

**BIOMASSA E ATIVIDADE MICROBIANA
COMO INDICADORES DE QUALIDADE DE
UM SOLO SOB DIFERENTES SISTEMAS DE
CULTIVO DE CAFÉ**

ANNY KAROLINE ROCHA QUIRINO MARTINS

2020

ANNY KAROLINE ROCHA QUIRINO MARTINS

**BIOMASSA E ATIVIDADE MICROBIANA COMO INDICADORES
DE QUALIDADE DE UM SOLO SOB DIFERENTES SISTEMAS DE
CULTIVO DE CAFÉ**

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

Orientadora:

Prof. *D. Sc.* Patrícia Lopes Leal

Coorientador:

Prof. *MSc.* Divino Levi Miguel

VITÓRIA DA CONQUISTA

BAHIA – BRASIL

2020

M386b Martins, Anny Karoline Rocha Quirino.

Biomassa e atividade microbiana como indicadores de
qualidade de um solo sob diferentes sistemas de cultivo de café. /

Anny Karoline Rocha Quirino Martins, 2020.

89f.

Orientador (a): D. Sc. Patrícia Lopes Leal.

Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia,
Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Área de concentração
Fitotecnia, Vitória da Conquista, 2020.

Inclui referência F. 78 – 89.

1. *Coffea arabica* L. 2. Bioindicadores. 3. Sustentabilidade. 4. Indi-
cadores biológicos – Qualidade biológica. I. Leal, Patrícia Lopes. II.
Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Programa de Pós-Graduação em
Agronomia – Área de concentração Fitotecnia. III. T.

CDD: 633.73

Catálogo na fonte: Juliana Teixeira de Assunção – CRB 5/1890
UESB – Campus Vitória da Conquista - BA

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

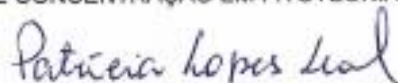
Campus de Vitória da Conquista - BA

DECLARAÇÃO DE APROVAÇÃO

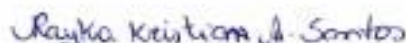
Título: “BIOMASSA E ATIVIDADE MICROBIANA COMO INDICADORES DE QUALIDADE DE SOLO EM DIFERENTES SISTEMAS DE CULTIVO DE CAFÉ”.

Autor: Anny Karoline Rocha Quirino Martins

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



Profª. Patrícia Lopes Leal, D.Sc., UESB
Presidente



Pesqª. Rayka Kristian Alves Santos, D.Sc., PNPd/CAPES/ UESB



Profª. Joseane Oliveira da Silva, D.Sc., IFBA – Vitória da Conquista

Data de realização: 22 de janeiro de 2020.

Estrada do Bem Querer, Km 4 – Caixa Postal 95 – Telefone: (77) 3425-9383 – Fax: (77) 3424-1059
– Vitória da Conquista – BA – CEP: 45031-900

*A meu amado Deus;
A meu esposo Héder Sóstenes e minha filha Ana Cecília;
Aos meus pais, Cátia e Joaquim;
e aos meus familiares e amigos.*

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Agradeço inicialmente ao meu bom Deus, por ter me dado força de chegar até aqui;

Ao meu amado esposo Héder, por todo companheirismo, apoio, incentivo e amor;

À minha filha Ana Cecilia, que foi fonte de inspiração durante o decorrer do estudo;

Aos meus pais, Cátia e Joaquim, pelas orações e incentivo;

À minha sogra Berenice e meu sogro Geraldo, por toda ajuda;

Aos meu irmão Ítalo Kaíque, pelo apoio;

A toda a minha família e amigos, pelo apoio e incentivo;

À Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia e, em especial, ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, pela oportunidade de capacitação profissional;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudo;

À minha orientadora, Professora D. Sc. Patrícia Lopes Leal, pela orientação, ensinamentos e apoio durante a realização deste trabalho;

Ao meu coorientador, Professor MSc. Divino Levi Miguel, pelas orientações, ensinamentos, apoio e amizade;

À professora Fátima Maria de Souza Moreira, do Departamento de Solos, pela ajuda nas análises;

Ao Robson, pela disponibilidade de tempo e ajuda;

À Fazenda Viçosa e todos seus colaboradores que nos cederam o espaço para coleta de dados e nos auxiliaram;

Aos colegas e amigos do Laboratório de Microbiologia do solo, Mariana, Roberta, Bruna, pelo apoio, companheirismo e auxílio durante as coletas em campo e atividades no laboratório e, ainda, pelo grande vínculo de amizade que se criou;

Ao meu amigo Elismar, pela amizade, apoio e ajuda que foram essenciais para o desenvolvimento deste estudo;

Aos colegas e amigos do curso, pelo companheirismo e convivência, principalmente, Genilson, Fabricio, Gabriel, Flávia. Enfim, gratidão a todos que colaboraram, direta e indiretamente, para essa conquista.

