v.39, p.400-414, 1989.

JARAMILLO, R. A.; CHÁVES, C. B. Aspectos hidrológicos en un bosque y en plantaciones de café (*Coffea arabica* L.) al sol y bajo sombra. **Cenicafé**, v.50, n.2, p.97-105, 1999.

JARAMILLO-BOTERO, C. **Resposta de cafeeiros ao sombreamento e à dinâmica de serrapilheira em condições de sistema agroflorestal**. 2007. 72 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2007.

JARAMILLO-BOTERO, C.; MARTINEZ, H.E.P.; SANTOS, R.H.S. Características do café (*Coffea arabica* L.) sombreado no norte da América Latina e no Brasil: análise comparativa. **Coffee Science**, v.1, n.2, p.94-102, 2006.

JESUS, J.de. *et al.* Avaliação da fertilidade do solo e teor foliar de K do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) em sistema agroflorestal em aléia de seringueira (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.) e em monocultivo. In: VI CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS, 6, 2006, Campos dos Goytacazes. **Anais...** Campos dos Goytacazes, 2006.

JOHANSSON, J. F.; PAUL, L. R.; FINLAY, R. D. Microbial interactions in the mycorrhizosphere and their significance for sustainable agriculture. **FEMS Microbiology Ecology**, v.48, n.1, p.1-13, 2004.

JOHNSON, D. *et al.* In situ (CO₂)-C-13 pulse-labelling of upland grassland demonstrates a rapid pathway of carbon flux from arbuscular mycorrhizal mycelia to the soil. **New Phytologist**, v.153, n.2, p.327-334, 2002.

KOIDE, R.T.; DICKIE, I.A. Effects of mycorrhizal fungi on plant populations. **Plant and Soil**, v.244, n.2, p.307-317, 2002.

LAVIOLA, B.G. Acúmulo em frutos e variação na concentração foliar de NPK em cafeeiro cultivado em quatro altitudes. **Bioscience Journal**, v.24, n.1, p.19-31, 2008.

LAVIOLA, B.G. **Alocação de fotoassimilados e nutrientes em folhas e frutos de cafeeiro em diferentes altitudes de cultivo**. 2007. 148 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2007.

LAVIOLA, B.G. *et al.* Dinâmica de N e K em folhas, flores e frutos de cafeeiro arábico em três níveis de adubação. **Bioscience Journal**, v.22, n.3, p.33-47, 2006.

LAVIOLA, B.G. *et al.* Dinâmica de P e S em folhas, flores e frutos de cafeeiro arábico em três níveis de adubação. **Bioscience Journal**, v.23, n.1, p.29-40, 2007.

LOPES, E.S. *et al.* Occurrence and distribution of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in coffee e (*Coffea arabica* L.) plantations in central São Paulo State, Brazil. **Turrialba**, v.33, n.4, p.417-422, 1983.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras**: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. Nova Odessa: Plantarum, 1992. 352 p.

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

MACÊDO, T.S. *et al.* População de micorrizas arbusculares em agroecossistemas da Amazônia Ocidental. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 26. REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 10. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 8. REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 5. 2004. Lages. **Resumos expandidos...** Lages, SC:UDESC. Não paginado. CD-ROM. 2004.

MAIA, C.E. *et al.* Teores foliares de nutrientes em meloeiro irrigado com águas de diferentes salinidades. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, (suplemento), p.292-295, 2005.

MALAVOLTA, E. Avaliação nutricional do cafeeiro. In: SIMPÓSIO ESTADUAL DO CAFÉ, 2, 1996. Vitória. **Resumos...** Vitória: Centro de Desenvolvimento Tecnológico do Café (CETCAF), p. 83-131. 1996.

MALAVOLTA, E. *et al.* Repartição de nutrientes nos ramos, folhas e flores do cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, n.7, p.1017-1022, 2002.

MALAVOLTA, E. Nutrição, adubação e calagem para cafeeiro. In: RENA, A.B. *et al.* **Cultura do cafeeiro**: fatores que afetam a produtividade. Piracicaba: Potafós, 1986, p.165-274.

