

JULIANA MARTINS MEDINA

**CRESCIMENTO DE RECEPAS DE CAFEEIRO E ANÁLISE FUNCIONAL
DOS MICRO-ORGANISMOS DO SOLO EM SISTEMA AGROFLORESTAL
COM MACAÚBA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agroecologia para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2016

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

Medina, Juliana Martins, 1986-
M491c Crescimento de recepas de cafeeiro e análise funcional dos
2016 micro-organismos do solo em sistema agroflorestal com
macaúba / Juliana Martins Medina. – Viçosa, MG, 2016.
viii, 53f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador: Ricardo Henrique Silva Santos.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.
Referências bibliográficas: f.47-53.

1. Agrossilvicultura. 2. Cafeeiro. 3. Macaúba. 4. Ecologia agrícola. 5. Micro-organismos do solo. I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Fitotecnia. Programa de Pós-graduação em Agroecologia. II. Título.

CDD 22. ed. 634.99

JULIANA MARTINS MEDINA

**CRESCIMENTO DE RECEPAS DE CAFEIEIRO E ANÁLISE FUNCIONAL
DOS MICRO-ORGANISMOS DO SOLO EM SISTEMA AGROFLORESTAL
COM MACAÚBA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agroecologia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 19 de fevereiro de 2016.

Prof. Dr. Silvio Nolasco de Oliveira
Neto

Prof. Dr. André Narvaes da Rocha
Campos

Prof. Dr. Felipe Lopes da Silva
(Coorientador)

Prof. Dr. Maurício Dutra Costa
(Coorientador)

Prof. Dr. Ricardo Henrique Silva Santos
(Orientador)

A Deus,
Aos meus pais Graça e Antônio(*In Memoriam*)

Dedico

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar absoluto a Deus por me dar força e perseverança, para chegar até aqui, principalmente por ter colocado pessoas especiais, amigas que me deram o apoio suficiente para concluir esse trabalho, “pois sozinho e isolado ninguém é capaz”.

A minha mãe que é meu amor maior, meu porto seguro. Força que me apoia e sustenta em todas as minhas decisões, à ela toda a minha gratidão.

Ao meu pai (*In Memoriam*) minha inspiração e acho que ele não imaginaria como suas palavras me encorajou em tantos momentos decisivos... muitas saudades ele deixou, mas seu amor continua vivo no meu coração.

Aos meus professores que foram a coluna que sustentou o meu conhecimento e me incentivou a continuar, em especial ao Professor Ricardo pela paciência, ensinamentos, orientação e mais que isso pela amizade que se formou nesse trabalho.

Aos meucoorientadores professores Felipe, André e Maurício pelo auxílio e disponibilidade.

À Universidade Federal de Viçosa e ao Programa de Pós-Graduação em Agroecologia pela oportunidade de realização do Mestrado e pela contribuição à minha formação acadêmica.

Ao Bioagro, em especial ao Departamento de Microbiologia Agrícola que permitiu a realização de parte das atividades.

Ao Departamento de Fitotecnia que disponibilizou o uso dos Laboratórios de Herbicida na Planta e Herbicida no solo, em particular à Chris, Wendel e Autieres pelos ensinamentos e ajuda em algumas análises.

A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais pela concessão da bolsa de estudo.

Aos meus familiares e amigos verdadeiros que conheci nessa longa caminhada em especial os que estiveram presentes no mestrado, em especial ao Wantinho pela ajuda e amizade em todas as etapas. Ao Gilmar, Mariana, Amanda, Anália, Leni, Larissa, Sérgio, Renata, Juninho, Silmara e nossa “mãe secretária” Ro, estes que em algum momento foram fundamentais para execução dos trabalhos.

À República RP, meus amados amigos Flávia e Pagotinho pelo companheirismo e grande ajuda.

A todos, que de alguma forma, contribuíram para essa conquista, meu muito obrigado!

BIOGRAFIA

Juliana Martins Medina, filha de Antônio Alacó Medina (*In Memoriam*) e Maria das Graças Martins Medina, nasceu em Pedra do Anta, Minas Gerais, em 26 de Dezembro de 1986.

Em dezembro de 2004, concluiu o Segundo Grau na Escola Estadual José Albino Leal e em 2010 ingressou no curso de Agroecologia pelo IF Sudeste de Minas, Campus Rio Pomba. Em Março de 2014 iniciou o curso de Mestrado Acadêmico em Agroecologia na Universidade Federal de Viçosa, submetendo-se a defesa em 19 de fevereiro de 2016.

“Combati o bom combate, terminei a minha corrida, conservei a fé.”

2 Timóteo 4:7

“Você nunca sabe que resultados virão da sua ação. Mas se você não fizer nada, não existirão resultados.”

Mahatma Gandhi

ÍNDICE

RESUMO	vii
ABSTRACT	vii
INTRODUÇÃO GERAL	1
CAPÍTULO I	3
RESUMO	3
ABSTRACT	4
1 – INTRODUÇÃO	5
2– OBJETIVOS	6
2.1 Objetivo Geral	6
2.2 Objetivos Específicos	6
3 – MATERIAL E MÉTODOS	6
3.1 Caracterização da Área de Estudo	6
3.2 Histórico da Área e Amostragem	7
3.3 Amostragem do Solo	8
3.4 Temperatura e Umidade do Solo	8
3.5 Radiação Fotossinteticamente Ativa (RFA)	9
3.6 Crescimento Vegetativo do Cafeeiro	9
3.7 Análise Estatística	9
4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO	10
4.1 Análise Química do Solo	10
4.2 Temperatura e Umidade do Solo	11
4.3 Radiação Fotossinteticamente Ativa	14
4.4 Crescimento Vegetativo do Cafeeiro	14
5 – CONCLUSÃO	18
6 – REFERÊNCIAS	18
CAPÍTULO II	22
RESUMO	22
ABSTRACT	23
1 – Introdução	24
2– Objetivo	25
2.1 – Objetivo Geral	25
2.2- Objetivos Específicos	25
3 – Materiais e Métodos	25
3.1 Caracterização da Área de Estudo	25

3.2 Histórico da Área e Pontos de Coleta.....	26
3.3 Amostragem do Solo	27
3.3.1. Amostragem para análise química.....	27
3.3.2. Amostragem de solo para análises microbiológicas.....	28
3.4 Análises Microbiológicas	28
3.4.1 Taxa respiratória, carbono da biomassa microbiana (CBM) e quociente metabólico do solo (qCO_2) e quociente microbiano ($qMIC$).....	28
3.4.2 Extração e contagem de esporos de fungos micorrízicos arbusculares	29
3.4.3 Diversidade metabólica utilizando o sistema Biolog Ecoplate ®.....	30
3.5 Análise Estatística	31
4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	32
5 – CONCLUSÃO	47
6 – CONCLUSÃO GERAL.....	47
7 – REFERÊNCIAS.....	47

RESUMO

MEDINA, Juliana Martins, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2016. **Crescimento de recepas de cafeeiro e análise funcional dos microrganismos do solo em sistema agroflorestal com macaúba.** Orientador: Ricardo Henrique Silva Santos. Coorientadores: Felipe Lopes da Silva e Maurício Dutra Costa.

A Agroecologia é uma forma de orientar as diferentes estratégias de desenvolvimento rural sustentável, avaliando as potencialidades dos sistemas agrícolas, através de perspectivas social, econômica e ecológica. Sistemas agrícolas que promovam a manutenção ou o aumento das populações microbianas benéficas do solo trazem muitas vantagens tanto para o ambiente quanto para a produção agrícola. Logo é importante buscar práticas agrícolas que visem à conservação dos microrganismos no solo. Diversas práticas e processos contribuem para o aumento e preservação da diversidade microbiana benéfica do solo, tais como a rotação de cultura, plantio direto, o consórcio, adubação verde, adubação orgânica, uso de cobertura morta e os sistemas agroflorestais (SAF). A avaliação das características microbiológicas do solo nos SAF é importante para a compreensão mais aprofundada de sua interferência positiva no solo, refletindo aspectos bioquímicos relacionados com a ciclagem e disponibilização de e com a dinâmica da matéria orgânica. Dessa forma este trabalho que teve foco de estudo o SAF composto por cafeeiros e macaubeiras, onde os objetivos principais foram: avaliar o crescimento vegetativo de cafeeiros em consórcio com a macaúba em diferentes distâncias das árvores e avaliar as características químicas, a diversidade das comunidades microbianas do solo em cafeeiros consorciados com macaubeiras.

ABSTRACT

MEDINA, Juliana Martins, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, february, 2016. **Coffee recepa of growth and functional analysis of soil microorganisms in agroforestry system with macaúba.** Adviser: Ricardo Henrique Silva Santos. Co-advisers: Felipe Lopes da Silva and Maurício Dutra Costa.

Agroecology is a way of guiding the different strategies of sustainable rural development, assessing the potential of agricultural systems, through social, economic and ecological perspectives. agricultural systems that promote the maintenance or increase in beneficial microbial populations Soil bring many benefits to both the environment and to agricultural production. Logo is important to seek agricultural practices aimed at conservation of soil microorganisms. Several practices and processes contribute to the increase and preservation of beneficial microbial diversity of the soil, such as crop rotation, tillage, the consortium, green manure, organic manure, mulch use and agroforestry systems (SAF). The evaluation of microbiological characteristics of the soil in the SAF is important for better understanding of their positive interference in the soil, reflecting biochemical aspects of cycling and availability of and the dynamics of organic matter. Thus this work was study focused on the SAF consists of coffee and macaubeiras, where the main objectives were to evaluate the vegetative growth of coffee plants in consortium with macaúba at different distances from the trees and evaluate the chemical characteristics, the diversity of microbial communities soil in coffee trees mixed with macaubeiras.

INTRODUÇÃO GERAL

A Agroecologia é uma forma de orientar as diferentes estratégias de desenvolvimento rural sustentável, avaliando as potencialidades dos sistemas agrícolas, através de perspectivas social, econômica e ecológica. Nessa perspectiva tem aumentado a demanda pelo desenvolvimento de técnicas e processos que permitam a redução do uso de insumos de origem sintética e industrial e contribuam para a sustentabilidade da agricultura sem que haja prejuízo à produção.

Uma proposta interessante na perspectiva agroecológica são Sistemas Agroflorestais (SAFs). Nestes sistemas a presença de espécies arbóreas resulta em redução da exposição do solo à radiação solar, proteção do solo contra erosão e intensificação da ciclagem de nutrientes, é o que mostra alguns estudos envolvendo os cafeeiros consorciados a uma ou mais espécies arbóreas.

A cafeicultura em SAFs pode aliar diversidade vegetal, conservação dos recursos naturais e ecologia de paisagem à produção de base familiar e reduzir a utilização de insumos industriais, podendo gerar dessa forma mercados diferenciados com maior valor agregado para a produção.

Na Zona da Mata de Minas Gerais SAFs formados por cafeeiros consorciados com espécies arbóreas estão presentes em algumas propriedades. Os cafeeiros são plantados junto com árvores frutíferas, principalmente frutas cítricas, espécies leguminosas de rápido crescimento, como também espécies para fins madeireiros.

Na Zona da Mata de Minas a cultura do café é uma das principais atividades produtivas da região, praticada em solos de encosta, principalmente por pequenos agricultores familiares. Dessa maneira a implantação de sistemas agroflorestais é uma alternativa que permite a obtenção de outros produtos além do café, da conservação e da recuperação do solo (Montagnini *et al.*, 2000; Campanha, 2007).

Contudo, a baixa produção nos cafeeiros sombreados, a falta de tecnologias apropriadas às condições locais e a falta de conhecimento sobre as espécies arbóreas apropriadas para o consórcio com os cafeeiros, são algumas das razões pelas que este sistema ainda é pouco disseminado.

Existe ainda com pouca informação científica sobre o comportamento das espécies em sistemas agroflorestais. É necessário conhecer os potenciais benefícios e prejuízos das espécies arbóreas associadas com os cafeeiros, que tradicionalmente

são cultivados a pleno sol na região (Jaramillo-Botero *et al.*, 2007). Para isso é necessário conhecimento sobre as arbóreas e como estas interferem nos cafeeiros e no agroecossistema.

Especificamente em relação ao solo de SAFs, as espécies arbóreas podem melhorar a qualidade do sistema de produção, essa melhora pode ser atingida pela eficiência do funcionamento do sistema solo-planta-microrganismos (Vezzani, 2001). A microbiota do solo é a principal responsável pela decomposição dos resíduos orgânicos, pela ciclagem de nutrientes e pelo fluxo de energia dentro do solo. O estudo da microbiologia do solo auxilia na compreensão das suas funções de promoção do crescimento de plantas.

Este trabalho que teve foco de estudo o SAF composto por cafeeiros e macaubeiras, onde os objetivos principais foram: avaliar o crescimento vegetativo de cafeeiros em consórcio com a macaúba em diferentes distâncias das árvores e avaliar as características químicas, a diversidade das comunidades microbianas do solo em cafeeiros consorciados com macaubeiras.

CAPÍTULO I

Crescimento vegetativo do cafeeiro em consórcio com macaúbas

RESUMO

No Brasil, a principal modalidade de cultivo do café (*Coffea arabica*) é a pleno sol. Porém, em algumas regiões o cultivo em Sistema Agroflorestal (SAFs) vem tornando uma alternativa para aumentar a diversidade vegetal junto aos cafeeiros. No SAFs, as espécies arbóreas promovem alterações no microclima que podem favorecer a produção do cafeeiro. Apesar das vantagens de um sistema agroflorestal com cafeeiros irá depender das condições edafoclimáticas da região, das espécies utilizadas, do espaçamento entre as plantas e do manejo aplicado ao sistema agroflorestal. Desse modo o objetivo desse trabalho foi avaliar o crescimento vegetativo de cafeeiro em consórcio com a macaúba em diferentes distâncias. Para isso foi analisado a temperatura do solo, umidade do solo, radiação fotossinteticamente ativa e crescimento dos cafeeiros, quanto ao número de nós e altura dos ramos ortotrópicos, número de nós dos ramos plagiotrópicos e diâmetro da copa. Contudo foi observado heterogeneidade nos ambientes analisados, quanto a radiação, a temperatura e umidade do solo que foram diferentes à medida que aumenta o distanciando das macaubeiras dos cafeeiros. Tais fatores interferiram no crescimento vegetativo dos cafeeiros, de forma que a fileira mais distante da macaúba apresentou maior número de nós dos ramos ortotrópicos e altura se comparada com a fileira de café mais próxima da macaúba.

Palavras-chave: café, macaubeira, sistema agroflorestal

Vegetative growth of coffee intercropped with macaúbas

ABSTRACT

In Brazil, the main mode of cultivation of coffee (*Coffea arabica*) is in full sun. However, in some regions growing in Agroforestry System (AFS) is becoming an alternative to increase plant diversity along the trees. In agroforestry systems, tree species promote changes in the microclimate that may favor the production of coffee. Despite the advantages of an agroforestry system with coffee will depend on soil and climatic conditions of the region, the species used, the spacing between the plants and the management applied to agroforestry system. Thus the aim of this study was to evaluate the vegetative growth of coffee plants in consortium with macaúba at different distances. For this was analyzed soil temperature, soil moisture, photosynthetically active radiation and growth of the coffee, as the number of nodes and height of orthotropic branches, number of nodes of reproductive branches and canopy diameter. However, it was observed heterogeneity in the analyzed environments, as radiation, temperature and soil moisture were different as it increases the distancing of macaubeiras of coffee. These factors interfere in the vegetative growth of the coffee, so that the furthest row macaúba showed greater number of nodes of orthotropic branches and height compared to the row nearest the macaúba coffee.

Key words: coffee, macauba palm, agroforestry system

1 – INTRODUÇÃO

No Brasil, a principal forma de cultivo do café (*Coffea arabica*) é a pleno sol. Porém, em algumas regiões o cultivo em Sistema Agroflorestal (SAFs) pode se tornar uma alternativa para aumentar a diversidade vegetal junto aos cafeeiros (Melo & Guimarães, 2011).