MARTINS, Anny Karoline Rocha Quirino. **Biomassa e atividade microbiana como indicadores de qualidade do solo em diferentes sistemas de cultivo de café**. Vitória da Conquista – BA: UESB, 2020. 89p. (Dissertação – Mestrado em Agronomia, Área de Concentração em Fitotecnia).*

Os microrganismos do solo e os processos bioquímicos por eles desempenhados são indicadores sensíveis aos impactos causados por diferentes sistemas de uso do solo e, por isso, podem ser utilizados para inferir a qualidade ambiental. Avaliações de atributos relacionados à comunidade microbiana do solo, como carbono da biomassa (CBM), respiração basal do solo (RBS), quociente metabólico (qCO_2), quociente microbiano (qMic), carbono orgânico total (COT), atividades enzimáticas e número de fungos e bactérias totais do solo, estão entre as mais indicadas para se obter informações sobre a qualidade de um ambiente e da sustentabilidade do ecossistema. Desse modo, o objetivo deste estudo foi avaliar o efeito de diferentes sistemas de cultivo do cafeeiro (arborizado com *Grevílea robusta* e a pleno sol com espaçamentos de 1,70 x 0,70 cm e 2,50 x 0,50 cm), na região de Planalto da Conquista/BA, sobre a biomassa e atividade microbiana do solo, fornecendo informações para avaliação ambiental da sustentabilidade desses sistemas. Amostras de solo, na profundidade de 0-20 cm, foram coletadas em áreas sob cultivo de café a pleno sol com espaçamento 2,50 x 0,50 m (CE1); café consorciado com grevílea (CCG); café a pleno sol com espaçamento 1,70 x 0,70 m (CE2); Pastagem (P) e Mata Nativa (MN). Foram analisadas na parte química o (pH em água, P, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Al³⁺, SB); físicas (granulometria e classe textural) e microbiológicas: respiração basal do solo (RBS), carbono orgânico total do solo- (COT), carbono da biomassa microbiana (CBM), quociente metabólico (qCO_2), quociente microbiano (qMic), atividade enzimática (urease, fosfatase ácida, Hidrolise do Diacetato de fluoresceína-FDA) e contagem de unidades formadoras de colônia de Bactéria e Fungos totais do solo. Entre os três sistemas de cultivo de café (CE1; CCG; CE2), o sistema de café em consórcio com grevílea (CCG) foi o que proporcionou maiores teores de Carbono orgânico total do solo, o que favoreceu o aumento de carbono da biomassa microbiana e, conseqüentemente, maior percentual do quociente microbiano, maior atividade das enzimas fosfatase ácida, FDA e Urease, indicando que a prática de manejo adotada em CCG favorece a biomassa e a atividade dos microrganismos no solo. Os menores teores de carbono orgânico, biomassa

*Orientadora: Patrícia Lopes Leal, D. Sc., UFBA

*Coorientador: Divino Levi Miguel, MSc., UESB

microbiana, assim como a menor atividade enzimática foram observados nos sistemas CE1 e CE2, e podem estar relacionadas com a maior susceptibilidade às perdas dos compostos orgânicos nestes sistemas. Conclui-se que os indicadores de qualidade do solo avaliados neste estudo permitiram, de forma geral, detectar efeitos do uso do solo às propriedades biológicas do solo.

Palavras-chave: Bioindicadores, *Coffea arabica* L., sustentabilidade.

ABSTRACT

MARTINS, Anny Karoline Rocha Quirino. **Biomass and microbial activity as indicators of soil quality in different coffee cultivation systems**. Vitória da Conquista – BA: UESB, 2020. 89p. (Dissertation – Master in Agronomy, Field of study, Plant Science)*

Soil microorganisms and the biochemical processes performed by them are sensitive indicators to the impacts caused by different land use systems, and for this reason they can be used to infer environmental quality. Assessments of attributes related to the soil microbial community, such as biomass carbon (CBM), basal soil respiration (RBS), metabolic quotient (qCO_2), microbial quotient ($qMic$), total organic carbon (TOC), enzymatic activities and number of total soil fungi and bacteria are among the most suitable for obtaining information about the quality of an environment and the sustainability of the ecosystem. Thus, the objective of this study was to evaluate the effect of different coffee growing systems (wooded with *Grevílea robusta* and in full sun with spacing of 1.70 x 0.70 cm and 2.50 x 0.50 cm), in Planalto da Conquista / BA region, on biomass and soil microbial activity. Providing information for environmental assessment of the sustainability of these systems. Soil samples, at a depth of 0-20 cm, were collected in areas under coffee cultivation in full sun with 2.50 x 0.50 m spacing (CE1); Coffee combined with grevilea (CCG); coffee in full sun with 1.70 x 0.70 m spacing (CE2); Pasture (P) and Native Forest (MN). The chemical part was analyzed (pH in water, P, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Al³⁺, SB); physical (grain size and textural class) and microbiological: basal soil respiration (RBS), total organic soil carbon (TOC), microbial biomass carbon (CBM), metabolic quotient (qCO_2), microbial quotient ($qMic$), enzymatic activity (urease, acid phosphatase, Hydrolysis of flurescein diacetate-FDA) and counting of colony forming units of Bacteria and total soil Fungi. Among the three coffee growing systems (CE1; CCG; CE2), the coffee system intercropped with grevilea (CCG) was the one that provided the highest levels of total organic carbon in the soil, which favored the increase of carbon in microbial biomass, and consequently a higher percentage of the microbial quotient, greater activity of the enzymes acid phosphatase, FDA and Urease, indicating that the management practice adopted in CCG favors biomass and the activity of microorganisms in the soil. The lowest levels of organic carbon, microbial

* Advisor: Patricia Lopes Leal, D. Sc., UFBA

* Coadvices: Divino Levi Miguel, MSc., UESB

biomass, as well as the lowest enzymatic activity, were observed in the CE1 and CE2 systems, and may be related to the greater susceptibility to losses of organic compounds in these systems. It is concluded that the soil quality indicators evaluated in this study allowed, in general, to detect effects of soil use on the biological properties of the soil.