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

MARQUES, E. S.; FAQUIN, V.; GUIMARÃES, P. T. G. Relações entre teores foliares de nutrientes e produção do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) submetido a doses de calcário e gesso. **Ciência e Agrotecnologia**, v.23, n.4, p.856-863, 1999.

MARSCHNER, P.; TIMONEN, S. Interactions between plant species and mycorrhizal colonization on the bacterial community composition in the rhizosphere. **Applied Soil Ecology**, v.28, n.1, p.23-36, 2005.

MARTINEZ, H. E. P. *et al.* Faixas críticas de concentrações de nutrientes e avaliação do estado nutricional de cafeeiros em quatro regiões em Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.38, n.6, p.703-713, 2003a.

MARTINEZ, H.E.P. *et al.* Coffee-tree floral analysis as a mean of nutritional diagnosis. **Journal of Plant Nutrition**, v. 26, n.7, p.1457-1482, 2003b.

MARTINEZ, H.E.P. *et al.* **Nutrição mineral, fertilidade do solo e produtividade do cafeeiro nas regiões de Manhuaçu e Patrocínio**. Belo Horizonte: EPAMIG, 2000, 36 p.

MARTINEZ, H.E.P.; CARVALHO, J.G.; SOUZA, R.B. de. Diagnose Foliar. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ, V. H. (Eds.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**, 5.a. aproximação. Viçosa: CFSMG. 1999. 359p.

MATSUMOTO, S.N. *et al.* Water relations in a coffee grove planted with grevilleas in Vitória da Conquista-Bahia, Brazil. **Coffee Science**, v.1, n.1, p.71-83, 2006.

MELLO, J.T.; GUIMARÃES, D.P. A cultura do café em sistemas consorciados na região do Cerrado. In: I SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 1, 2000, Poços de Caldas. **Resumos expandidos....** Poços de Caldas – MG: Embrapa. p. 963-966, 2000.

MILLER, R.M.; JASTROW, J.D. Mycorrhizal fungi influence soil structure. In: KAPULNIK, Y.; DOUDS, D.D. (Ed.). **Arbuscular mycorrhizae: molecular biology and physiology**. The Netherlands: Kluwer, 2000. p.3-18.

- MORAIS, H. *et al.* Características fisiológicas e de crescimento de cafeeiro sombreado com guandu e cultivado a pleno sol. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.38, n.10, p.1131-1137, 2003.
- MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. Micorrizas. In: _____. **Microbiologia e Bioquímica do Solo**. 2. ed. Lavras: UFLA, 2006. cap.10, p.543-662.
- MORTON, JX B.; BENNY, G. L. Revised classification of arbuscular mycorrhizal fungi (Zygomycetes): a new order, Glomales, two new suborders, Glominae and Gigasporinae, and two new families, Acaulosporaceae and Gigasporaceae, with an emendation of Glomaceae. **Mycotaxon**, v.37, n.1, p 478-491, 1990.
- MULETA, D. *et al.* Composition of coffee shade tree species and density of indigenous arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) spores in Bonga natural coffee forest, southwestern Ethiopia. **Forest Ecology and Management**. v.241, n.1, p.145–154, 2007.
- MULETA, D. *et al.* Distribution of arbuscular mycorrhizal fungi spores in soils of smallholder agroforestry and monocultural coffee systems in southwestern Ethiopia. **Biological Fertility of Soil**, v. 44, n.4, p.653-659, 2008.
- MUÑOZ, G.; ALVARADO, J. Importancia de la sombra en el cafetal. **Agroforestería en las Américas**, v.4, p.25-29, 1997.
- MUNYANZIZA, E.; KEHRI, H. K.; BAGYARAJ, D. J. Agricultural intensification, soil biodiversity and agroecosystem function in the tropics: the role of mycorrhiza in crops and trees. **Applied Soil Ecology**, v.6, n.1, p.77-85. 1997.
- MUSCHLER, R.G. Shade improves coffee quality in a sub-optimal coffee-zone of Costa Rica. **Agroforestry Systems**, v.51, n.2, p.131-139, 2001.
- MUTHUKUMAR, T. *et al.* Distributions of roots and arbuscular mycorrhizal associations in tropical forest types of Xishuangbanna, southwest China. **Applied Soil Ecology**, v.22, n.3, p.241-253, 2003.
- NAIR, P.K.R. **An introduction to agroforestry**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1993, 499p.