Nos SAFs, as espécies arbóreas promovem alterações no microclima que podem favorecer a produção do cafeeiro. Há relatos da redução da velocidade de ventos e melhoria do balanço hídrico dos cafeeiros, como também da redução da energia luminosa condicionando diferentes situações de disponibilidade hídrica para os cafeeiros, resultando em alterações morfofisiológicas da planta (César *et al.*, 2011; Matiello, 2012), além de aumento da capacidade de absorção e infiltração de água, redução do risco de erosão e da emergência de plantas invasoras e estimula a atividade biológica (Muschler, 2000; Barbera-Castillo, 2001; Vaast, 2004). Além disso, existem relatos da redução da bienalidade da produção e melhoramento da qualidade do café (Caramoriet *al.*, 2004).

Apesar dos benefícios potenciais do sistema agroflorestal com cafeeiros, seu suceso dependerá das condições edafoclimáticas da região, das espécies utilizadas, do espaçamento entre as plantas e do manejo aplicado ao sistema agroflorestal (DaMatta, 2004; Martinez *et al.*, 2004). Uma questão a ser considerada é que o sombreamento que em excesso pode reduzir a produção cafeeira em até 80% (Morais *et al.*, 2003).

Uma opção que pode ser adotada nos SAF é o consórcio de cafeeiro com a palmeira macaúba (*Acrocomia aculeata*). Esta palmeira é nativa das florestas tropicais, com ampla distribuição geográfica, ocorrendo desde o sul do México até ao sul do Brasil, Paraguai e Argentina (Morcote-Rios & Bernal, 2001).

Na região tropical, as palmeiras geram grande diversidade de produtos, especialmente aqueles relacionados aos seus frutos e sementes. Especificamente para a população das áreas rurais, as palmeiras constituem-se em uma importantíssima fonte de recursos, os quais são utilizados como alimentos, combustíveis, medicamentos caseiros, na cobertura das casas ou confecção de utensílios e adornos domésticos e, em alguns casos, como matéria prima para as indústrias locais (Vieira *et al.*, 2012).

A macaúba pode tornar-se a palmeira oleaginosa mais importante comercialmente no contexto brasileiro, com a possibilidade de cerca de 35% do fruto

apresentarem combustível de alto poder calórico (Motoike *et al.*, 2013). Frente à necessidade atual de fontes alternativas de energia, ela é considerada uma das espécies nativas com alta potencialidade de fornecimento de óleo para a produção de biodiesel.

Portanto são fundamentais estudos sobre SAFs com macaubeiras e cafeeiros na Zona da Mata de Minas Gerais, avaliando o efeito da distância de cultivo das árvores sobre os cafeeiros.

2– OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar o crescimento vegetativo de cafeeiros em consórcio com a macaúba em diferentes distâncias.

2.2 Objetivos Específicos

Avaliar o efeito da distância de cultivo das macaubeiras sobre a temperatura do e umidade do solo e a radiação fotossinteticamente.

Avaliar o crescimento dos ramos ortotrópicos, diâmetro da copa, número de nós dos ramos ortotrópicos e plagiotrópicos dos cafeeiros em diferentes distâncias de cultivo de macaubeiras.

3 – MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da Área de Estudo

A coleta de dados foi realizada em SAF composto por cafeeiros e macaubeiras. A área está localizada na Horta de Pesquisa do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa, (20°45'14''S e 42°52'53'' W) a 675 m de altitude, com 17% de declividade e face de exposição solar sentido noroeste. O solo é classificado como transição de Argissolo Vermelho Amarelo distrófico para Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, com textura argilosa, onde as características químicas estão apresentadas na Tabela 1. E para computar as entradas e saídas de água de um sistema foi feito o levantamento do balanço hídrico no período de janeiro a setembro de 2015 (Figura 1).

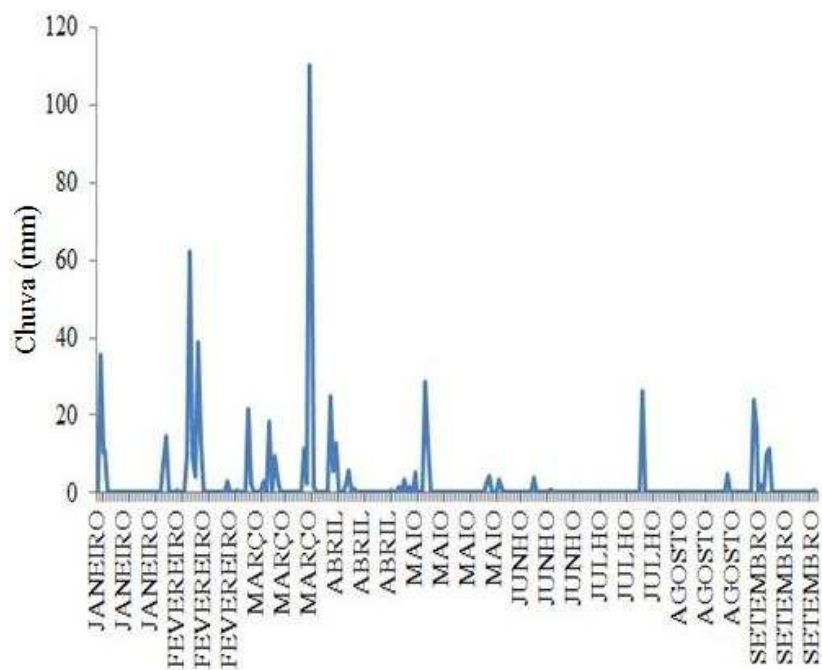


Figura 1: Balanço Hídrico no período de janeiro a setembro de 2015

3.2 Histórico da Área e Amostragem

A macaúba foi plantada em março de 2008. Os cafeeiros da variedade ‘Oeiras’ foram plantados em novembro 2007 e recepados a 20 cm do solo em setembro de 2014, sendo conduzidos com dois ramos ortotrópicos. O espaçamento de plantio é 2,80 x 0,75 m. As primeiras e segundas linhas de cafeeiros estão a 1,40 m (Café 1) e 4,20 m (Café 2) de distância da linha de plantio das macaubeiras, respectivamente (Figura 1).

A adubação mineral dos cafeeiros, em todos os anos foi realizada segundo a recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª Aproximação. Porém, no período em que foi conduzido o experimento não foi realizada adubação, por se tratar do primeiro ano após a recepa. Os tratos culturais realizados na área foram somente roçadas nas entre linhas e capina na linha dos cafeeiros e também a desbrota dos cafeeiros com finalidade de manter dois ramos ortotrópicos.

Foram marcadas quatro parcelas em cada ambiente avaliado. Em cada parcela foram avaliados 3 cafeeiros por parcela. Os dados foram obtidos com detalhamento descrito a seguir.

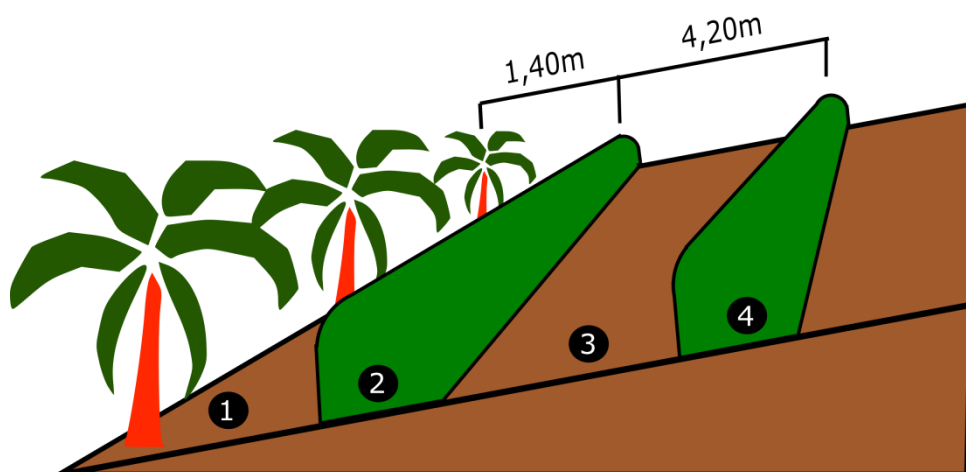


Figura 2: Croqui do sistema agroflorestal com demarcação dos ambientes analisados.

3.3 Amostragem do Solo

Para a análise química do solo foi realizada coleta no mês de fevereiro de 2015, que compreende o fim do período quente-chuvoso.

De cada parcela foi preparada uma amostra composta a partir de três sub-amostras coletadas entre os cafeeiros. Em cada ponto de coleta foram retirados cerca de 500 g de solo da camada de 0-20 cm de profundidade. Foram determinados o pH, P-remanescente, teor de macro e micronutrientes, matéria orgânica (MO) e nitrogênio total (Tabela 1).

3.4 Temperatura e Umidade do Solo

Para a mensuração da temperatura e umidade do solo foram utilizados os sensores (Decagon Em50) instalados na profundidade de 20 cm do solo, em cada linha de cultivo de cafeeiros. Os sensores foram acoplados a um datalogger (Decagon ECH₂O Logger), e as leituras eram realizadas a cada 60 minutos. Os sensores foram previamente calibrados em laboratório utilizando-se amostras de solo da área em estudo pelo método termogravimétrico, segundo a metodologia utilizada por Moreira, (2015).

A umidade foi determinada de janeiro a setembro de 2015. Da umidade do solo foi feita a média aritmética mensal (Figura 2).

A temperatura do solo foi determinada nos meses de janeiro, maio e setembro de 2015. As escolhas dos meses analisados se deram pela necessidade de saber quais eram as condições ambientais quanto a temperatura do solo durante um mês antes da coleta de solo (janeiro de 2015) e também na época de fim e início da avaliação do crescimento vegetativo do cafeeiro (maio e setembro de 2015).

As leituras de temperatura (°C) foram realizadas a cada 60 minutos e para análise foram determinadas em porcentagem, o período em que a temperatura do solo estava entre de 15-20 °C, de 21-25 °C, de 26-30 °C e de 31-35 °C.

3.5 Radiação Fotossinteticamente Ativa (RFA)

A radiação fotossinteticamente ativa (RFA) incidente no dossel do cafeeiro foi medida no mês de novembro de 2015.

Para isto, foi utilizado o sensor Ceptômetro de barra SunScan da marca Delta-TDevices, tipo SS1. Realizou-se a leitura a 1,5 m acima do solo e em duplicata. Os dados foram coletados em cinco repetições em cada parcela, em ambos os lados da planta, acima da copa dos cafeeiros, resultando no valor médio, como também a pleno sol. Os dados foram expressos em $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e % da RFA total incidente a pleno sol.

3.6 Crescimento Vegetativo do Cafeeiro

Os dados para avaliação do crescimento vegetativo dos cafeeiro foram coletados nas três plantas de cada parcela. A altura da planta foi determinada com auxílio de fita graduada em cm medindo desde a superfície do solo até o ápice da planta, como também o diâmetro da copa, medido em sentido transversal à linha de plantio. Determinou-se o número de nós dos dois ramos ortotrópicos e de quatro ramos plagiotrópicos, voltados para a entrelinha de plantio, inseridos no quarto nó dos ramos ortotrópicos a partir do ápice da planta. Os ramos foram devidamente marcados para as medidas posteriores realizadas mensalmente de maio a setembro de 2015, totalizando 5 medições.

A definição da representação gráfica se deu no mês 0 (quando fez a recepa) para melhor compreensão da figura, porém as avaliações começaram em maio que corresponde ao oitavo mês após a recepa (Figuras 3 e 4).

3.7 Análise Estatística

O crescimento dos cafeeiros de cada linha foi avaliado por análise de regressão. Em seguida, foi utilizado o teste de identidade de modelos para verificar se as equações de regressão para cada linha de cultivo de cafeeiro eram idênticas. O teste de identidade de modelo baseia-se na diferença entre a soma dos quadrados de parâmetros do modelo completo e a soma de quadrados de parâmetros do modelo reduzido, conforme apresentado por Regazzi & Leite (1992).

4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análise Química do Solo

Os solos em ambas as linhas de cultivo dos cafeeiros apresentam características químicas similares, embora com valores pouco inferiores na linha de cultivo mais distante das macaubeiras. As exceções foram os teores de K, H + Al, N total, Al, P-rem, Cu e o m (índice de saturação de alumínio), os quais estavam em concentrações mais elevadas na linha mais distante das macaubeiras (café 2) (Tabela 1).

No estudo de Salgado *et al.* (2006) foi constatado que maiores espaçamentos entre as árvores poderiam minimizar as diferenças de fertilidade observadas entre os sistemas arborizados e os cultivos a pleno sol do cafeeiro, diminuindo assim uma possível competição por nutrientes e água.

No trabalho de Ricci *et al.*, (2006) depois de três anos, o cultivo do café com bananeiras e eritrinas reduziu significativamente o teor de K do solo, comparado ao sistema a pleno sol, possivelmente pela extração por nutriente por indivíduos de ambas as espécies, embora não houvesse diferença entre os sistemas quanto ao pH, e teores de P, Ca, Mg e carbono orgânico. Este resultado é similar ao que ocorreu com o presente estudo na qual o teor de K do solo foi mais baixo na linha de plantio dos cafeeiros mais próximos à macaúba, enquanto os teores dos demais nutrientes fossem similares.

Tabela 1: Características químicas do solo na profundidade de 0-20 cm nas linhas de cultivo do cafeeiro em linha a 1,40 m (café 1) e 4,20 m de distância das macaubeiras.

Características	Café 1	Café 2
N-Total (dag/kg ⁻¹)	0,61	0,66
pH (H ₂ O)	4,99	4,74
P (mg/dm ³)	14,32	13,90
K (mg/dm ³)	91,25	126,75
Ca (cmolc/dm ³)	2,43	1,89
Mg (cmolc/dm ³)	0,71	0,62
Al (cmolc/dm ³)	0,03	0,10
H + Al (cmolc/mg ³)	3,18	3,55
SB (cmolc/dm ³)	3,38	2,85
CTC (t) (cmolc/dm ³)	3,40	2,95
CTC (T) (cmolc/dm ³)	6,51	6,40
V %	51,10	44,80
m %	0,50	3,61
P-Rem (mg/L)	34,45	35,21

Cu (mg/dm ³)	1,60	1,80
Mn (mg/dm ³)	56,10	40,31
Fe (mg/dm ³)	104,31	101,30
Zn (mg/dm ³)	2,60	2,11

Extratores utilizados:

SB= soma de bases trocáveis

P, K: Mehlich1

CTC (t) = Capacidade de Troca Catiônica Efetiva

CTC (T) = Capacidade de Troca Catiônica pH 7,0

Al³⁺, Ca²⁺ e Mg²⁺: KCl 1 mol L⁻¹

H+Al: Acetato de Ca 0,5 mol L⁻¹

V % = índice de saturação de bases

pH 7,0 pH em água, relação 1:2,5

m % = índice de saturação de alumínio

4.2 Temperatura e Umidade do Solo

O solo apresentou maior número de horas mensais de temperaturas mais elevadas na segunda linha de cultivo dos cafeeiros (café 2) (Tabela 3). Tal efeito pode ter sido causado pela macaúba reduzir a incidência de radiação como apresentado a seguir na linha mais próxima. Esse resultado é comum e esperado, sendo confirmado em alguns trabalhos em que a temperatura do solo foi menor no cultivo de café sombreado em relação ao cafeeiro a pleno sol, onde a palmeiras no sistema podem contribuir para a menor amplitude térmica do agroecossistema (Morais *et al.* 2006; Camargo, 2010; Bote *et al.* 2011).

Tabela 2: Temperatura do solo a 0-20 cm de profundidade na fileira de café mais próxima às macaubeiras (café 1) e na fileira mais distante (café 2).

Mês	Faixa de Temperatura (° C)	Café 1	Café 2
		% de Horas	% de Horas
Janeiro	15-20	0	0
	21-25	47	4
	26-30	53	79
	31-35	0	17
Maio	15-20	76	52
	21-25	24	48
	26-30	0	0
	31-35	0	0

Setembro	15-20	45	22
	21-25	55	78
	26-30	0	0
	31-35	0	0

A média da umidade do solo nas duas linhas de cultivo do café se manteve muito similar nos meses analisados (Figura 3).

Nos meses de julho e agosto houve um queda na umidade no café 1, um motivo que pôde ter contribuído para esse evento é a competição hídrica das espécies consorciadas, uma vez que a macaúba por ser uma palmeira e de maior porte que o cafeeiro necessitará de maior disponibilidade hídrica, onde durante o período frio-seco, a competição por água entre as espécies arbóreas e os cafeeiros pode aumentar nas camadas superficiais do solo (Moreira, 2015). Outro motivo é a absorção pela macaubeira e pouca produção de serapilheira pela macaubeira não contribuindo tanto para a manutenção da umidade do solo, uma vez que, quando é feita a poda das folhas da palmeira as mesmas são retiradas do local.