Keywords: Bioindicators, *Coffea arabica* L., sustainability.

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1** – Características químicas do solo, a profundidade de 0-20 cm, sob três sistemas de manejo de café, uma área de pastagem e uma de mata, na Fazenda Viçosa, no município de Barra do Choça, BA..... 50
- Tabela 2** – Características físicas do solo, na profundidade de 0-20 cm, sob três sistemas de manejo de café, uma área de pastagem e uma de mata nativa, na Fazenda Viçosa, no município de Barra do Choça, BA..... 52
- Tabela 3** – Respiração basal do solo – RBS ($\mu\text{g CO}_2 \cdot \text{g}^{-1} \text{ solo seco}^{-1}$), carbono orgânico total do solo- COT (dag kg^{-1}), carbono da biomassa microbiana ($\mu\text{g de C g}^{-1} \text{ solo seco}$), quociente metabólico do solo- $q\text{CO}_2$, quociente microbiano – $q\text{Mic}$ (%) em diferentes sistemas de cultivo do cafeeiro, pastagem e mata nativa. Barra do Choça, BA, junho de 2018..... 54
- Tabela 4** – Níveis das enzimas: Urease ($\mu\text{g NH}_4\text{-N g de solo seco}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$), Fosfatase ácida- FAC ($\mu\text{g.g solo seco}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$) e Hidrólise do diacetato de fluoresceína –FDA ($\text{mg F g solo seco}^{-1} \text{ dia}^{-1}$) em diferentes sistemas de cultivo do cafeeiro, pastagem e mata nativa. Barra do Choça, BA, junho de 2018..... 63

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** – Médias anuais de precipitação, temperaturas máxima e mínima (INMET, 2018) 35
- Figura 2** – Distribuição amostral dos pontos de coleta nas unidades de amostragem (UAs) 36
- Figura 3** – Esquema de coleta em zigue-zague das amostras do solo. Os pontos dentro do círculo (1,2,3 e 4) foram georreferenciados. Os três pontos ao redor do ponto central representam as subamostras para compor a amostra composta..... 38
- Figura 4** – Número de unidades formadoras de colônia (UFC) de fungos e bactérias totais em solos sob diferentes manejos de café, Pastagem e Mata Nativa, durante uma estação seca..... 68
- Figura 5** – Número de unidades formadoras de colônia (UFC) de fungos e bactérias totais em solos sob diferentes manejos de café, Pastagem e Mata nativa, durante a estação úmida..... 70
- Figura 6** – Análise dos componentes principais dos sistemas de manejo, durante o período seco. CE1: Café a pleno sol com espaçamento 2,50 x 0,50 m; CCG: Café consorciado com grevilea; CE2: Café a pleno sol com espaçamento 1,70 x 0,70 m; PS: Pastagem; MN: Mata Nativa..... 71
- Figura 7** – Análise de componentes principais dos indicadores microbiológicos nos diferentes sistemas, durante o período seco. CE1: Café a pleno sol com espaçamento 2,50 x 0,50 m; CCG: Café consorciado com grevilea; CE2: Café a pleno sol com espaçamento 1,70 x 0,70 m; PS: Pastagem; MN: Mata Nativa; RBS: Respiração basal do solo; COT: carbono orgânico total do solo; CBM: carbono da biomassa microbiana; qCO₂: quociente metabólico do solo; qMic: quociente microbiano; URE: Enzima urease; FDA: Enzima hidrólise do diacetato de Fluorescína; FAC: Fosfatase ácida; Fun: População de fungos totais do solo; Bac: População de bactérias totais do solo..... 72
- Figura 8** – Análise de componentes principais dos sistemas de manejo, durante o período úmido. CE1: Café a pleno sol com espaçamento 2,50 x 0,50 m; CCG: Café consorciado com grevilea; CE2: Café a pleno sol com espaçamento 1,70 x 0,70 m; PS: Pastagem; MN: Mata Nativa..... 74
- Figura 9** – Análise dos componentes principais dos indicadores microbiológicos nos diferentes sistemas, durante o período úmido. CE1: Café a pleno sol com espaçamento 2,50 x 0,50 m; CCG: Café consorciado com grevilea; CE2: Café a pleno sol com espaçamento

1,70 x 0,70 m; PS: Pastagem; MN: Mata Nativa; RBS: Respiração basal do solo; COT: carbono orgânico total do solo; CBM: carbono da biomassa microbiana; qCO_2 : quociente metabólico do solo; q_{Mic} : quociente microbiano; URE: Enzima urease; FDA: Enzima hidrólise do diacetato de Fluorescína; FAC: Fosfatase ácida; Fun: População de fungos totais do solo; Bac: População de bactérias totais do solo.....