NARAIN, P. *et al.* Water balance and water efficiency of different land uses in western Himalayan valley region. **Agriculture Forest Meteorology**, v.37, n.3, p.225-240, 1998.

NEVES, Y.P. *et al.* Produtividade y acumulación de materia seca, N, P y K por cultivares de *Coffea arabica* L. **Coffee Science**, v.1, n.2, p.156-167, 2006.

NEVES, Y. P. *et al.* Teor de água e fertilidade do solo com cafeeiros cultivados em sistemas agroflorestais. **Revista Árvore**, v.31, n.4, p.575-588, 2007.

OLIVEIRA, C.R.M. de *et al.* Trocas gasosas de cafeeiros (*Coffea arabica* L.) e seringueiras (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.) em diferentes sistemas de cultivo na região de Lavras-MG. **Revista Árvore**, v.30, n.2, p.197-206, 2006.

OLIVEIRA, E. *et al.* Ocorrência de fungos micorrízicos vesículo-arbusculares em cafeeiros da região do Alto Paranaíba e Triângulo no Estado de Minas Gerais. **Hoehnea**, v.17, n.2, p.117-125, 1990.

ÖPIK, M. *et al.* Composition of root-colonizing arbuscular mycorrhizal fungal communities in different ecosystems around the globe. **Journal of Ecology**, v.94, n.4, p.778–790, 2006.

PEREIRA, J.B.D. **Eficiência nutricional de nitrogênio e de potássio em plantas de café (*Coffea arabica* L.)**. 1999. 99 f.. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1999.

PREZOTTI, L.C.; ROCHA, A.C. da. Nutrição do cafeeiro arábica em função da densidade de plantas e da fertilização com NPK. **Bragantia**, v.63, n.2, p.239-251, 2004

RÊGO, I. A. C.; TRINDADE, A. V.; CARVALHO, J. E. B. de. Comunidade e eficiência de fungos micorrízicos arbusculares sob diferentes manejos da vegetação espontânea em pomar de citros. **Magistra**, v.16, n.2, p.96-104, 2004.

RENA, A.B. *et al.* Fisiologia do cafeeiro em plantios adensados. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE CAFÉ ADENSADO, 1994, Londrina. **Anais...** Londrina: Iapar, 1994, p.73-85.

RENA, A.B.; BARROS, R.S.; MAESTRI, M. Desenvolvimento Reprodutivo do Cafeeiro. In: ZAMBOLIM, L. (Ed.). **Tecnologias de produção de café com qualidade**. Viçosa: UFV, 2001, p.101-128, 648p.

RESENDE, A. S. *et al.* Use of Green manures in increase inputs of biological nitrogen fixation to sugar cane. **Biology and Fertility of Soils**, v.37, n.4, p.215-220, 2003.

RICCI, M. dos S. F. *et al.* Cultivo orgânico de cultivares de café a pleno sol e sombreado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, n. 4, p.569-575, 2006.

RILLIG, M.C. Arbuscular mycorrhizae, glomalin, and soil aggregation. **Canadian Journal of Soil Science**, v.84, n.4, p.355-363, 2004.

SAGGIN JÚNIOR, O.J.; SIQUEIRA, J.O. Micorrizas arbusculares em cafeeiro. In: SIQUEIRA, J.O. (Ed.). **Avanços em fundamentos e aplicações de micorrizas**. Lavras: Ufla, 1996. p.202-254.

SANCHEZ; P. A. Soil fertility and hunger in África. **Science**, v.295, p.2019-2020, 2002.

SCHALLER, M. *et al.* Species and site characteristics that permit the association of fast-growing trees with crops: The case of *Eucalyptus deglupta* as coffee shade in Costa Rica. **Forest Ecology and Management**, v.175, n.1, 2003.

SCHENCK, N.C.; PEREZ, Y. **Manual for the identification of VA mycorrhizal fungi**. Gainesville: University of Florida, 1987. 242p.