No trabalho de Moreira, (2015) nessa mesma área experimental foi observado que na camada 0-20 cm de profundidade, a umidade do solo foi maior no café 2, localizado à 4,2 m de distância das macaúbas, na maior parte do período de avaliação que foi de abril a agosto de 2014.

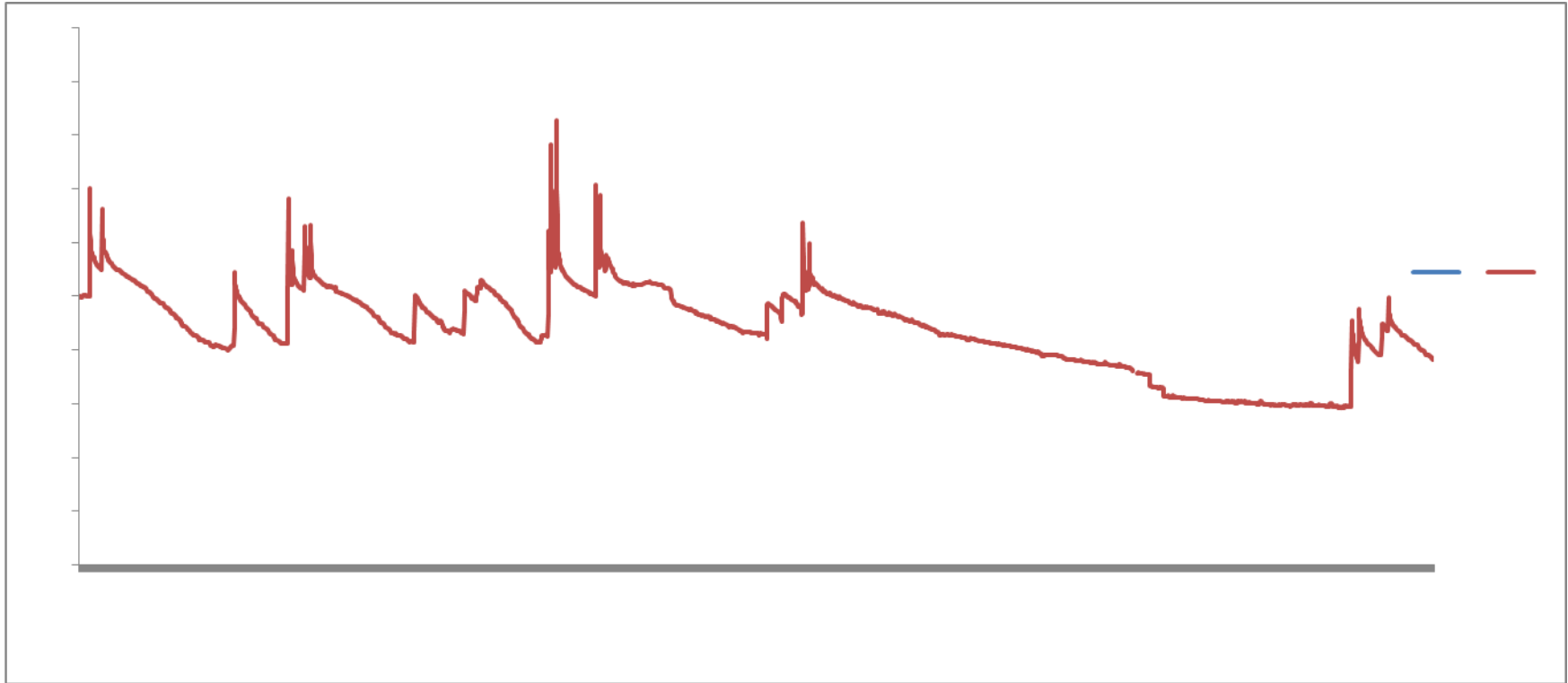


Figura 3: Umidade do solo na profundidade de 0-20 cm na fileira de café mais próxima àsmacaubeiras(café 1 - 1,40 m) e na fileira mais distante (café 2 - 4,20 m).

4.3 Radiação Fotossinteticamente Ativa

A radiação fotossinteticamente ativa foi superior na fileira do café 2 em relação ao Café 1 e inferior ao pleno sol (Tabela 3).

A radiação solar é condição importante na floração e produção do cafeeiro (Queiroz-Voltan *et al.*, 2011). A utilização da palmeira macaúba pode ser uma estratégia para amenizar a entrada de luz sob os cafeeiros. Por ser se tratar de uma palmácea a entrada da luz será moderada, lembrando que sombra em excesso levar ao déficit na produção dos cafeeiros, como constatado por Moreira (2015) em que a produção dos cafeeiros na fileira mais distante foi superior à fileira mais próxima.

Tabela 3: Radiação fotossinteticamente ativa (RFA)média \pm desvio padrão), avaliada a 1,50 m de altura, em ambientes de SAF composto por macaubeiras e cafeeiros, na Zona da Mata-MG nos diferentes ambientes.

Posição	RFA ($\mu\text{mol.m}^{-2}\text{s}^{-1}$) \pm dp	RFA (% RFA Total)
Macaúba	484,6 \pm 4,5	23,53
Café a 1,40 m	240,7 \pm 29,4	11,86
Entre Linha	633,5 \pm 6,7	30,76
Café a 4,20 m	1386,4 \pm 24,1	67,32
Pleno Sol	2059,4 \pm 34,5	100,00

NosSAFs as árvores não só podem alterar a intensidade da luz incidente na cultura através do sombreamento, como também criam um microclima alterando o balanço hídrico do solo e, portanto, a disponibilidade de água e nutrientes (Rena *et al.*, 2001), tornando possível variações no crescimento vegetativo do cafeeiro como ocorrido no presente trabalho.

4.4 Crescimento Vegetativo do Cafeeiro

A partir das regressões, foram observadas diferenças no crescimento vegetativo dos cafeeiros à medida que aumenta o distanciamento da macaúba (Figuras 3 e 4).

Os cafeeiros mais distantes das macaubeiras (café 2) apresentaram maior crescimento em termos de altura da planta e número de nós dos ramos ortotrópicos (Figura 3), já o diâmetro da copa e número de nós dos ramos plagiotrópicos não

foram influenciados pela distância da macaúba em nenhuma das duas distâncias nas duas épocas analisadas (Figura 4). Ricci (2006), relata que o diâmetro da copa não variou em café sombreado, pois mesmo que a planta apresente o porte menor, a área foliar e o alongamento dos entrenós é maior contribuinte para o aumento do diâmetro da copa.

Segundo Pereira *et al.*, (2011) os espaçamentos entre as linhas de plantio de cafeeiros a pleno sol influenciam no seu crescimento quanto a altura e diâmetro da copa. O mesmo pode aplicar quando se tem uma lavoura cafeeira sombreada, causando os efeitos próximos ao adensamento das plantas em um cultivo “solteiro”. Isso pode influenciar também na altura dos ramos, estes ficando maiores e o diâmetro da copa e número de nós dos ramos plagiotrópicos menores.

Segundo Ricci *et al.*, (2006) a arborização reduz a taxa de crescimento de diferentes cultivares quanto o número de ramos produtivos e de nós por ramos apenas nos primeiros 15 meses de crescimento dos três anos avaliados. Semelhante situação ocorre neste trabalho, onde do oitavo ao décimo segundo mês após recepa o café 1 apresentou menor taxa de crescimento se comparado com o café 2.

Jaramillo-Botero *et al.*, (2007) avaliaram o crescimento vegetativo do cafeeiro durante seis anos e em dois períodos - o primeiro nos três primeiros anos de cultivo (2001-2003) e, o segundo (2004-2006), as plantas de café sob sombreamento artificial apresentaram os seus efeitos sobre características vegetativas e a produção média diminuiu com a redução da distância entre os cafeeiros e as árvores.

Campanha *et al.*, (2004) relataram maiores comprimento de ramo e menor número de nós nas plantas sombreadas. Por isso é necessário que o crescimento das plantas seja medido tomando em conta tanto o comprimento quanto o número de nós por ramo. Segundo Rena e Maestri (1986) o crescimento relevante é aquele que está relacionado com a formação de nós e não com o comprimento de entrenó.

Moreira, (2015), com dados da mesma área experimental deste trabalho, constatou que o foi maior o número de nós dos ramos ortotrópicos e plagiotrópicos de março a agosto nas fileiras de café a 4,20 m de distância de macaúbas e como consequência os cafeeiros cultivados à maior distância das macaúbas apresentaram as produtividades mais elevadas.

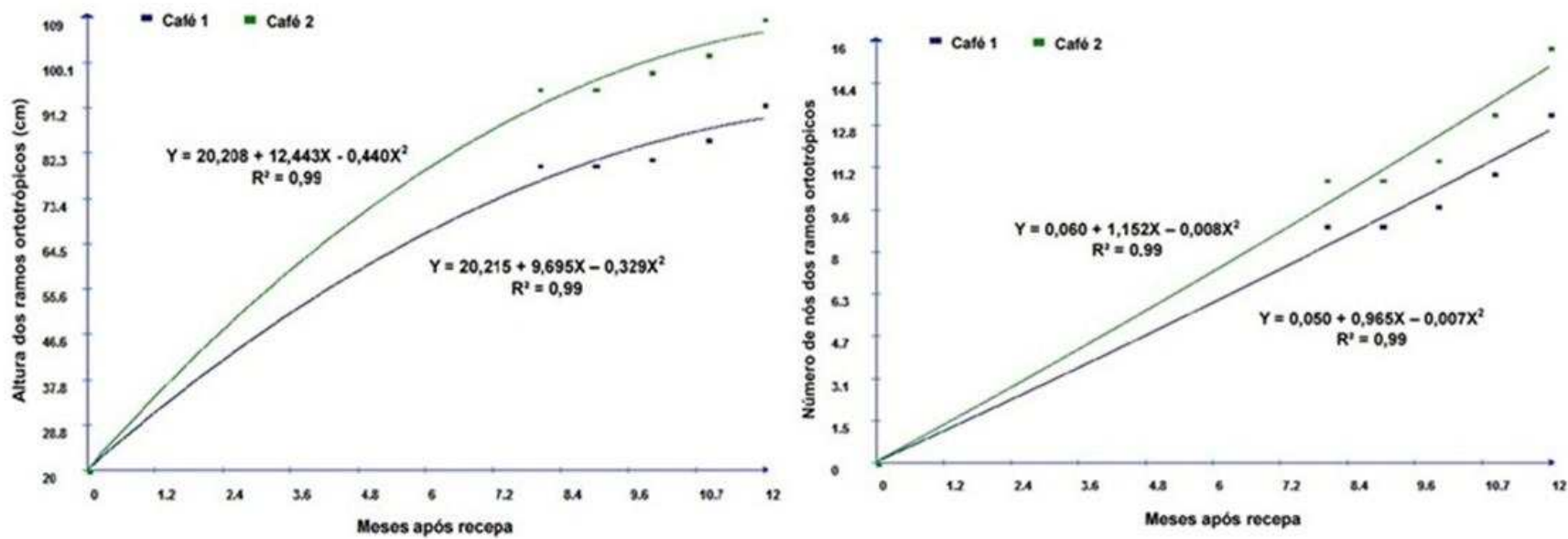


Figura 4: Altura e número de nós dos ramos ortotrópicos de cafeeiros cultivados a 1,40 m (café 1) e 4,20 m (café 2) da linha de cultivo de macabeiras, de maio a setembro de 2015.

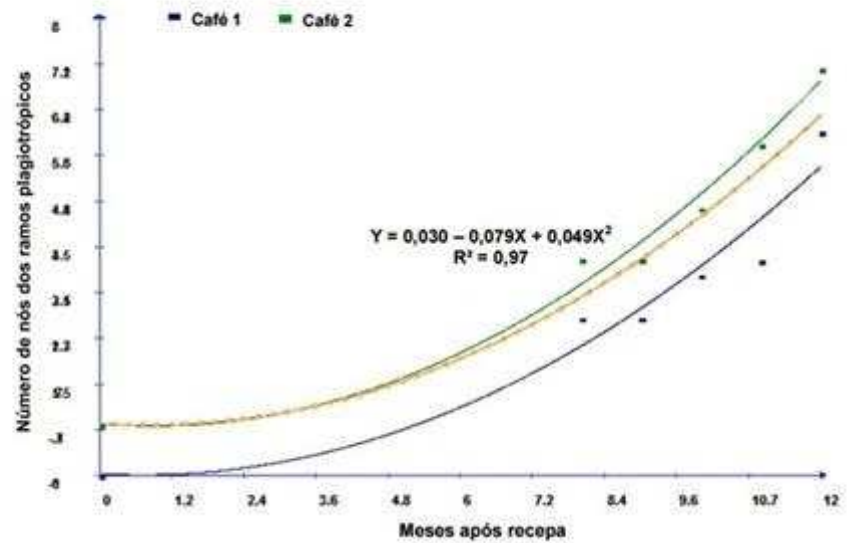
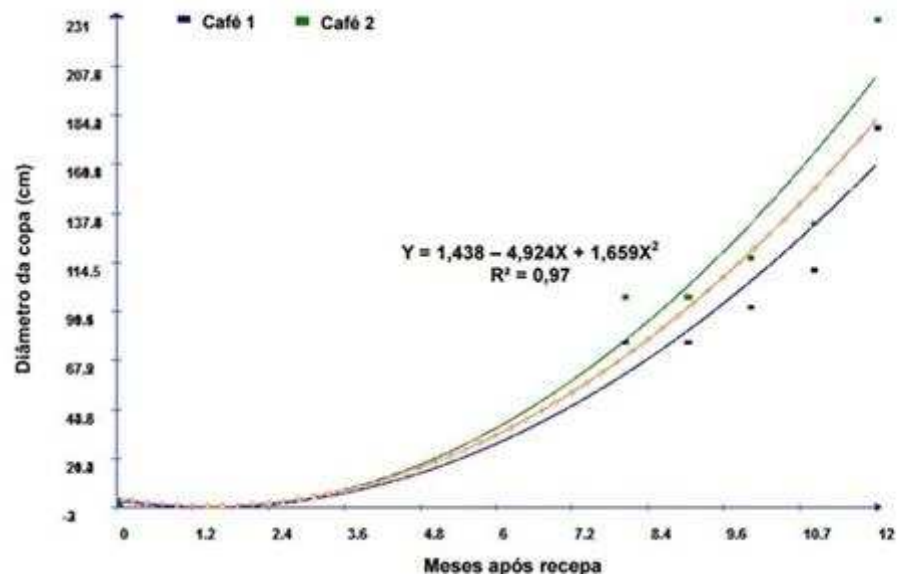


Figura 5: Diâmetro da copa e número de nós dos ramos plagiotrópicos de cafeeiros cultivados a 1,40 m (café 1) e 4,20 m (café 2) da linha de cultivo de macaubeiras, de maio a setembro de 2015.

5 – CONCLUSÃO

Contudo foi observado heterogeneidade nos ambientes analisados, quanto a radiação, a temperatura e umidade do solo que foram diferentes à medida que aumenta o distanciando das macaubeiras dos cafeeiros. Tais fatores interferem no crescimento vegetativo dos cafeeiros, de forma que a fileira mais distante da macaúba apresentou maior número de nós dos ramos ortotrópicos e altura se comparada com a fileira de café mais próxima da macaúba.

6 – REFERÊNCIAS

Alves EP (2013). Análise agrônômica e financeira de um sistema agroflorestal com cafeeiros e bananeiras em Araponga, MG. 2013. 44 p. Dissertação (Mestrado em Agroecologia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG.

Barbera-Castillo NM (2001). Diversidad de especies de hormigas en sistemas agroforestales contrastantes de café, em Turrialba, Costa Rica. 99p. Dissertação.

Bote AD & Struik PC (2011). Effects of shade on growth, production and quality of coffee (*Coffea arabica*) in Ethiopia. *Journal of Horticulture and Forestry*, 3:336-341.

Camargo MBP (2010). The impact of climatic variability and climate change on arabic coffee crop in Brazil. *Bragantia*, 69: 239-247.