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

%	Porcentagem
Ag ₂ SO ₄	Sulfato de prata
Al ³⁺	Alumínio
BaCl ₂	Cloreto de bário
BDA	Batata dextrose
Ca ²⁺	Cálcio
CaCl ₂	Cloreto de cálcio
CBM	Carbono da biomassa microbiana
CCG	Café consorciado com grevílea
CE1	Café a pleno sol com espaçamento 2,5 x 0,50 cm
CE2	Café a pleno sol com espaçamento 1,7 x 0,70 cm
cm	Centímetros
CO ₂	Dióxido de carbono
COT	Carbono orgânico total
CTC	Capacidade de troca de cátions
CV%	Coefficiente de variação
FAC	Fosfatase ácida
FDA	Hidrólise do Diacetato de Fluoresceína
Fe (NH ₄) ₂ (SO ₄) ₂ 6 H ₂ O	Sulfato ferroso amoniacal

Fe^{2+}	Ferro
H^+	Hidrogênio
H_2SO_4	Ácido sulfúrico
H_3PO_4	Ácido fosfórico
K^+	Potássio
K_2CrO_7	Dicromato de potássio
K_2SO_4	Sulfato de potássio
KCl	Cloreto de potássio
m	Metros
m %	Saturação por alumínio
M.O.S	Matéria orgânica do solo
m^2	Metro quadrado
Mg^{2+}	Magnésio
MgO	Óxido de magnésio
MN	Mata nativa
N	Nitrogênio
NA	Ágar nutriente
NaOH	Hidróxido de sódio
O_2	Oxigênio
P	Fósforo
PCA	Análise de componentes principais
pH	Potencial hidrogeniônico
PNF	p-nitrofenol-fosfato

PO ₄	Fosfato
PS	Pastagem
qCO ₂	Quociente metabólico
qMic	Quociente microbiano
RBS	Respiração basal do solo
S	Enxofre
S.B	Soma de bases trocáveis (Ca ²⁺ +Mg ²⁺ + K ⁺ + Na ⁺)
T	CTC potencial a pH 7,0
t	CTC efetiva
UA _s	Unidades de amostra
UFC	Unidades formadoras de colônia
V%	Saturação por base da CTC a pH 7,0

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	20
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	23
2.1 Origem e importância econômica do café	23
2.2 Sistemas de manejo do café	25
2.3 Indicadores biológicos da qualidade do solo	26
2.3.1 Carbono da biomassa microbiana (CBM).....	27
2.3.2 Respiração basal (RBS)	28
2.3.3 Carbono orgânico total (COT)	29
2.3.4 Quociente metabólico (qCO_2).....	31
2.3.5 Atividades enzimáticas.....	31
2.3.6 Número de bactérias e fungos totais do solo	33
3 MATERIAL E MÉTODOS	35
3.1 Área de estudo	35
3.2 Caracterização das Unidades de Amostragem (UA).....	36
3.3 Coleta e preparo das amostras.....	37
3.4 Análises físicas e química do solo	39
3.5 Análises biológicas	40
3.5.1 Carbono da Biomassa Microbiana (CBM).....	40
3.5.2 Carbono Orgânico Total do solo (COT)	41
3.5.3 Respiração Basal do solo (RBS).....	42
3.5.4 Quociente metabólico (qCO_2).....	43
3.5.5 Quociente microbiano ($qMic$).....	44
3.5.6 Quantificação da atividade da uréase	44
3.5.7 Quantificação de atividade da fosfatase ácida	45
3.5.8 Quantificação da hidrólise do diacetato de fluoresceína (FDA)	46

3.5.9 Número de bactérias e fungos totais do solo	47
3.6 Análises estatísticas	47
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	48
4.1 Carbono orgânico Total	48
4.2 Carbono da Biomassa Microbiana (CBM)	56
4.3 Quociente microbiano (qMic).....	57
4.4 Respiração basal do solo (RBS).....	58
4.5. Quociente metabólico	60
4.6. Atividade enzimática	62
4.7. População de fungos e bactérias totais do solo	66
5 CONCLUSÕES.....	77
REFERÊNCIAS	78

1 INTRODUÇÃO

O café (*Coffea arabica* L. e *C. canephora* Pierre—Rubiaceae) é uma das mais importantes culturas agrícolas do mundo, sendo o Brasil o maior produtor mundial, cuja safra em 2018 totalizou 61,6 milhões de sacas e correspondeu a 35,3% da mundial. Estima-se que a área total destinada à cafeicultura no Brasil seja de 2,13 milhões de hectares, com destaque para os Estados de Minas Gerais, Espírito Santo, São Paulo e Bahia, onde as formas de produção de café se diferenciam, levando-se em conta as distintas condições climáticas e edáficas que predominam nas áreas de cultivo desses Estados, como também a diversidade cultural dos agricultores (CONAB, 2019).

Atualmente, as principais práticas de cultivo do café no Brasil variam especialmente quanto ao espaçamento (sistemas mais ou menos adensados); manejo nutricional (adubação química, orgânica ou sem adubação); e sistemas de cultivo (cultivo a pleno sol, cultivo sombreado, cultivo irrigado, agroflorestal).

Contudo, nas últimas décadas, tornou-se notória a predominância de sistemas de monocultura superdensada a pleno sol em substituição ao cultivo de cafeeiro associado com árvores, que era, até meados do século XX, o manejo tradicional no Brasil (ORTEGA; JESUS, 2011). Tal mudança se justifica pelo fato da maioria dos produtores acreditarem que o sombreamento com espécies arbóreas diminui a produtividade do café e porque o cultivo sombreado representa maior necessidade de mão de obra, além da dificuldade na passagem de máquinas (RICCI e outros, 2006).