SCHEREINER, R. P.; IVORS, K. L.; PINDERTON, J. N. Soil solarization reduces arbuscular mycorrhizal fungi as a consequence of weed suppression. **Mycorrhiza**, v.11, n.6, p.273-277, 2001.

SCHERER, A.; COLOZZI FILHO, A.; ANDRADE, D.S.; TAVARES FILHO, J. Biomassa microbiana e micorrizas arbusculares em agrossistema café orgânico arborizado. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 26. REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 10. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 8. REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 5. **Resumos expandidos...** Lages-SC: UDESC. 2004. CD-ROM.

SCHREINER, R. P. Spatial and temporal variation of roots, arbuscular mycorrhizal fungi, and plant and soil nutrients in a mature Pinot Noir (*Vitis vinifera* L.) vineyard in Oregon, USA. **Plant and Soil**, v.276, p.219-234, 2006.

SCHWAB, S. M.; MENGUE, J. A.; TINKER, P. B. Regulation of nutrient transfer between host and fungus in vesicular-arbuscular mycorrhizas. **New Phytologist**, v.117, n.3, p.387-398, 1991.

SILVA, E.B. *et al.* Adubação potássica para o cafeeiro: produção de grãos beneficiados. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 25, 1999. Poços de Caldas. **Resumos...** Poços de Caldas: MAA/SDR/PROCAFÉ/PNFC, 1999. p.87-88.

SILVA-FILHO, G.N.; VIDOR, C. Atividade de microrganismos solubilizadores de fosfatos na presença de nitrogênio, ferro, cálcio e potássio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, n.12, p.1495-1508, 2001.

SIQUEIRA, J.O.; COLOZZI-FILHO, A. Micorrizas vesículo-arbusculares em mudas de cafeeiro. II. Efeito do fósforo no estabelecimento e funcionamento da simbiose. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.10, n.3, p.207-211, 1986.

SMITH, S. E.; GIANINAZZI-PEARSON, V. Physiological interactions between symbionts in vesicular-arbuscular mycorrhizal plants. Annual Review of **Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v.39, n.1, p.221-244, 1988.

SMITH, S.E., READ, D.J. **Mycorrhizal symbiosis**. London: Academic Press, 1997.

SOTO-PINTO, L.; PERFECTO, I.; CABALLERO-NIETO, J. Shade over coffee: its effects on berry borer, leaf rust and spontaneous herbs in Chiapas, México. **Agroforestry Systems**, v.55, n.1, p.37-45, 2000.

THEODORO, V. C. de A. *et al.* Carbono da biomassa microbiana e micorriza em solo sob mata nativa e agroecossistemas cafeeiros. **Acta Scientiarum: Agronomy**, v.25, n.1, p.147-153, 2003.

TORO, M.; HERRERA, R. Existence of mycorrhizal spores in two different coffee plantations. In: NORTH AMERICAN CONFERENCE ON MYCORRHIZAE, 7., Gainesville, 1987. **Proceedings**. Gainesville, Institute of Food and Agricultural Sciences, 1987. p.60.

TORO-GARCIA, M. **Efectividad del hongo *Gigaspora margarita* como micorriz de cafetos a exposición solar**. 1987. 108f. Tese (Tese de Licenciatura) - Universidade Central de Venezuela, Caracas, 1987.

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

VAN DER HEIJDEN, M. G. A., J. N. KLIRONOMOS, M. URSIC, P. MOUTOGLIS, E. R. STREITWOLF, T. BOLLER, A. WIEMKEN, I. R. SANDERS, AND M. G. A. VAN DER HEIJDEN. Mycorrhizal fungal diversity determines plant biodiversity, ecosystem variability and productivity. **Nature**, v.396, p.69-72, 1998.

VATOVEC, C., HUERD, S. Responsiveness of certain agronomic weed species to arbuscular mycorrhizal fungi. **Renewable Agriculture and Food Systems**, v. 20, n.3, p.181-189, 2005

WILLSON, K.C. Mineral nutrition and fertiliser needs. In: CLIFFORD, M.M.N.; WILLSON, K.C. (Eds.). **Coffee: botany, biochemistry and production of beans and beverage**. London: Croom Helm, 1987, cap. 6, p.135-156.