Campanha MM, Santos RHS, Freitas GB de, Martinez HEP, Jaramillo-Botero C & Garcia SL (2007). Análise comparativa das características da serrapilheira e do solo em cafezais (*coffea arabica l.*) cultivados em sistema agroflorestal e em monocultura, na Zona da Mata MG. *Revista Árvore*, Viçosa-MG, 31: 805-812.

Caramori PH, Kathounian CA, Morais H, Leal AC, Gorreta R & Androcioli Filho, A (2004). Arborização de cafezais e aspectos climatológicos. In: Matsumoto SN (Org.). *Arborização de cafezais no Brasil*. Vitória da Conquista: Uesb, 20-41.

César FRCF, Matsumoto, SN, Viana AES, Santos MAF & Bonfim JA (2011). Morfofisiologia foliar de cafeeiro sob diferentes níveis de restrição luminosa. *Coffee Science*, 5:262-271.

DaMatta FM (2004). Ecophysiological constraints on the production of shaded and unshaded coffee: a review. *Field Crops Research*, 86:99-114.

DaMatta FM (2004). Fisiologia do cafeeiro em sistemas arborizados. In: Matsumoto SN (Org.). *Arborização de cafezais no Brasil*. Vitória da Conquista: Uesb, 86-118.

Jaramillo-Botero C, Martinez HEP & Santos RHS (2007). Características do café (*Coffea arábica* L.) sombreado no norte da América Latina e no Brasil: análise comparativa. *Coffee Science*, 1:94-102.

Jaramillo-Botero C, Santos RHS, Martinez HEP, Cecon PR, & Fardin MP (2010). Production and vegetative growth of coffee trees under fertilization and shade levels. *Scientia Agricola*, 67: 639-645.

Martinez HEP, Santos RHS, Neves YP & Jaramillo-Botero C (2004). Arborização de cafezais nas regiões Sudeste e Sul. In: Matsumoto, SN (Org.). *Arborização de cafezais no Brasil*. Vitória da Conquista: Uesb, 122-164.

Matiello JB (2012). Bananeiras no Cafezal, o bem e o mal. Procafé online. Clube de tecnologia cafeeira.

Mollet M, Herzog F, Behi Y, Farah Z (2000). Sustainable exploitation of *Borassus aethiopicum*, *Elaeis guineensis* and *Raphia hookeri* for the extraction of palm wine in Côte D'Ivoire. *Environment, Development and Sustainability*, Netherlands. p.43-57.

Melo JT; Guimarães DP (2011). A cultura do café em sistemas consorciados na região do cerrado. In: Simpósio de pesquisa dos cafés do Brasil, Poços de Caldas. Resumos expandidos, Brasília-DF: Embrapa Café/MINASPLAN. 963-966.

Montagnini F, Jordan CF & Machado RM (2000). Nutrient cycling and nutrient use efficiency in agroforestry systems. In: Ashton, MS & Montagnini F. (eds.) *The silvicultural basis for agroforestry systems*. New York. 131-159.

Morais H, Caramori PH, Ribeiro AMA, Gomes JC & Kogushi, MS (2006). Microclimatic characterization and productivity of coffee plants grown under shade of pigeon pea in Southern Brazil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 41:763-770.

Morais H, Marur, CJ, Ribeiro AMA & Gomes JC (2003). Características fisiológicas e de crescimento de cafeeiro sombreado com guandu e a pleno sol. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, 38:1131-1137.

Morcote-Rios G & Bernal R (2001) Remains of palms (Palmae) at archaeological sites in the New World: a review. *The Botanical Review*, New York, 67:309-350.

Moreira SLS (2015). Produtividade, qualidade do solo e aspectos microclimáticos em sistema agroflorestal de cafeeiro e macaúba. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Viçosa, 55p.

Motoike SY, Carvalho M, Pimentel LD, Kuki KN, Dias HCT & Sato AY (2013). A cultura da macaúba-Implantação e manejo de cultivos racionais. Editora UFV, 61 p.

Muschler RG (2010). Árboles en cafetales. Turrialba, Costa Rica: Catie/ GTZ, X..(Módulo de enseñanza agroforestal, 5), 139p. (Mestrado) – Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Turrialba, Costa Rica).

Paiva FCR, Oliveira CAS, Camarano LF (2003). Crescimento e produtividade de plantas recepadas de café cultivadas em três espaçamentos de plantio. In: Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil (Porto Seguro, BA). Resumos, Brasília-DF, Embrapa Café.

Perdoná MJ, Martins, Suguino AM & Sorattor P (2013). Nutrição e produtividade da noqueira macadâmia em função de doses de nitrogênio. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 48: 395-402.

Pereira SP, Bartholo GF, Baliza DP, Sobreira FM & Guimarães RJ (2011). Crescimento, produtividade e bienalidade do cafeeiro em função do espaçamento de cultivo. Pesquisa agropecuária brasileira, Brasília-DF, 46:152-160.

Queiroz-Voltan RB, Fahl JI & Carelli MLC (2011). Diferenciação floral em cafeeiro arábica (*Coffea arabica* L.) sob diferentes níveis de radiação. Coffee Science, 6: 256-268.

Rena AB & Maestri M (1986). Fisiologia do cafeeiro. In: Cultura do cafeeiro; fatores que afetam a produtividade. (Ed.) Rena AB, Malavolta E, Rocha, M & Yamada, T. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 16-66.

Rena AB, Barros RS & Maestri M (2001). Desenvolvimento Reprodutivo do Cafeeiro. In: Zambolim L (Ed.) Tecnologias de Produção de Café com Qualidade. Viçosa-MG. p. 101-128.

Regazzi AJ & Leite HG (1992). Análise de regressão: teoria às aplicações em manejo florestal. Universidade Federal de Viçosa, 236p.

Ricci MSF, Costa JR, Pinto AN & Santos VLS (2006). Cultivo orgânico de cultivares de café a pleno sol e sombreado. Pesquisa agropecuária brasileira, Brasília-DF, 41: 569-575.

Salgado BG, Macedo RLG, Venturin N & Carvalho V L (2006). Avaliação da fertilidade dos solos de sistemas agroflorestais com cafeeiro (*Coffea arabica* L.) em Lavras-MG. Revista Árvore, Viçosa-MG, 30: 343-349.

Vezzani F (2001). Qualidade do sistema solo na produção agrícola (2001). Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 184 p.

Vieira SS, Zuy MM, Nadiene AV, Santos MGC & Saczk AA (2012). Macauba palm (*acromiiaaculeata*) cake from biodiesel processing: an efficient and low cost substrate for the adsorption of dyes. Chemicaengineeringjournal. 183: 152–161.

CAPÍTULO II

Diversidade funcional e atividade da microbiota do solo em sistema agroflorestal composto por cafeeiros e macaubeiras.

RESUMO

Sistemas agrícolas que promovam a manutenção ou o aumento das populações microbianas benéficas do solo trazem muitas vantagens tanto para o ambiente quanto para a produção agrícola. Logo é importante buscar práticas agrícolas que visem à conservação dos microrganismos no solo. Diversas práticas e processos contribuem para o aumento e preservação da diversidade microbiana benéfica do solo, tais como a rotação de cultura, plantio direto, o consórcio, adubação verde, adubação orgânica, uso de cobertura morta e os sistemas agroflorestais (SAF). A avaliação das características microbiológicas do solo nos SAF é importante para a compreensão mais aprofundada de sua interferência positiva no solo, refletindo aspectos bioquímicos relacionados com a ciclagem e disponibilização de e com a dinâmica da matéria orgânica. Avaliar a heterogeneidade dos ambientes quanto as características microbiológicas do solo em SAF de cafeeiros consorciados com macaubeiras. Para isso foi avaliada a atividade microbiana no solo de cafeeiros em sistema agroflorestal, considerando as análises de biomassa microbiana, respiração do solo e o quociente metabólico, a multiplicação de propágulos de FMA e a diversidade metabólica das populações microbianas do solo cultivado com cafeeiros consorciado com macaubeiras. Foi constatado com este trabalho que houve uma grande heterogeneidade entre os ambientes e épocas analisadas no sistema agroflorestal, principalmente quanto á biomassa microbiana, FMA, diversidade metabólica. O SAF composto por macaubeiras e cafeeiros proporciona ambientes muito diversos para o desenvolvimento de comunidades microbianas no solo.

Palavras-chave: Diversidade metabólica, Microbiologia do solo, SAFs.

Functional diversity and activity of soil microbes in agroforestry system using coffee trees and macaubeiras.

ABSTRACT

Agricultural systems that promote the maintenance or increase in beneficial microbial populations of the soil bring many benefits to both the environment and to agricultural production. It is important to seek agricultural practices aimed at conservation of soil microorganisms. Several practices and processes contribute to the increase and preservation of beneficial microbial diversity of soil, such as crop rotation, tillage, the consortium, green manure, organic manure, mulch use and agroforestry systems (SAF). The evaluation of microbiological characteristics of the soil in the SAF is important for the further understanding of its positive interference in the soil, reflecting biochemical aspects of cycling and availability of and the dynamics of organic matter. To assess the heterogeneity of environments and microbiological characteristics of the soil in SAF of coffee trees mixed with macaubeiras. For this we evaluated the microbial activity in the coffee ground in agroforestry system, considering the analysis of microbial biomass, soil respiration and metabolic quotient, multiplication of propagules of AMF and metabolic diversity of microbial populations in the soil cultivated with coffee intercropped with macaubeiras. It has been found with this work that there was a great heterogeneity between environments and periods analyzed in the agroforestry system, especially as to the microbial biomass, FMA, metabolic diversity. The SAF composed of macaubeiras and coffee provides very different environments for the development of microbial community in soil.

Key words: Metabolic diversity, Microbiology of the soil, SAF's

1 - INTRODUÇÃO

Sistemas agrícolas que promovam a manutenção ou o aumento das populações microbianas benéficas do solo trazem vantagens tanto para o ambiente quanto para a produção agrícola. Logo é importante buscar práticas agrícolas que visem à conservação dos microrganismos no solo. Diversas práticas e processos contribuem para o aumento e preservação da diversidade microbiana benéfica do solo, tais como a rotação de cultura, plantio direto, o consórcio, adubação verde, adubação orgânica, uso de cobertura morta e os sistemas agroflorestais (SAF).

A avaliação da qualidade microbiológica do solo por indicadores químicos e biológicos em sistemas agrícolas é necessária para monitoramento de mudanças e distúrbios causados pelas práticas agrícolas (Silva *et al.*, 2012). Embora as análises químicas do solo sejam de extrema importância para avaliação da fertilidade do solo, os indicadores microbiológicos respondem rapidamente às modificações ambientais e, desta forma, apresentam característica preditiva. Como exemplo desses indicadores temos a biomassa microbiana (Chaer&Tótola, 2007), o fluxo de C-CO₂(Anderson&Domsch, 1993), diversidade metabólica (Papatheodorou *et al.*,2008) e colonização micorrízica(Smith&Read, 2008).

No caso dos SAFs é muito importante a avaliação destes de tais atributos microbiológicos, pois o aporte de serrapilheira no solo oriundo do componente arbóreo pode contribuir para a manutenção da atividade microbiana no solo. Também, o controle da temperatura e manutenção da umidade do solo nos SAF proporcionam um microclima mais propenso ao desenvolvimento de comunidades microbianas benéficas do solo. Neste contexto a avaliação da biomassa microbiana fornece informações importantes sobre a dinâmica do reservatório mais ativo da matéria orgânica do solo (Freitas, 2009).

Dentre as comunidades microbianas cuja dinâmica pode ser modificada no contexto dos SAFs, destacam-se os Fungos Micorrízicos Arbusculares (FMA), que são simbioses de plantas amplamente distribuídas nos ecossistemas em uma grande diversidade de clima e tipos de solo (Smith &Read, 2008). O cafeeiro especificamente é uma espécie que apresenta elevada dependência micorrízica, principalmente, em solos muito intemperizados e com baixa fertilidade como brasileiros (Siqueira *et al.*, 1998). As micorrizas podem ser encontradas em cafeeiros desde a fase de muda até adulta no campo (Arias *et al.*, 2012). No entanto, pouco se

sabe sobre o efeito de sistemas de maior complexidade como os SAFs neste tipo de associação.

A atividade microbiana pode ainda ser avaliada com base na diversidade metabólica. Dentre as metodologias existentes para estudos do potencial metabólico, uma das mais empregadas envolve o inóculo de suspensões de solo em placas Ecoplate, da empresa Biolog (BIOLOG Inc., HAYWARD, CA.), contendo 31 diferentes fontes de carbono.

A utilização da fonte de carbono é facilmente detectada através da presença de um indicador, ocorrendo uma mudança de coloração quando um substrato é metabolizado pela comunidade microbiana presente no solo. A análise do padrão de consumo de substratos pela comunidade microbiana tem fornecido informações úteis na avaliação da diversidade funcional de microrganismos em amostras ambientais de (de Paula, 2008).

A avaliação das características microbiológicas do solo nos SAF é importante para a compreensão mais aprofundada de sua interferência positiva no solo, refletindo aspectos bioquímicos relacionados com a ciclagem e disponibilização da matéria orgânica (Young, 1994; Oliveira, 2011).

2– OBJETIVO

2.1 – Objetivo Geral

Avaliar a heterogeneidade dos ambientes quanto as características microbiológicas do solo em SAF de cafeeiros consociados com macaubeiras.

2.2- Objetivos Específicos

Caracterizar a atividade microbiana no solo em sistema agroflorestal de cafeeiros com macaubeiras, considerando as análises de biomassa microbiana, respiração do solo e o quociente metabólico.

Avaliar a multiplicação de propágulos de FMA.

Avaliar a diversidade metabólica das populações microbianas do solo.

3 – MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da Área de Estudo

A coleta de dados foi realizada em SAF composto por cafeeiros e macaubeiras. A área está localizada na Horta de Pesquisa do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa, (20°45'14''S e 42°52'53'' W) a 675

m de altitude, com 17% de declividade e face de exposição solar sentido noroeste. O solo é classificado como transição de Argissolo Vermelho Amarelo distrófico para Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, com textura argilosa, cujas características químicas estão apresentadas na Tabela 1.

3.2 Histórico da Área e Pontos de Coleta

A macaúba foi plantada em março de 2008. Os cafeeiros da variedade ‘Oeiras’ foram plantados em novembro 2007 e recepados a 20 cm do solo em setembro de 2014, sendo conduzidos com dois ramos ortotrópicos. O espaçamento de plantio dos cafeeiros é 2,80 x 0,75 m. As primeiras e segundas linhas de cafeeiros estão a 1,40 m (Café 1) e 4,20 m (Café 2) de distância da linha de plantio das macaubeiras, respectivamente (Figura 1).

A adubação mineral dos cafeeiros, em todos os anos foi realizada segundo a recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª Aproximação. Porém, no período em que foi conduzido o experimento não foi realizada adubação, por se tratar do primeiro ano após a recepa. Os tratos culturais realizados na área foram somente roçadas nas entrelinhas e capina na linha dos cafeeiros e também a desbrota dos cafeeiros com finalidade de manter dois ramos ortotrópicos.

Foram marcadas quatro parcelas em cada ambiente avaliada na área experimental. Cada parcela compreendeu 4,20 x 4,50 m, abrangendo a linha de cultivo das macaubeiras e as duas linhas de cultivo dos cafeeiros. Os ambientes foram linha de plantio das macaubeiras, primeira linha de cultivo de cafeeiros, entrelinhas de cafeeiros e segunda linha de cultivo de cafeeiros. Os dados foram obtidos com detalhamento descrito a seguir.