Embora práticas convencionais do cultivo de café venham proporcionando o aumento da produtividade, efeitos negativos nos serviços ecossistêmicos podem ocorrer, afetando a ciclagem de nutrientes, controle de pragas e doenças, a estabilidade de agregados do solo e sequestro de carbono

(SAUVADET e outros, 2019). Diante disso, a avaliação de indicadores de qualidade do solo tem se tornado uma ferramenta cada vez mais útil para quantificar esses impactos, permitindo tomadas de decisões que conduzam para adoção de práticas de manejo que mantenham o equilíbrio entre os fatores de formação do solo e aqueles que provocam a sua degradação, o que evitaria, ou pelo menos diminuiria, a queda de produtividade e a deterioração do ecossistema (BATISTA e outros, 2013).

Para avaliar a sustentabilidade de um agroecossistema, é importante utilizar bons indicadores, ou seja, eles devem ser sensíveis às modificações que ocorram no solo, fazer parte das funções do ecossistema e serem fáceis de serem determinados e compreendidos (ROUSSEAU e outros, 2013; AZEVEDO JUNIOR e outros, 2017). Como os organismos do solo estão diretamente relacionados com os demais componentes edáficos (físicos e químicos), eles devem ser utilizados como bons indicadores da qualidade do solo, pois são muito sensíveis às variações no ambiente, sejam elas relacionadas ao manejo, clima, temperatura, umidade (BALOTA e outros, 2014).

Dentre os indicadores biológicos do solo, destacam-se aqueles relacionados à microbiota edáfica e seus processos bioquímicos como os mais utilizados para inferir sobre a sustentabilidade de um agroecossistema (XAVIER e outros, 2006). Biomassa microbiana, respiração basal, quociente metabólico, carbono orgânico total do solo, atividades enzimáticas, fungos e bactérias totais do solo são alguns dos atributos microbiológicos que têm sido avaliados para obtenção de informações rápidas sobre mudanças nas propriedades orgânicas do solo, causadas por cultivos ou por devastação de florestas, mensuração da regeneração dos solos após a remoção da camada superficial e avaliação dos efeitos de poluentes, como metais pesados e pesticidas, entre outros (BROOKES, 1995; BATISTA e outros, 2013).

Na literatura, é notável o número crescente de estudos que apontam para a eficiência do uso de indicadores microbiológicos na avaliação dos efeitos de diferentes manejos da cultura de café, sendo bastante comum entre esses

estudos a atenção voltada para o sistema tradicional de cultivar café em associação com árvores (sistemas agroflorestais - SAFs) como uma forma de manejo mais conservacionista perante às práticas agrícolas intensivas (MORAIS e outros, 2003; MOREIRA, 2003; RICCI e outros, 2006).

Cunha e outros (2005) e Azevedo Junior e outros (2017) relataram aumento nos valores da respiração basal do solo (RBS) em sistemas de café em produção orgânica comparadas a sistemas de manejo convencional. Melloni e outros (2018) verificaram aumento da atividade microbiana do solo e do carbono da biomassa microbiana no sistema café a pleno sol comparado ao café com sombreamento médio de araucária, e atribuíram esses resultados ao efeito diferenciado da cobertura vegetal que gera diferentes níveis de degradação do material pelos microrganismos, contribuindo para baixa atividade e biomassa microbiana.

No Estado da Bahia, principal produtor de café do Nordeste brasileiro e quarto maior a nível nacional, é possível encontrar áreas de cultivo de café em consórcio com espécies arbóreas, como a de *Grevillea robusta*, configurando-se, portanto, como sistemas agroflorestais (MATOS e outros 2019). Os benefícios desse consórcio sobre a produtividade do café foram reportados por Ribeiro e outros (2004).

Considerando a importância dos sistemas agroecológicos para a sustentabilidade agrícola nas regiões tropicais, o papel multifuncional da microbiota edáfica e a importância do café como cultura em várias partes do mundo, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito de diferentes sistemas de cultivo do cafeeiro, na região de Planalto da Conquista/BA, sobre a biomassa e atividade microbiana do solo.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Origem e importância econômica do café

O gênero *Coffea* é originário das florestas tropicais da Etiópia, pertencente à família botânica Rubiaceae, que compreende cerca de 100 espécies conhecidas, contudo, poucas são utilizadas para produção da bebida (FAZUOLI, 1986). Apenas duas são cultivadas comercialmente a *Coffea arabica* (arábica), responsável por cerca de 70% da produção mundial; e *Coffea canephora* (robusta e conilon), responsável por 30% (HAMDOUCHE e outros, 2016). São mais de 80 países envolvidos na produção de café, os quais movimentam mais de 100 bilhões de dólares anualmente (MOHAMMED; JAMBO, 2015).

Segundo a Organização Internacional do Café (2018), o consumo da bebida vem registrando aumento anual de 2,5%, superando o consumo de 150 milhões de sacas por ano. E, nesse cenário, o Brasil está em segundo lugar no ranque de países que mais consomem a bebida, abaixo apenas dos Estados Unidos, que possui um consumo de 25 milhões de sacas.