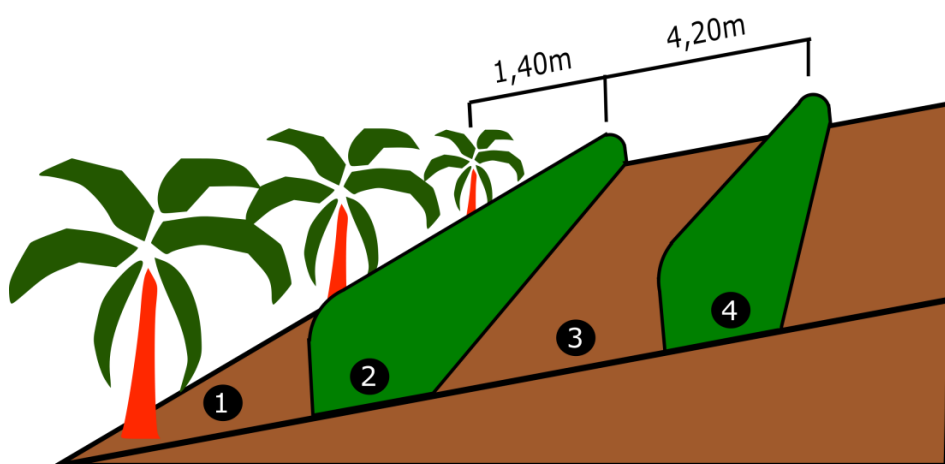


Figura 1: Croqui do sistema agroflorestal com demarcação dos ambientes analisados.

3.3 Amostragem do Solo

3.3.1. Amostragem para análise química

Para a análise química do solo foram realizadas coletas para caracterização do solo. Foram marcadas quatro parcelas e quatro ambientes em cada parcela. Os ambientes foram linha de plantio das macaubeiras, primeira linha de cultivo de cafeeiros, entrelinhas de cafeeiros e segunda linha de cultivo de cafeeiros. Em cada ponto foram coletadas três sub amostras de solo na profundidade de 0-20 cm formando uma amostra composta. Os resultados constam da tabela 1.

Tabela 1: Características químicas do solo na profundidade de 0-20 cm nas linhas de cultivo do cafeeiro em linha a 1,40 m (café 1) e 4,20 m de distância das macaubeiras.

Características	Café 1	Café 2
N-Total (dag/kg ⁻¹)	0,61	0,66
pH (H ₂ O)	4,99	4,74
P (mg/dm ³)	14,32	13,90
K (mg/dm ³)	91,25	126,75
Ca (cmolc/dm ³)	2,43	1,89
Mg (cmolc/dm ³)	0,71	0,62
Al (cmolc/dm ³)	0,03	0,10
H + Al (cmolc/mg ³)	3,18	3,55
SB (cmolc/dm ³)	3,38	2,85
CTC (t) (cmolc/dm ³)	3,40	2,95
CTC (T) (cmolc/dm ³)	6,51	6,40
V %	51,10	44,80
m %	0,50	3,61
P-Rem (mg/L)	34,45	35,21
Cu (mg/dm ³)	1,60	1,80
Mn (mg/dm ³)	56,10	40,31
Fe (mg/dm ³)	104,31	101,30
Zn (mg/dm ³)	2,60	2,11

Extratores utilizados:

SB= soma de bases trocáveis

P, K: Mehlich1

CTC (t) = Capacidade de Troca Catiônica Efetiva

CTC (T) = Capacidade de Troca Catiônica pH 7,0

Al³⁺, Ca²⁺ e Mg²⁺: KCl 1 mol L⁻¹

H+Al: Acetato de Ca 0,5 mol L⁻¹

V % = índice de saturação de bases

pH 7,0 pH em água, relação 1:2,5

m % = índice de saturação de alumínio

3.3.2. Amostragem de solo para análises microbiológicas

Foram realizadas coletas de solo em duas épocas do ano: ao final do mês de fevereiro de 2015, que compreende o fim do período quente-chuvoso (Época 1), e no início do mês de junho de 2015 (Época 2), no período de frio-seco.

Em cada ambiente na parcela, em cada época, foram coletadas três subamostras formando uma amostra composta.

Foram retirados cerca de 500g de solo da camada de 0-20 cm de profundidade, com trado do tipo holandês. As amostras foram identificadas e transportadas até o laboratório em caixa de poliestireno com gelo e armazenadas em câmara fria (4 °C) até serem analisadas.

3.4 Análises Microbiológicas

As análises dos indicadores microbiológicos foram conduzidas no Laboratório de Análises Microbiológicas do Solo do Departamento de Microbiologia, no Laboratório de Herbicida na Planta e Laboratório de Herbicida no Solo do Departamento de Fitotecnia, todos da Universidade Federal de Viçosa.

3.4.1 Taxa respiratória, carbono da biomassa microbiana (CBM) e quociente metabólico do solo ($q\text{CO}_2$) e quociente microbiano ($q\text{MIC}$)

A taxa respiratória foi avaliada pelo método respirométrico de determinação do C-CO₂ evoluído. Amostras de 100 g de solo peneirado e com umidade equivalente a 60% da capacidade de campo, em triplicata, foram incubadas em frascos hermeticamente fechados. O C-CO₂ liberado do solo foi carregado por fluxo contínuo de ar isento de CO₂ até outro frasco contendo 70 mL de solução de NaOH 0,5 mol L⁻¹.

Após 15 dias de incubação, estimou-se o C-CO₂ evoluído a partir da titulação de 10 mL da solução de NaOH, acrescido de 3 gotas de fenolftaleína, com solução de HCl 0,5 mol L⁻¹. Para controle da qualidade do ar carregado utilizaram-se frascos sem solo como amostras “branco”.

Após o período de 15 dias de incubação, foram tomados 18 g de solo de cada frasco para determinação do carbono da biomassa microbiana (CBM), seguindo metodologia descrita por Vanceet *al.*, (1987) e modificada por Islam&Weil (1998), no qual as amostras são tratadas com radiação de microondas na potência de 900 W por tempo previamente calculado (60 + 60 segundos).

O carbono da biomassa microbiana (CBM) foi extraído das amostras de solo (irradiadas e não irradiadas) com 80 mL da solução de K_2SO_4 $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ e em seguida submetidas à agitação por 30 minutos em mesa agitadora horizontal. Após o repouso de 30 minutos, as amostras foram filtradas em filtros de papel Whatman nº 42. Adicionou-se 10 mL do filtrado ao tubo digestor, acrescidos de 2 mL de solução de $K_2Cr_2O_7$ $0,0667 \text{ mol L}^{-1}$ e 10 mL de H_2SO_4 concentrado. Posteriormente o volume da solução foi completado para 100 mL em proveta calibrada, sendo transferido para frascos erlenmeyers de 250 mL, adicionando-se o indicador ferroína (oito gotas), para ser titulado com solução $0,033 \text{ mol L}^{-1}$ de $(NH_4)_2Fe(SO_4)_2$ até mudança da cor para vermelho-vítreo.

O quociente metabólico (qCO_2) foi obtido a partir da relação o efluxo de $C-CO_2/CMS$ (Anderson & Domsch, 1993), índice que representa a quantidade de $C-CO_2$ evoluído por unidade de carbono microbiano.

O quociente microbiano ($qMIC$) foi calculado a partir da relação entre os valores do CBM e do conteúdo de matéria orgânica. Este quociente representa a percentagem do carbono orgânico do solo que é oriundo do CBM. A transformação dos valores de carbono orgânico para matéria orgânica foi feita pela relação $MO = 1,724 \times CO$ (Alvarez *et al.*, 1999).

3.4.2 Extração e contagem de esporos de fungos micorrízicos arbusculares

A extração de esporos de fungos micorrízicos no solo da região rizosférica foi realizada através da metodologia de peneiramento úmido descrita por Gerdemann & Nicolsen (1963).

As amostras de solo foram inicialmente homogeneizadas e então 50 g retirados para a extração dos esporos. Posteriormente, as amostras foram transferidas para um recipiente plástico de 1 litro e destorroadas por agitação em 600 ml de água. Em seguida, o material ficou em repouso por 1 minuto para que as partículas mais grosseiras do solo decantassem. A água foi vertida sobre peneiras sobrepostas de malhas 0,425 mm, 0,106 mm e 0,053 mm.

O procedimento de destorroamento foi repetido até não haver mais partículas de argila suspensas. Com o auxílio de uma pisseta, foi transferido o material retido na peneira de 0,106 mm e da peneira de 0,053 mm para um tubo de 50 mL e centrifugado a 3000 rpm por três minutos. Posteriormente, o sobrenadante foi descartado cuidadosamente sem mover as partículas sólidas

decantadas no fundo do tubo. Em seguida, foi adicionado aos tubos uma solução de sacarose 60%, ressuspensão do pellet por meio da agitação dos tubos. O material foi então centrifugado a 2000 rpm por 2 minutos. Em seguida foi vertido o sobrenadante sobre as peneiras de 0,106 e a peneira de 0,053 mm. O material retido na peneira foi lavado com água corrente para eliminar os resíduos de sacarose.

Com o auxílio de uma pisseta, o material retido na peneira foi transferido para potes devidamente identificados e a contagem foi realizada utilizando-se placa de Petri canelada com auxílio de lupa estereoscópica.

3.4.3 Diversidade metabólica utilizando o sistema Biolog Ecoplate®

As análises foram realizadas nos Laboratórios de Ecologia Microbiana, Diversidade Microbiana e Micorrizas do Departamento de Microbiologia do solo.

A diversidade metabólica foi avaliada utilizando as microplacas Biolog Ecoplate® que avaliam a capacidade da população microbiana em consumir diferentes substratos de carbono. Os grupos de substratos de carbono incluem diferentes ácidos carboxílicos, carboidratos, polímeros, aminoácidos e amidos, além da testemunha sem substrato.

As microplacas Biolog Ecoplate fornecem o nível do perfil fisiológico da comunidade microbiana (*Community Level Physiological Profiling*- CLPP). O teste fundamenta-se na detecção da atividade da enzima desidrogenase de microorganismos capazes de metabolizar os diferentes substratos de carbono na presença de solução de sal de tetrazólio. Durante a atividade respiratória, ocorre a liberação de íons hidrogênio que reagem com o sal 2,3,5 trifenil cloreto de tetrazólio, incolor e solúvel, formando uma substância de cor avermelhada e insolúvel denominada *formazan* (Delouche *et al.*, 1976). O padrão de coloração pode ser um indicativo de células viáveis e não viáveis, bem como a intensidade da maior atividade bioquímica.

A determinação foi realizada conforme o procedimento descrito em Bandick & Dick (1999). Inicialmente, foi preparada uma solução de 10 g de solo em 90 mL de solução salina a 0,85%. Realizou-se a diluição seriada desta solução, sendo utilizados 120 µL da diluição 10^{-4} para inoculação de cada poço que constitui as placas.

Após a inoculação, foi feita a leitura de referência no tempo 0 hora e em seguida as placas foram incubadas em BOD a 28 °C. A leitura das placas foi feita

diariamente, a cada 24 horas por 7 dias, com auxílio do leitor de placas BiotekPowerWave XS no Laboratório de Diversidade Microbiana, em 590 nm.

Para avaliar a formação de cor para cada um dos substratos, subtraiu-se o valor da leitura obtida no branco. Assim, a leitura correspondeu apenas ao incremento de cor gerado pelo consumo da respectiva fonte de carbono pela microbiota. Em seguida foi calculada a média das repetições e em seguida realizada a normalização dos dados. Para isso, a soma da absorbância observada em todos os poços para uma mesma amostra foi utilizada para dividir o valor de cada poço.

A capacidade de utilizar uma fonte de C foi determinada conforme Ibekwe & Kennedy (1998):

$$WE = 100 (WA - W0)/W0$$

Onde, WE é o índice de desenvolvimento da cor expresso em porcentagem, WA é a absorbância de cada cavidade, e W0 é a absorbância do branco.

Para o cálculo da diversidade metabólica foi determinado o Índice de Diversidade de Shannon, que compreende tanto a riqueza de substratos como a intensidade com que eles foram usados pela microbiota. Este índice foi calculado de acordo com o descrito por Zaket *et al.*, (1994):

$$H = -\sum p_i (\ln p_i)$$

Onde: H é o índice de diversidade de Shannon, e p_i é a razão entre a atividade de utilização de determinado substrato e a atividade de utilização de todos os substratos.

3.5 Análise Estatística

Para CBM, C-CO₂, qCO₂, qMIC, número de esporos, índice de desenvolvimento de cor e índice de Shannon foram calculadas as médias aritméticas e desvios padrão.

Os dados de todas as características microbiológicas dos solos foram submetidos à técnica de análise multivariada UPGMA (*Unweighted Paired Group Method using Arithmetic Averages*), análise de componentes principais (ACP), matriz de dissimilaridade e teste Z de Mantel. Todas as análises foram executadas com o auxílio do programa GENES (Cruz, 2013).

4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após quinze dias de incubação, verificou-se que houve pequena variação na taxa respiratória ($C-CO_2$) e quociente metabólico (qCO_2) entre as épocas e entre os ambientes analisados (Figura 2 A e B). Observou-se que as taxas respiratórias foram maiores na época 1 quando comparadas com a época 2 (Figura 2A). Quando comparadas os ambientes do SAF, verificou-se que estas taxas foram superiores no Café 1 e na entrelinha (Figura 2A). Para o quociente metabólico foi mais elevado quociente na época 2 (Figura 2B). Na época 1, o menor quociente metabólico foi observado na área das macaúbas e café 2 (Figura 2B). Já para na época 2 os valores do quociente metabólico foram similares nas áreas da macaúbas, café 1 e café 2 (Figura 2B).

Embora a respiração do solo seja importante para avaliação da atividade microbiana, esta não pode ser utilizada como único indicador por sua dificuldade de interpretação (Tótila & Chaer, 2002). Ao mesmo tempo que as altas taxas respiratórias podem indicar estresse da população microbiana (Hungria & Araújo, 1994), podem ser interpretadas também como característica desejável, quando se considera que a decomposição dos resíduos orgânicos irá disponibilizar nutrientes para a planta (Roscoe et al., 2006). Diante disso, a taxa de respiração mais elevada pode ser desejável ou não, podendo indicar tanto distúrbio ou equilíbrio do ecossistema, devendo ser analisada em cada contexto (Islam & Weil, 2000).

Nesse sentido, a taxa de respiração por unidade de biomassa microbiana (qCO_2) contribui para avaliação da qualidade do solo, pois indica o nível de estresse da biomassa. Altos valores de qCO_2 significam que a população microbiana está oxidando carbono de suas próprias células, para manutenção ou adaptação dos microrganismos às condições do solo, o que indica que população microbiana se encontra em condições adversas ou estressantes (Islam & Weil, 2000; Moreira et al., 2008).

Segundo Anderson & Domsch (2010), à medida que a biomassa microbiana se torna eficiente em utilizar os recursos, menor quantidade de carbono é perdida como CO_2 pela respiração, sendo este imobilizado nas células microbianas. Desta forma, menores valores de qCO_2 indicam biomassa microbiana mais estável, ou ambiente com menor grau de distúrbio. Neste trabalho, os resultados observados no período mais seco, que compreende a época 2, apresentam maior estresse por haver maior déficit hídrico. Já os ambientes com qCO_2 mais estáveis são a macaúba e café 2 nas

duas épocas analisadas, os altos valores observados nas entre linhas podem ser reflexo do menor aporte de carbono para esta área.