No Brasil as primeiras mudas chegaram pelas mãos do Sargento-Mor Francisco de Melo Palheta, por volta do ano de 1727, quando foram plantadas em Belém do Pará e, posteriormente, foram levadas para os estados do Maranhão, Bahia e o Rio de Janeiro, por meados de 1770. Por ser um país de vasto território, com grandes variações de clima, tipos de solo, diferentes altitudes, latitudes, níveis tecnológicos diversos, o cultivo do café foi estabelecido em diversas regiões do país (OLIVEIRA; OLIVEIRA; MOURA, 2012; MAPA, 2017). Se destacando os estados de São Paulo, Minas Gerais, Paraná, Espírito Santo, Bahia e Rondônia como os maiores produtores de café (OLIVEIRA e outros, 2012).

O País hoje tem o café como uma das *comodities* agrícolas mais importantes para a economia nacional. Isso pode ser percebido através do volume de produção, taxa de exportação e consumo interno. Na safra de 2018, a produtividade do grão foi de 35 sacas/ha de café. A área total cultivada foi de 2.158.516,9 mil hectares (294.194,1 mil hectares em formação e 1.864.322,8 mil hectares em produção), o que faz do Brasil o maior produtor e exportador mundial de café (FIALHO e outros, 2010; CONAB, 2018). Segundo o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (BRASIL, 2018), a cadeia produtiva do café gera no país mais de 8 milhões de empregos, o que conseqüentemente reflete em fonte de renda, e melhorias ao acesso à saúde e à educação para a população.

A Bahia ocupa o quarto lugar no *ranking* dos estados brasileiros que mais produzem café no país. Segundo a CONAB (2018), o estado possui três regiões distintas produtoras de café, o Cerrado e o Planalto, produtores de café arábica; e o Atlântico, produtor de café conilon. O polo cafeeiro no estado da Bahia foi estabelecido na década de 70, através do Plano de Renovação de Cafezais do Governo Federal junto com o Instituto Brasileiro do Café (IBC), que tinham como objetivo aumentar as áreas de produção de café em regiões que não tivessem períodos de geadas, a fim de conseguirem manter o Brasil como maior produtor de café do mundo e, dessa forma, o café chega à região do Planalto da Conquista (DUTRA NETO, 2004).

Atualmente a Região do Planalto da conquista se destaca como maior produtor de *Coffea* arábica do Estado da Bahia, sendo caracterizada por uma região de clima de altitude, com cafés finos de alta qualidade, os quais são premiados em concursos de caráter estadual e nacional; e destinados ao mercado internacional. A região compreende os municípios: Barra do Choça como o maior produtor do estado e do Nordeste, Vitória da conquista, Iguai, Boa Nova, Poções, Encruzilhada, Itambé, Nova Canaã, Caatiba, Cândido Sales, Planalto e Ribeirão do Largo (SEI, 2010).

A área total de produção de café arábica na Bahia, em 2018, foi de aproximadamente 82.300 hectares, sendo a região do planalto responsável por

86,3% da produção no estado, com uma produtividade de 19,48 sacas por hectare (CONAB, 2019).

2.2 Sistemas de manejo do café

O café é uma planta adaptada ao sombreamento, entretanto, no Brasil, predomina-se o monocultivo a pleno sol, desde o início do século XIX. Isso acontece porque as condições climáticas e de solo no Brasil, diferentemente de outros países em todo o mundo, favorecem o desenvolvimento do café. A razão mais provável à predominância do cultivo de café a pleno sol ao em vez do arborizado está ligada a questões socioeconômicas (BERNARDES; KHATOUNIAN, 2013).

Segundo Beer e outros (1998), as primeiras plantações comerciais de café no Brasil ainda foram em associação com culturas de maior porte. Todavia, as altas produtividades observadas nas lavouras em monocultivo a pleno sol fizeram com que o manejo sombreado fosse gradativamente substituído pelo a pleno sol.

A arborização em cafeeiro é uma técnica antiga muito utilizada no mundo. Em vários países produtores de café, tais como Colômbia, Venezuela, Costa Rica, Panamá e México, o cultivo em sistemas sombreados tem sido um recurso utilizado para diminuir as intempéries climáticas, proporcionar estabilidade ambiental, diversidade vegetal dos sistemas e como complemento na fonte de renda de agricultores (LUEDELING e outros, 2014). O sombreamento do cafeeiro com espécies arbóreas favorece o aumento do teor de matéria orgânica sobre o solo, devido à deposição das folhas que caem das árvores, mantendo a umidade do solo, aumentando a capacidade de infiltração e absorção de água, diminuindo as perdas de nutrientes no perfil do solo, além de estimular a atividade microbológica no solo (MANCUSO; SORATTO; PERDONÁ, 2013).

2.3 Indicadores biológicos da qualidade do solo

Indicadores da qualidade do solo são atributos que quantificam ou refletem o estado ambiental, sendo os indicadores biológicos do solo considerados altamente responsivos às alterações no ambiente ocasionadas por ações antrópicas (PÔRTO e outros, 2009). Em alguns casos, mudanças nos atributos microbiológicos do solo podem preceder modificações nas propriedades químicas e físicas, refletindo um claro sinal na melhoria ou na degradação do solo como um todo (ARAÚJO; MONTEIRO, 2007).

Os indicadores biológicos, como biomassa microbiana do solo, respiração basal do solo, atividade enzimática e quociente metabólico, são os mais utilizados para inferir a qualidade do solo durante as avaliações dos processos biológicos que acontecem no ambiente (ARAÚJO e outros, 2012).

Efeitos gerados pelo uso do solo podem ser verificados pelas mudanças na diversidade taxonômica e funcional dos organismos do solo, por alterações no teor de carbono da biomassa microbiana, respiração basal, quociente metabólico, atividade enzimática e densidade de populações microbianas (CARNEIRO e outros, 2009a; STIEVEN e outros, 2014). Apesar da importância desses atributos para a qualidade dos solos, são poucos os trabalhos que abordam essa temática como ferramenta para avaliação de manejo em cafezais (GUIMARÃES e outros, 2017; MELLONI e outros, 2018).

Guimarães e outros (2017) verificaram que o sistema de monocultivo do café apresentou menor valor de carbono da biomassa microbiana (CBM), quando comparado ao cultivo em sombreamento, solo em pousio e fragmento florestal, indicando que a monocultura promove a imobilização de nutrientes no solo.

Nunes e outros (2009) observaram maiores valores de qM_{ic} e enzima fosfatase ácida em áreas de Mata secundária, comparadas a áreas de café em cultivo convencional, atribuindo tal resultado aos maiores valores de COT encontrados nessas áreas. Pimentel e outros (2011), estudando diferentes

sistemas de manejo de café orgânico em diferentes épocas de coleta (inverno e verão), verificaram aumento na atividade microbiana e no qCO₂ durante a estação de verão, atribuindo a maiores precipitações e temperatura.

2.3.1 Carbono da biomassa microbiana (CBM)

A biomassa microbiana é um dos indicadores microbiológicos mais estudados para avaliar a qualidade do solo (SANTOS e outros, 2015). Teores de biomassa microbiana têm sido utilizados para avaliar efeitos de diferentes sistemas de uso da terra, sejam agroflorestais, de monocultivo, consórcio, de desmatamento (ALVES e outros, 2011; LEITE e outros, 2013; MELLONI e outros, 2018; GUIMARÃES e outros, 2017).

Esse indicador é considerado o componente vivo da matéria orgânica presente no solo (ARAÚJO e outros, 2012). Sua avaliação é útil para obter informações rápidas sobre mudanças nas propriedades orgânicas do solo e detectar variações causadas por cultivos ou por desmatamentos (VILLANI e outros, 2017).

Os microrganismos heterotróficos presentes no solo acabam por realizar a decomposição primária do material vegetal depositado sobre o solo, utilizando aproximadamente 95% do carbono desse material como fonte de energia para sua manutenção (MELO; AZEVEDO, 1997). E, dessa forma, acabam por influenciar tanto na transformação da matéria orgânica quanto na estocagem do carbono e nutrientes pelos processos de mineralização e imobilização.

Segundo Alves e outros (2011), estudos recentes apontam para uma redução da biomassa microbiana em ambientes mais perturbados, como pastagem e plantio convencional, quando comparados à mata nativa.

Nunes e outros (2009), avaliando a biomassa microbiana em áreas de monocultivo de café, observaram que CBM varia conforme a ocorrência de alterações em umidade do solo, no tipo de sistema e nas épocas de coleta do

estudo; e concluíram, dessa forma, que a CBM funcionou como um sensível indicador de variações ambientais. Guimarães e outros (2017) também observaram em áreas de cultivo de café que quanto maior a diversidade vegetal do sistema agrícola maior era o valor de CBM, provavelmente, por favorecerem o estabelecimento dos microrganismos no solo, através de distintas fontes de energia para os mesmos.

Portanto, somente a quantificação da biomassa não fornece indicações sobre os níveis de atividade das populações microbianas do solo, sendo importante também avaliar parâmetros que estimem a atividade microbiana, como a respiração microbiana e atividade enzimática, para verificar o estado metabólico das comunidades de microrganismos do solo (BOWLES e outros, 2014).

2.3.2 Respiração basal (RBS)

A respiração basal do solo (RBS) pode ser definida como o somatório de todas as funções metabólicas nas quais o CO₂ é produzido e se destaca por ser uma ferramenta sensível às alterações de umidade, manejo, cultivo, temperatura, composição química dos substratos orgânicos, substâncias inibidoras de crescimento microbiano, épocas e profundidade de amostragem (MERCANTE e outros, 2008). A respiração basal possui correlação com a quantidade de carbono presente no solo e também com as condições ambientais presentes. Segundo Vieira; Castilhos; Castilhos (2011), é o indicador mais usado para quantificar a atividade microbiana do solo, pois ela consegue refletir a velocidade de decomposição de um resíduo orgânico adicionado ao solo (PADILHA e outros, 2014), podendo ser determinada pela produção de CO₂ ou pelo consumo de O₂ em um ecossistema, sendo positivamente relacionada com o conteúdo de matéria orgânica e com a biomassa microbiana (ALEF; NANNIPIERI, 1995).

A diminuição na taxa de respiração pode ser um indicativo de estar ocorrendo uma maior eficiência da utilização do C pela biomassa microbiana (PADILHA e outros, 2014). Segundo Vieira; Castilhos; Castilhos (2011), os valores da taxa de respiração basal estão diretamente ligados ao aumento ou redução de C, prontamente disponível no solo.

Yada e outros (2015) e Santos e outros (2013) relatam que alterações nos dados de respiração basal são indicativos de ocorrência de algum estresse, como diminuição de disponibilidade de substrato vegetal ou presença de contaminantes no solo. Contudo, Nunes e outros (2009), estudando os impactos do monocultivo de café sobre os indicadores biológicos do solo, observaram maiores valores de RBS nos solos sob mata do que os sob sistema de cultivo de café, indicando que essa variável não deve ser analisada sozinha, pois altos valores de RBS tanto podem indicar que a microbiota do solo esteja sofrendo estresse, como também pode indicar alta atividade, devido ao aumento de disponibilidade de substrato (SILVA e outros, 2007).