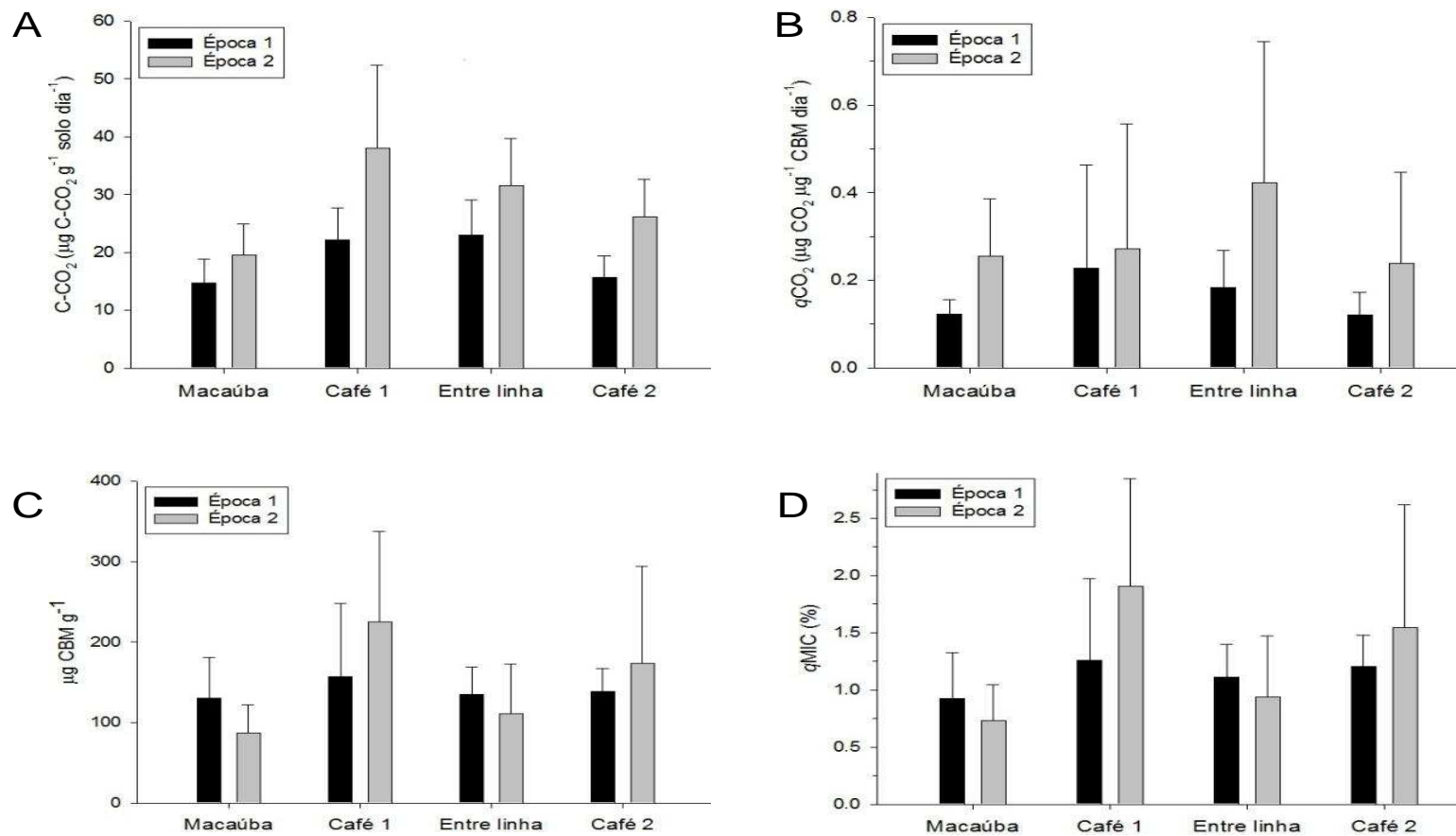


Figura 2. (A) Taxa de respiração microbiana (C-CO₂), (B) quociente metabólico (qCO_2), (C) Carbono da biomassa microbiana (CBM) e (D) quociente microbiano ($qMIC$) nos pontos de coleta (macaúba, café 1, entre linha, café 2) nas épocas quente-chuvosa (época 1) e época fria-seca (época 2). Barras de erros representam o desvio padrão.

Os valores de CBM foram mais similares entre os ambientes na época quente-chuvosa do que na época fria-seca(Figura 2C). Já época 2, que representa o período frio-seco, a biomassa microbiana foi mais elevada no solo nas linhas de cultivo dos cafeeiros.

Diversos estudos constataram diferenças no CBM em função do ciclo das plantas e de resíduos vegetais (Ferreira *et al.*, 2010), e o cafeeiro possui capacidade variada de estimular a biomassa microbiana (Melo, 2012). Assis Júnio *et al.*, (2008) em seu trabalho avaliando a atividade microbiana, por meio da CBM e C-CO₂ do solo em sistemas agroflorestais, monoculturas, mata natural e área desmatada não encontrou diferença significativa entre os SAFs.

No presente trabalho, o CBM foi mais elevado no café 1 e café 2, na época 2, que compreende período frio e seco, onde há maior queda de folhas dos cafeeiros e consequentemente maior acúmulo de matéria orgânica no solo.

O número de esporos micorrízicos arbusculares foi similar nas 2 épocas (Figura 3). No entanto, pode-se notar número mais baixo de esporos na linha de plantio das macaúbas (Figura 3).

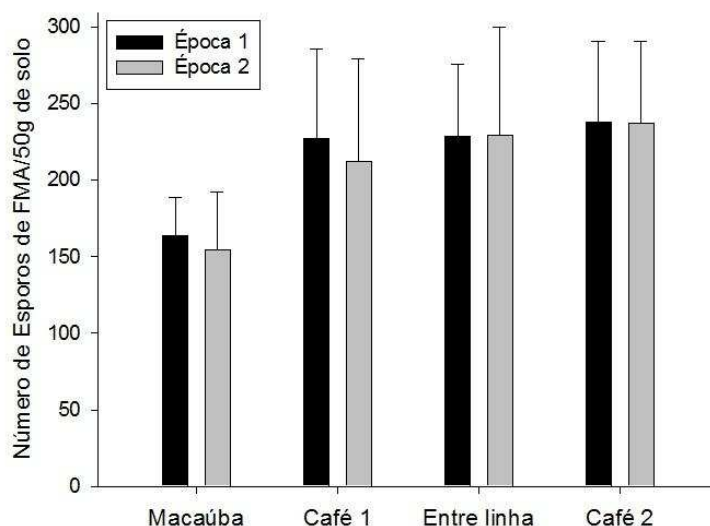


Figura 3: Esporos micorrízicos arbusculares em solo da região reizosférica nos pontos de coleta (macaúba, café 1, entre linha, café 2) nas épocas quente-chuvosa (época 1) e época fria-seca (época 2). Barras de erro representam o erro padrão da média.

A colonização micorrízica arbuscular em palmeiras como a pupunha (*Bactris gasipaes*) e cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*) cultivados em sistema agroflorestal e em monocultivo, em duas épocas do ano, concluem que a colonização micorrízica arbuscular é alterada pelo sistema de manejo adotado (Silva Júnior, 2006).

Medina *et al.*, (2012), confirmou a existência de associações micorrízicas arbusculares na palmeira juçara (*Euterpe edulis*) na Zona da Mata de Minas Gerais. E ainda segundo Silva Júnior, (2006) constatou que as maiores taxas de colonização micorrízica no cupuaçu, ocorre na estação chuvosa, enquanto na pupunha, ocorre na estação seca. Também, a densidade total dos esporos de fungos micorrízicos arbusculares sob a pupunha em sistema agroflorestal é maior durante a estação seca.

A presença de esporos na linha de cultivo da macaubeira sugere a importância desta associação para o estabelecimento de diferentes espécies de palmeira no ecossistema, além de serem úteis para determinar quais as práticas de cultivo de macaúba também estimulariam o estabelecimento das associações micorrízicas, o que significaria importante passo para o desenvolvimento de práticas sustentáveis de cultivo desta palmeira.

No entanto, na proximidade do cafeeiro é que foi verificada a presença de maior quantidade de propágulos de FMA. Isso foi observado também por Theodoro *et al.* (2003), comparando solos sob mata nativa e agroecossistemas cafeeiros, relatando pouca variação pelo atributo microbiológico colonização micorrízica, visto que os FMAs ocorrem naturalmente no cafeeiro e, de forma generalizada, colonizam as raízes desde a fase de formação de mudas até plantas adultas no campo (Cardoso *et al.*, 2003).

O Índice de diversidade de Shannon, considerando a diversidade metabólica dos microrganismos nos quatro ambientes, está apresentado na Figura 4. Observa-se que, à exceção do ambiente das macaubeiras, os valores do índice de Shannon foram mais elevados no período quente-chuvoso do que no período frio-seco.

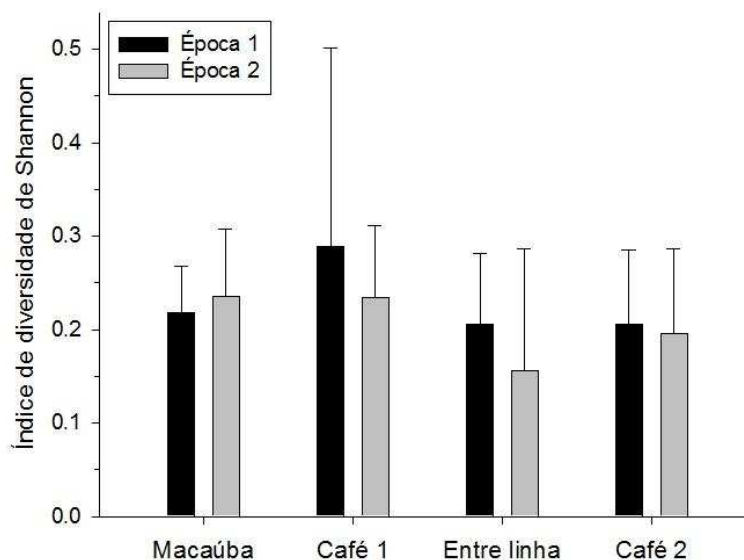


Figura 4: Índice de diversidade de Shannon, com base na capacidade de utilização de substratos de carbono pelos microrganismos no solo, nos pontos de coleta (macaúba, café 1, entre linha, café 2) na época quente-chuvosa (época 1) e época fria-seca (época 2). Barras de erros indicam o desvio padrão da média.

O Índice de Desenvolvimento de Cor em função dos substratos utilizados pelos micro-organismos nos diferentes ambientes e épocas estão nas figuras 5 e 6. Verificou-se diferença na utilização de substratos de carbono tanto nas épocas de coleta quanto entre as áreas de cultivo.

Na época 1, os substratos que foram utilizados em todos ambientes foram o Ácido Pirúvico (4), D-xilose (5) e Ácido γ -hidroxibutírico (18). Já na época 2, apenas o N-acetil-D-glicosamina (17) foi utilizado em todas as amostras. Os substratos i-Eritritol (9) e α -Ciclodextrina (16) foram consumidos apenas pelos microrganismos do solo proveniente da macaúba na época 1. Já na época 2 foram consumidos o i-Eritritol (9) e Tween 80 (12). Da mesma forma, houveram compostos consumidos apenas por microrganismo do solo coletados no café 1, linha de cafeeiro mais próximo às macaubeiras. Na época 1, estes compostos foram a L-fenilalanina (11), a Glicose-1-fosfato (25) e a Feniletlanina(27). Já na época 2, foram consumidos Tween 40 (8), L-fenilalanina (11) e o L-serina(15).

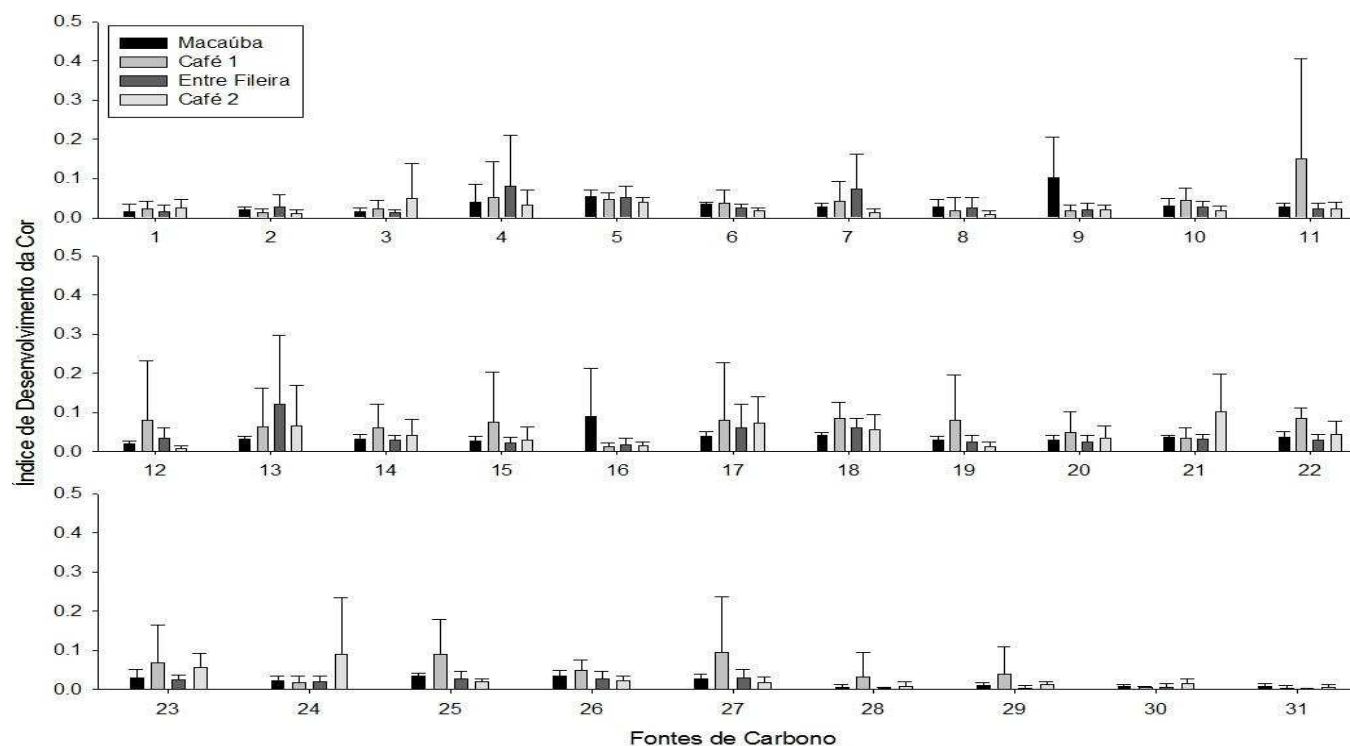


Figura 5: Média aritmética e desvio padrão do Índice de desenvolvimento de cor com base na capacidade de utilização de substratos de carbono pelos micro-organismos no solo na época quente-chuvosa. A legenda a seguir determina a relação entre o número e a fonte de carbono: β-metil-D-glicosídeo (1), Ácido D-galacturônico γ-lactona (2), L-arginina (3), Éster Metílico do Ácido Pirúvico (4), D-xilose (5), Ácido D-galacturônico (6), L-asparagina (7), Tween 40 (8), i-Eritritol (9), Ácido 2-Hidroxibenzóico (10), L-fenilalanina (11), Tween 80 (12), D-manitol (13), Ácido 4-Hidroxibenzóico (14), L-serina (15), α-Ciclodextrina (16), N-acetil-D-glicosamina (17), Ácido γ-hidroxibutírico (18), L-treonina(19),Glicogênio (20), Ácido D-glicosamínico (21), Ácido Itacônico (22), Ácido glicil-L-glutâmico (23), D-celobiose (24), Glicose-1-fosfato (25), Ácido α-cetobutírico (26), Feniletlanina (27), α-D-lactose (28), D,L- α-Glicerol fosfato (29), Ácido D-málico (30) e Putrescina (31).

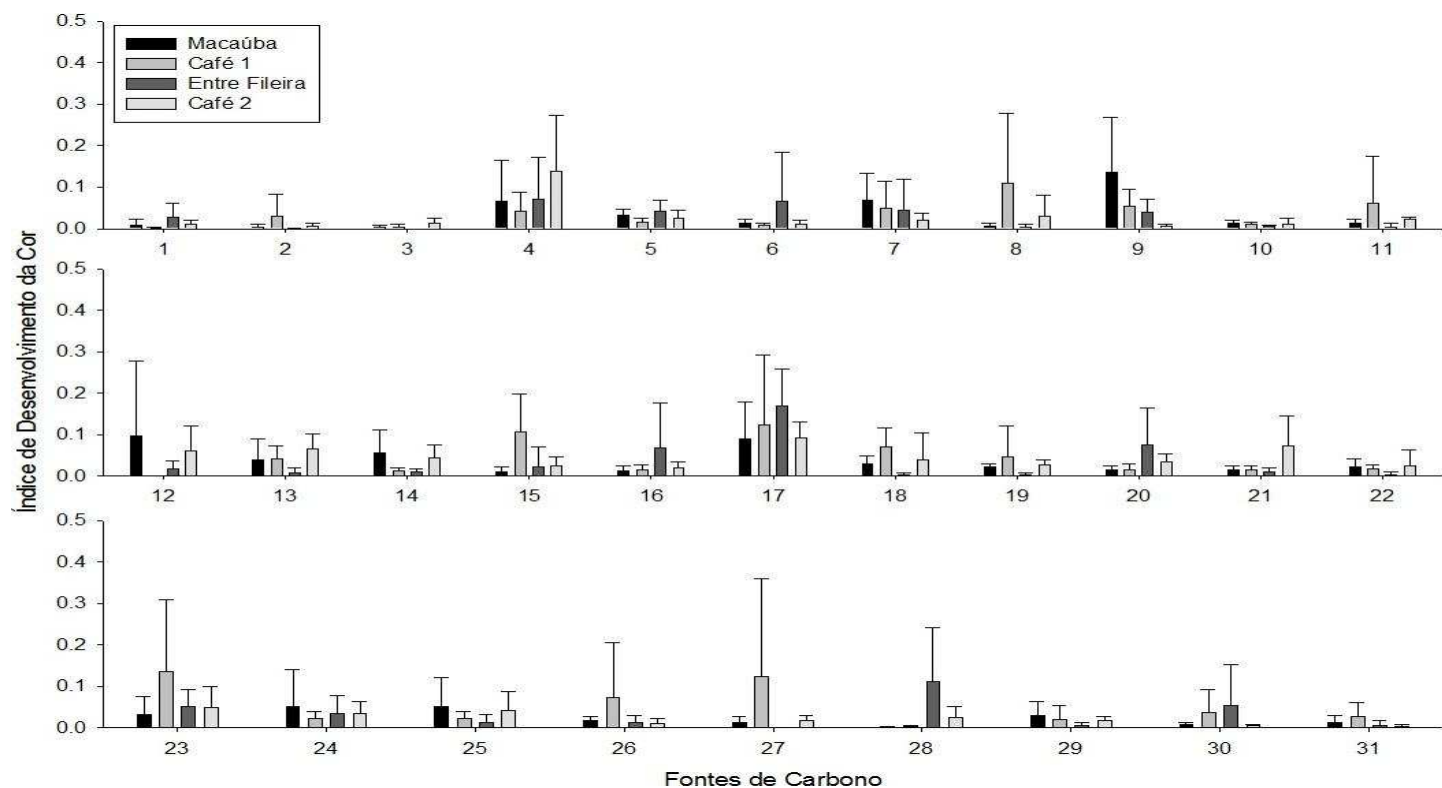


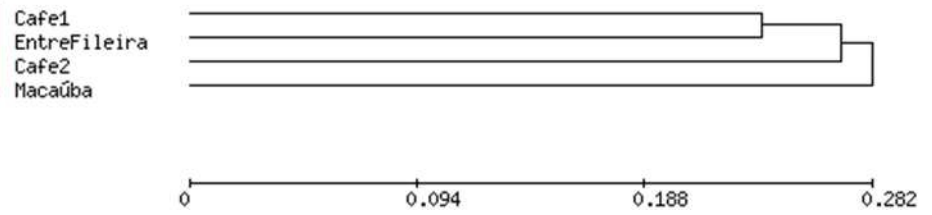
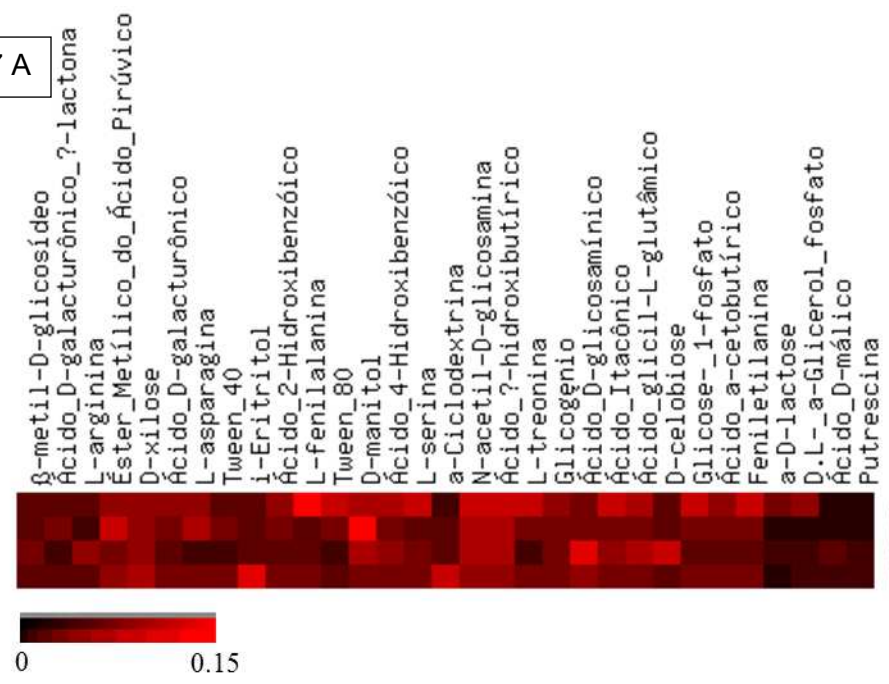
Figura 6: Média aritmética e desvio padrão do índice de desenvolvimento de cor com base na capacidade de utilização de substratos de carbono pelos micro-organismos no solo na época fria-seca. A legenda a seguir determina a relação entre o número e a fonte de carbono: β -metil-D-glicosídeo (1), Ácido D-galacturônico γ -lactona (2), L-arginina (3), Éster Metílico do Ácido Pirúvico (4), D-xilose (5), Ácido D-galacturônico (6), L-asparagina (7), Tween 40 (8), i-Eritritol (9), Ácido 2-Hidroxibenzóico (10), L-fenilalanina (11), Tween 80 (12), D-manitol (13), Ácido 4-Hidroxibenzóico (14), L-serina (15), α -Ciclodextrina (16), N-acetil-D-glicosamina (17), Ácido γ -hidroxibutírico (18), L-treonina (19), Glicogênio (20), Ácido D-glicosamínico (21), Ácido Itacônico (22), Ácido glicil-L-glutâmico (23), D-celobiose (24), Glicose-1-fosfato (25), Ácido α -cetobutírico (26), Feniletlanina (27), α -D-lactose (28), D,L- α -Glicerol fosfato (29), Ácido D-málico (30) e Putrescina (31).

Os compostos consumidos apenas na entre linha na época quente-chuvosa foram o Ácido Pirúvico (4), a L-asparagina (7) e o β -metil-D-glicosídeo (1). Já na época fria-seca, foram o ácido D-galacturônico (6) e o Glicogênio (20).

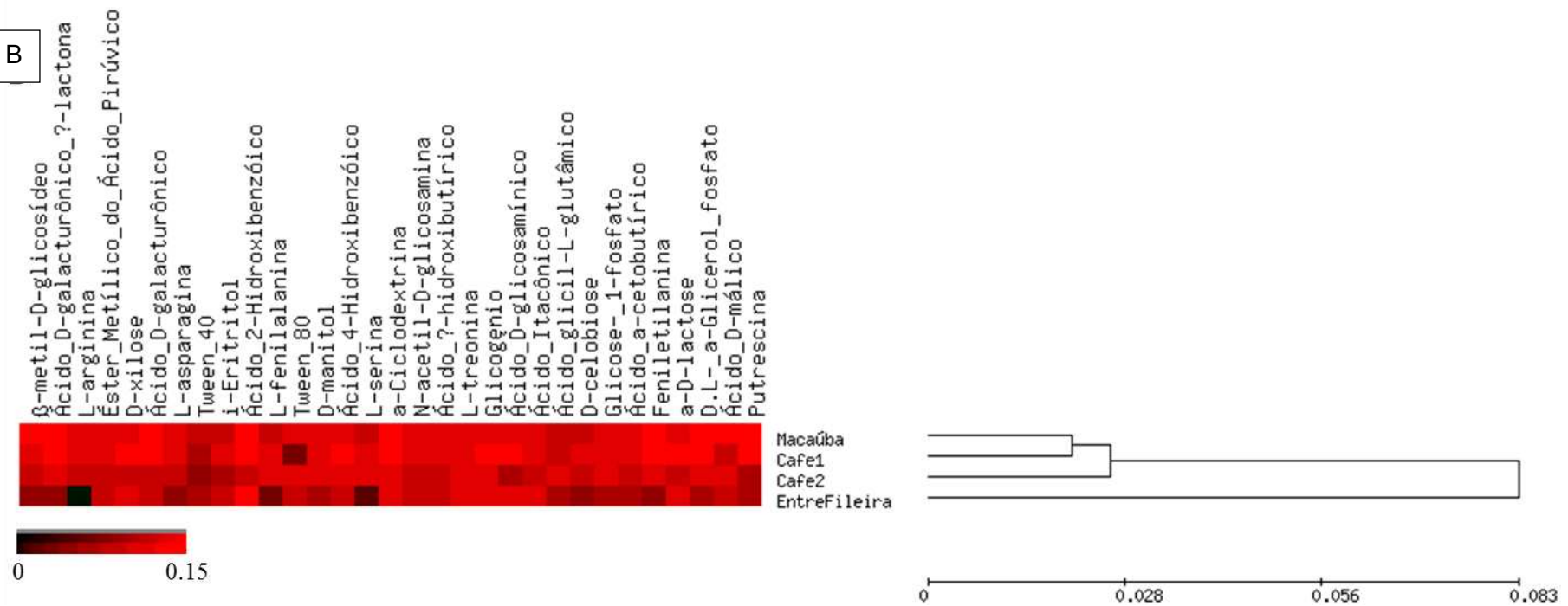
Os compostos consumidos apenas no Café 2, segunda linha de café contada a partir da linha da macaubeira, na época quente-chuvosa foram Ácido D-galacturônico γ -lactona (2), Ácido D-glicosamínico (21) e D-celobiose (24). Já na época fria-seca, foram compostos Ácido D-galacturônico γ -lactona (2) e Ácido D-glicosamínico (21).

Houve na época 1, época quente-chuvosa, uma maior capacidade de utilização de substratos de carbono de se comparado com a época fria-seca, como também e também o consumo de diferentes de substratos. A diferença no perfil de substratos utilizados entre as diferentes épocas demonstra que houveram modificações quanto às comunidades microbianas de acordo com a época do ano (Figura 7A e 7B). A dimensão destas modificações, no entanto, pode ter sido subestimada, visto que a metodologia utilizada método é dependente de cultivo, o que exclui os micro-organismos não cultiváveis em condições de laboratório (Choi&Dobbs, 1999).

7A



7 B



Figuras 7A e 7B: Perfil metabólico de microrganismos do solo proveniente de sistema agroflorestal composto por cafeeiro e macaúba em duas no período frio-seco (A) e quente-chuvoso (B) em Viçosa/MG, onde, quanto maior for a intensidade da cor vermelha maior será o consumo do determinado substrato.

Analisando todas as variáveis microbiológicas CBM, C-CO₂, números de esporos micorrízicos e diversidade metabólica, por meio da análise de agrupamento da época 1 (quente-chuvosa), observou-se a formação de três grupos distintos, onde os solos das macaubeiras e da entrelinha de cultivo distinguiram-se dos demais (Figura 7). Já na época 2 (fria-seca), as mesmas análises demonstraram a formação de três grupos distintos, porém nessa época a entrelinha apresenta 100% de dissimilaridade formando assim um grupo. A primeira fileira de cultivo de cafeeiros apresenta por volta de 93% de dissimilaridade e os ambientes macaúbas e segunda linha de cafeeiros compõem o último grupo com 68% de dissimilaridade (Figura 7). A análise de Componentes Principais aponta o mesmo resultado de formação de grupos nas duas épocas (Figura 8). Assim foi possível a constatação da formação de 3 grupos distintos entre si.

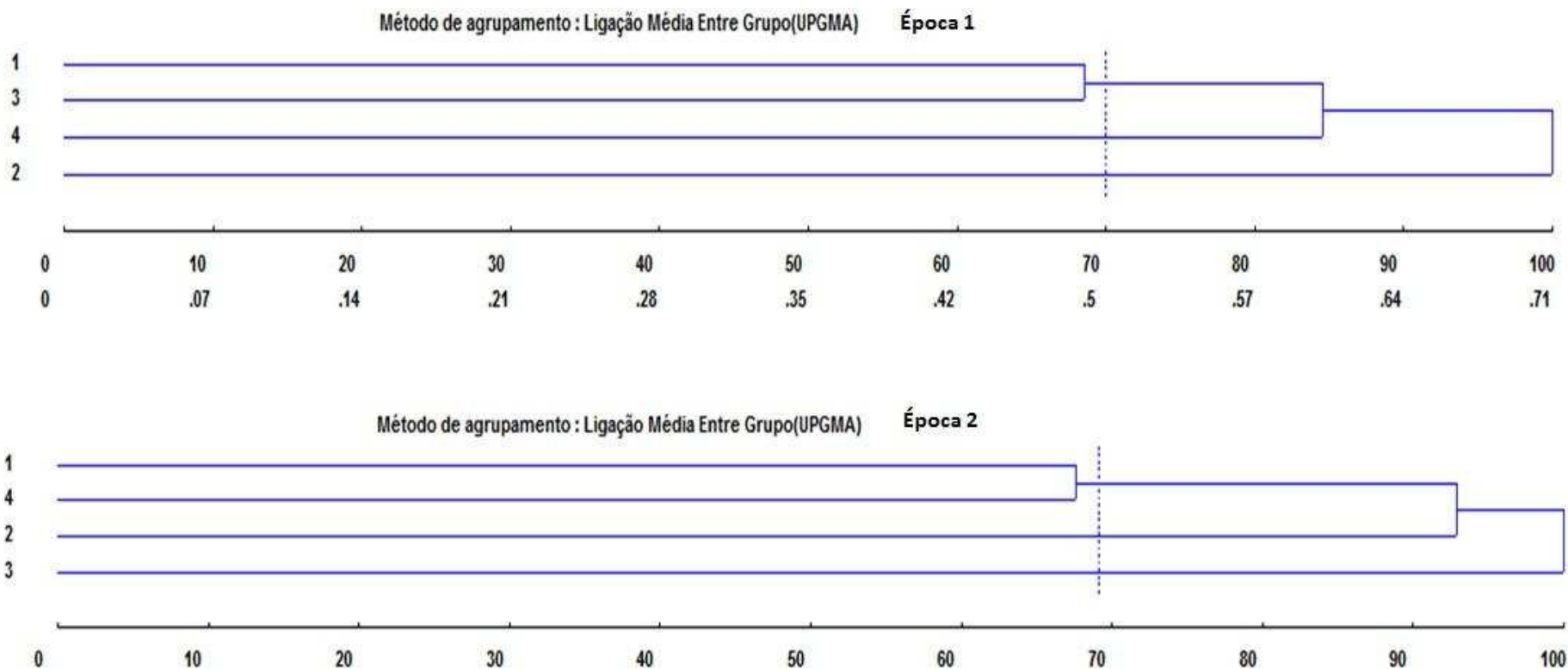


Figura 8: Dendrograma representando a dissimilaridade na análise de agrupamento de todas as variáveis microbiológicas analisadas, CBM, C-CO₂, números de esporos e diversidade microbiana à partir da distância euclidiana com a formação de três grupos dissimilares. Na época 1 e época 2 respectivamente e nos ambientes: (1) Macaúba, (2) Café 1, (3) Entre linha, (4) Café 2.

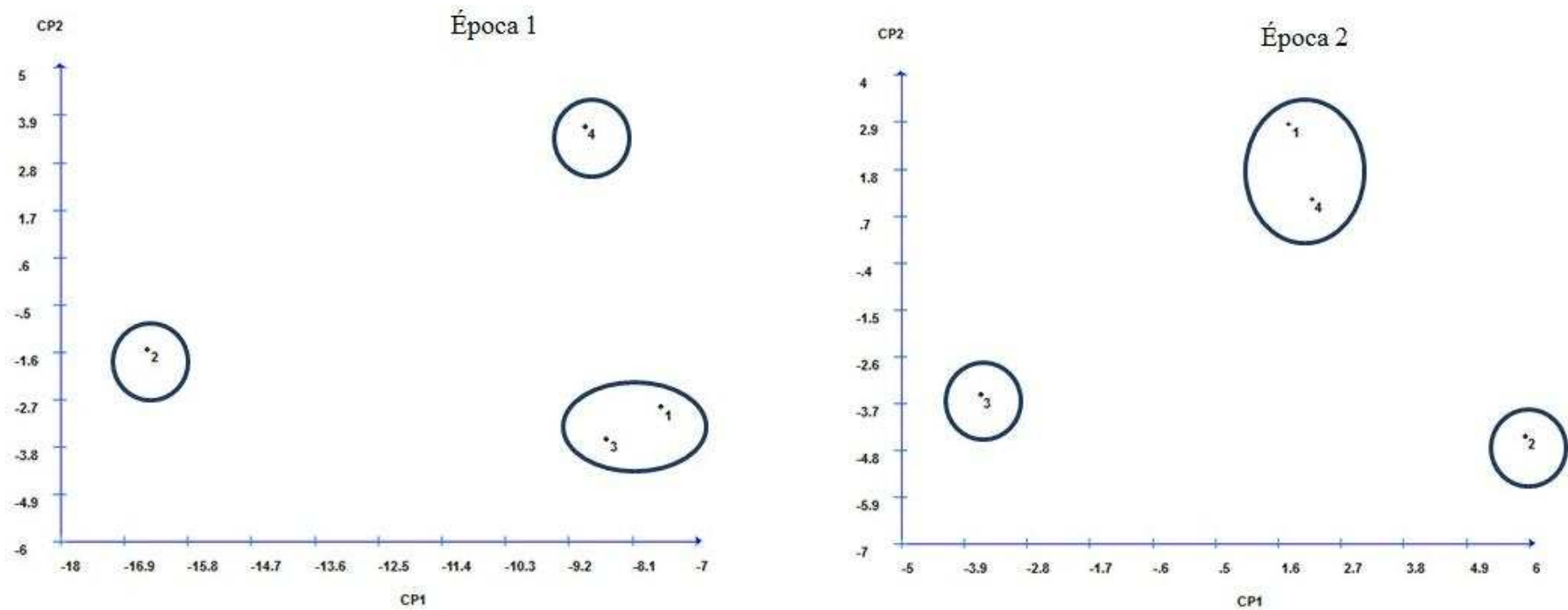


Figura 9: Representação gráfica da análise de componentes principais entre os ambientes e épocas analisadas das variáveis microbiológicas analisadas: diversidade microbiana, biomassa, respiração e número de esporos. Na época 1 e época 2 respectivamente e nos ambientes: (1) Macaúba, (2) Café 1, (3) Entre linha, (4) Café 2.

No período quente-chuvoso houve menor dissimilaridade entre os ambientes entrelinha (3) e macaúba (1). Na entre linha é realizada apenas a roçada, deixando sobre o solo uma camada de material vegetal, já entre as macaubeiras não há necessidade de roçadas, pois não há crescimento de plantas. Os cafeeiros capinados debaixo de sua copa apresentaram maior dissimilaridade (2 e 4), possivelmente pelo menor depósito de material vegetal no solo. No período frio-seco a formação dos grupos dissimilares se deu de forma diferente, pois o ambiente da macaúba (1) e café 2 (4) mostraram-se mais similares. As variáveis que mais contribuíram para essa dissimilaridade foi os FMA e CBM.

Segundo Chávez (2011) a diversidade metabólica da microbiota e a atividade microbiana sofrem alterações negativas causadas por intenso uso do solo e podem ser utilizadas como indicadores de qualidade do solo, sendo que a estimulação de microrganismos capazes de utilizar diferentes carboidratos como N-acetil-D-glucosamina, D-celobiose, D-manitol, D-xilose, α -D-lactose e o aminoácido L-asparagina foram maiores em área com menor intensidade de uso do solo.

E ainda de acordo com Gomez, (2006) solos menos perturbados obtiveram maior Índice de Desenvolvimento de Cor e Índice de Shannon do que áreas com maior perturbação. De acordo com esses resultados, e também de outros trabalhos demonstram um elevado potencial funcional de utilização de fontes de carbono em comunidades microbianas a partir de áreas nativas, áreas essas que se assemelham mais com o SAF, por haver maior riqueza de espécies, podendo assim favorecer maior interação micro-organismo-planta. Sendo assim as Ecoplates Biolog podem ser utilizadas como um indicador da atividade microbiana do solo.

Sistemas de cultivo conservacionistas como é o caso do SAF, tendem a melhorar a qualidade do ambiente para o desenvolvimento da biota do solo, preservando e acumulando matéria orgânica e incrementando o fornecimento de nutrientes aos organismos, além da proteção física fornecida pela estruturação do solo (Evangelista *et al.*, 2013).

5 – CONCLUSÃO

Foi constatado com este trabalho que houve uma grande heterogeneidade entre os ambientes e épocas analisadas no sistema agroflorestal, principalmente quanto á biomassa microbiana, FMA, diversidade metabólica.

O SAF composto por macaubeiras e cafeeiros proporciona ambientes muito diversos para o desenvolvimento de comunidades microbianas no solo.

6 – CONCLUSÃO GERAL

Contudo foi observado heterogeneidade nos ambientes analisados, quanto a radiação, a temperatura, umidade do solo, biomassa microbiana, FMA, diversidade metabólica de comunidades microbianas no solo. Tais fatores interferem no crescimento vegetativo dos cafeeiros, de forma que a fileira de cafeeiros mais distante da macaúba apresentou maior número de nós dos ramos ortotrópicos e altura se comparada com a fileira de café mais próxima da macaúba.

7 – REFERÊNCIAS

Almeida J & Assad ML (2004). Agricultura e sustentabilidade: contextos, desafios e cenários. *Ciência & Ambiente*, 29: 21-22.

Alvarez V, Novais RF, Barros NF, Cantarutti RB & Lopes AS (1999). Interpretação dos resultados das análises de solos. In: Ribeiro AC, Guimarães PTG & Alvarez V. eds. *Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais – 5ª Aproximação*. Viçosa, MG, Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, p.25-32.

Anderson TH & Domsch KH (1993). The metabolic quotient for CO₂ (q_{CO_2}) as specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 25: 93-395.

Anderson JPE & Domsch KH (2010). Quantities of plant nutrients in the microbial biomass of selected soils. *Soil Science*. 130: 211-216.

Arias RM, Heredia-Abarca G, Sosa, J & Fuentes RLE (2012). Diversity and abundance of arbuscular mycorrhizal fungi spores under different coffee production systems and in a tropical montane cloud forest patch in Veracruz Mexico. *Agroforestry Systems*, 85: 179-193.

Assis Júnior SL, Zanuncio JC, Kasuya MCM, Couto L & Melido RC (2008). Atividade microbiana do solo em sistemas agroflorestais, monoculturas, mata natural e área desmatada. *Revista Árvore*, Viçosa-MG, 27: 35-41.

Bandick AK & Dick RP (1999). Field management effects on soil enzyme activities. *Soil Biology & Biochemistry*. 31: 1471-1479.

Beer J (1997). Café bajo sombra en América Central. Hace falta más investigación sobre este sistema agroforestal exitoso? *Agroforestería en las Américas*, 4: 8-13.

Brasil-Batista C (2003). Efeito do *Bacillus thuringiensis* sobre os grupos de microrganismos funcionais na rizosfera de milho e sorgo. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Londrina, Londrina.

Campanha MM, Santos RHS, Freitas GB de, Martinez HEP, Jaramillo-Botero C & Garcia SL (2007). Análise comparativa das características da serrapilheira e do solo em cafezais (*coffea arabica* L.) cultivados em sistema agroforestal e em monocultura, na Zona da Mata MG. *Revista Árvore*, Viçosa-MG, 31: 805-812.

Cardoso I, Boddington C & Janssen B (2003). Distribution of mycorrhizal fungal spores in soils under agroforestry and monocultural coffee systems in Brazil. *Agroforestry Systems*, 58: 33-43.

Chaer GM & Tótolá MR (2007). Impacto do manejo de resíduos orgânicos durante a reforma de plantios de eucalipto sobre indicadores de qualidade do solo. *Revista Brasileira Ciência do Solo*, 31: 1381-1396.

Chávez L F, Escobar LF, Anghinoni I, Carvalho Paulo CF & Meurer EJ (2011). Diversidade metabólica e atividade microbiana no solo em sistema de integração

lavoura-pecuariasob intensidades de pastejo. Pesquisaagropecuáriabrasileira, Brasília, v:1254-1261.

Choi K & Dobbs FC (1999). Comparison of two kinds of Biolog microplates (GN and ECO) in their ability to distinguish among aquatic microbial communities. J. Microbiol. Methods, 36:203-213.

Cruz CD (2013). Genes: a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. ActaScientiarum. Agronomy, 35:271-276.

Delouche JC, Still TW, Raspet M & Lienhard M (1976). O teste de tetrazólio para viabilidade da semente. Brasília, DF: AGIPLAN. 103p.

de Paula AM (2008). Atributos microbiológicos do solo em área de pastagem irrigada com lâminas excedentes de efluente de esgoto tratado. Tese de Doutorado. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz).

Diaz-Ravina M, Acea MJ & Carballas T (1993). Seasonal fluctuation in microbial populations and available nutrients in forest soils. Biology and Fertility of Soils, 16: 205-210.

Drinnan JE, Menzel CM (1995) . Temperature affects vegetative growth and flowering of coffee (*Coffea arabica* L.). Journal of Horticultural Science, 70: 25-34.

Evangelista CR, Partelli FL, Ferreira EPB & Pires FR (2013). Atributos microbiológicos do solo na cultura da cana-de-açúcar sob manejo orgânico e convencional. Semina: Ciências Agrárias, 34: 1549-1562.

Ferreira FMC (2008). A polinização como um serviço do ecossistema: uma estratégia econômica para a conservação. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Minas Gerais (Ecologia, Conservação e Manejo de Vida Silvestre), Belo Horizonte.

Finlay R (2008). Ecological aspects of mycorrhizal symbiosis: with special emphasis on the functional diversity of interactions involving the extraradical mycelium. *Journal of Experimental Botany*, 59: 1115–1126.

Freitas ICV (2009). Bioensaios com fósforo e indicadores químicos, microbianos e bioquímicos do solo, em áreas sob cerrado, pinus e plantio direto. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, 75 p.

Garland JL & Mills AL, (1991). Classification and characterization of heterotrophic microbial communities on the basis of patterns of community-level-soil-carbon-source-utilization. *Applied and Environmental Microbiology*, 57: 2351-2359.

Gerdemann JW & Nicolson TH (1963). Spores of mycorrhizal *Endogone* species extracted from soil by wet-sieving and decanting. *Transactions of the British Mycological Society*, 46: 235-244.

Gliessman SR (2002). Agroecología: Procesos ecológicos en agricultura sostenible. Turrialba, C.R.: CATIE, p. 359.

Gomez E, Ferreras L, & Toresani S (2006). Soil bacterial functional diversity as influenced by organic amendment application. *Bioresource Technology*, 97: 1484-1489.

Hungria M, Araújo RS (1994). Manual de métodos empregados em microbiologia agrícola. Brasília, Embrapa, 542p.

Islam KR & Weil RR (1998). Microwave irradiation of soil for routine measurement of microbial biomass carbon. *Biology and Fertility of Soils*, 27: 408-416.

Jeffries P, Gianinazzi S, Perotto S, Turnau K & Bare J M (2003). The contribution of arbuscular mycorrhizal fungi in sustainable maintenance of plant health and soil fertility. *Biology and Fertility of Soils*, 37: 1–16.

Ibekwe AM & Kennedy AC (1998). Phospholipid fatty acid profiles and carbon utilization patterns for analysis of microbial community structure under field and greenhouse conditions. *FEMS Microbiology Ecology*, 26: 151-163.

Medina JM, Moreira SLS, Alves RC, Martins ML, & Campos ANR (2012). Fungos Micorrízicos Arbusculares em *Euterpe edulis* Martius (Palmeira Juçara) no Município de Rio Pomba/MG. *Vértices*, 14: 159-167.

Melo JT de & Guimarães DP (2012). A cultura do café em sistemas consorciados na região do cerrado. In: Simpósio de pesquisa dos cafés do Brasil, 1, 2000. Poços de Caldas. Resumos expandidos. Brasília: Embrapa Café/MINASPLAN, 963-966.

Midgley GF, Hannah L, Rutherford MC & Powrie LW (2002). Assessing the vulnerability of species richness to anthropogenic climate change in a biodiversity hotspot. *Global Ecology and Biogeography*, 11:445–451.

Mollet M, Herzog F, Behi YEN & Farah Z (1994). Sustainable exploitation of *Borassus aethiopum*, *Elaeis guineensis* and *Raphia hookeri* for the extraction of palm wine in Côte D'Ivoire. *Environment, Development and Sustainability*, Netherlands, 2: 43-57.

Morcote-Rios G & Bernal R (2001) Remains of palms (Palmae) at archaeological sites in the New World: a review. *The Botanical Review*, New York, 67: 309-350.

Moreira FM, Siqueira JO & Brussard L (2008). Biodiversidade do solo em ecossistemas brasileiros UFLA, 768p.

Papatheodorou EM, Efthimiadou E & Stamou GP (2008). Functional diversity of soil bacteria as affected by management practices and phenological stage of *Phaseolus vulgaris*. *European Journal of Soil Biology*, 44:429-436.

Pinto HS, Zullo Junior J, Assad ED, Brunini O, Alfonsi RR & Coral G (2001). Zoneamento de riscos climáticos para a cafeicultura do Estado de São Paulo. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, 9:495-500.

Santos AJ dos, Leal AC, Graça LR & Carmo APC (2000). Viabilidade econômica do sistema agroflorestal Grevílea x Café na região norte do Paraná. *Cerne*, 6: 89-100.

Siqueira JO, Saggin-Júnior OJ, Flores-Aylas WW & Guimarães PTG (1998). Arbuscular mycorrhizal inoculation and superphosphate application influence plant development and yield of coffee in Brazil. *Mycorrhiza*, 7: 293-300.

Smith SE & Read DJ (2008). *Mycorrhizal Symbiosis*, third ed. Academic Press, Amsterdam.

Silva Junior JP da & Cardoso EJBN (2006). Micorriza arbuscular em cupuaçu e pupunha cultivados em sistema agroflorestal e em monocultivo na Amazônia Central. *Pesquisa agropecuária brasileira*, 41:819-825.

Sylvia DM, Fuhrmann JJ, Hartel, PG & Zuberer, DA (1999). (Eds.). *Principles and applications of soil microbiology*. Prentice Hall: Upper Saddle River, 550 p.

Vaast P, Kanten RV, Siles P, Dzib B, Franck N, Harman JM & Genard M (2004). Shade: A key factor for coffee sustainability and quality. In: ASIC Conference, Bangalore, Índia, CDROOM.

Vance ED, Brookes PC & Jenkinson DS (1987). An extraction method for measuring soil microbial biomass C. *Soil Biology and Biochemistry*, 19: 703-707.

Santos HP dos, Costa JR, Polli H De, Rumjanek NG, Ferreira, EPB (2010). Microbial soil quality indicators under different crop rotations and tillage management. *Revista Ciência Agronômica*, 41:177-183.

Sediyama GC, Melo Junior JC, Santos AR, Ribeiro A, Costa MH, Hamakawa PJ, Costa JMN & Costa LC (2001). Zoneamento agroclimático do cafeeiro

(*Coffea arabica* L.) para o Estado de Minas Gerais. Revista Brasileira de Agrometeorologia, 9:501-509.

Silva, J., Jucksch, I., Tavares, RC (2012). Invertebrados edáficos em diferentes sistemas de manejo do cafeeiro na Zona da Mata de Minas Gerais. Revista Brasileira de Agroecologia, 7: 112-125.

Thomas CD, Cameron A, Green RE, Bakkenes M, Beaumont LJ, Collingham CY, Erasmus BFN, Siqueira MF de, Grainger A, Hannah L, Hughes L, Huntley B, Jaarsveld ASV, Midgley GF, Milles L, Ortega-Huerta MA, Peterson TA, Phillips LO & Willians SE (2004). Extinction risk from climate change. Nature, 427:145-148.

Theodoro VCA de, Alvarenga MIN, Guimarães RJ & Mourão Júnior M (2003). Carbono da biomassa microbiana e micorriza em solo sob mata nativa e agroecossistemas cafeeiros. Acta Scientiarum Agronomy, 25:147-153.

Wright SF, Green VS & Cavigelli MA (2007). Glomalin in aggregate size classes from three different farming systems. Soil Tillage Research, 94: 546–549.

Young, A (1994). Agroforestry for soil conservation. Wallingford, CAB International, 4 ed. 276 p.

Zak JC, Willing MR, Moorehead DL & Wildman HG, (1994). Functional diversity of microbial communities: a quantitative approach. Soil Biology & Biochemistry, 26: 1101-1108.