2.3.3 *Carbono orgânico total (COT)*

A matéria orgânica é um importante componente da qualidade do solo, pois está ligada a vários processos que ocorrem no ambiente, destacando a estabilidade dos agregados do solo, a infiltração e retenção de água e também, como fonte de energia para os microrganismos que vivem nele (MARQUES e outros, 2015). A matéria orgânica possui ainda papel fundamental na retenção de nutrientes importantes para as plantas, já que possui cargas líquidas negativas, favorecendo capacidade de troca de cátions do solo (ROMANIW e outros, 2015). Logo, práticas agrícolas que favoreçam ou elevem os teores de COT no solo são importantes.

A determinação do conteúdo de carbono orgânico total do solo (COT) é usada para inferir a quantidade da fração orgânica presente (NELSON; SOMMERS, 1982). Quase que a totalidade dos estudos voltados para qualidade do solo em sistemas agrícolas utilizam o COT como ferramenta de

quantificação de estoque de matéria orgânica (JANTALIA e outros, 2007). Segundo Ferreira e outros (2018), quanto maiores os valores do teor de COT, significa um maior aporte de resíduos vegetais sobre a superfície, indicando que o sistema favorece o processo de ciclagem de nutrientes, mesmo nas camadas mais profundas.

Guimarães e outros (2017) notaram um aumento no teor de carbono orgânico em solos de floresta, quando comparados aos sistemas agrícolas, contudo, não verificaram diferenças significativas entre os sistemas cafeeiro em consorciação com *Urochloa cv. decumbens*, cafeeiro em monocultivo e cafeeiro em consorciação com espécies arbóreas e *Urochloa cv. Decumbens*. Tal fato foi atribuído ao um maior tempo de resposta na alteração do COT do solo, o qual requer um maior período para quantificar sua alteração.

2.3.4 Quociente metabólico (qCO_2)

O quociente metabólico (qCO_2) é razão entre o CO_2 produzido pela respiração basal e o carbono da biomassa microbiana, sendo expressa em quantidade de CO_2 por grama de biomassa por tempo (ANDERSON; DOMSCH, 1993). Ou seja, o quociente metabólico pode refletir o status do metabolismo microbiano, que normalmente apresenta valores elevados, quando o ambiente se encontra sob condições de estresse (NIEMEYER e outros, 2012).

Alguns trabalhos têm utilizado o qCO_2 como um bom indicador da qualidade de solo (MOSCATELLI e outros, 2007; ZHANG e outros, 2011). Sob situações de estresse, as comunidades microbianas serão menos eficientes em converter o C assimilado em biomassa, pois a maior parte do C deverá ser utilizado para fornecer energia para processos metabólicos, necessários à manutenção celular (ODUM, 1969).

Confirmando o que Islam e Weil (2000) observaram em seu estudo, os valores mais altos do quociente metabólico refletiam em condição de estresse sofrido pela biomassa microbiana, a qual respondia oxidando carbono de suas próprias células como forma de sobrevivência e adaptação às alterações existentes no solo. Por outro lado, os autores Vieira; Castilhos; Castilhos (2011); Lourentes e outros (2011) e Cunha e outros (2012) afirmam que uma menor taxa de qCO_2 está relacionada a uma maior eficiência de uso dos recursos pela biomassa microbiana, que aumenta o teor de carbono incorporado aos seus tecidos.

2.3.5 Atividades enzimáticas

Os microrganismos são considerados as principais fontes de enzimas do solo. Estudos sobre a atividade enzimática têm sido reportados como indicadores efetivos da qualidade do solo, da decomposição da matéria

orgânica e da disponibilidade de nutrientes decorrentes das práticas de manejo (QUILCHANO; MARANÓN, 2002).

A atividade enzimática do solo tem papel fundamental na ciclagem dos elementos do solo, sendo muito sensível a distúrbios que comprometam a ocorrência e metabolismo dos microrganismos, quais sejam: as enzimas fosfatase ácida, urease, FDA, β -glucosidade e arilsulfatase (SANTOS e outros, 2015). A sua quantificação e avaliação podem fornecer indícios importantes de alterações que estejam ocorrendo nos processos metabólicos de ciclagem de nutrientes, nitrificação e oxidação no solo (DICK; BREAKWELL; TURCO, 1996), contribuindo, dessa forma, para uma melhor compreensão sobre as práticas de manejo utilizadas (MENDES; VIVALDI, 2001).

Para Tótola e Chaer (2002), a escolha das enzimas para o monitoramento da qualidade do solo deve ser feita mediante observação do seu comportamento ao manejo do solo. Existem várias enzimas no solo, sendo a β - glicosidase e a fosfatase as mais utilizadas como indicadoras de qualidade do solo (SILVEIRA; FREITAS, 2007). Elas são facilitadoras do processo de mineralização, através da quebra de substratos em compostos de menor peso molecular (BURNS, 1982).

A enzima fosfatase está relacionada ao ciclo do fósforo, atuando na liberação de PO_4 de ésteres fosfóricos para absorção das plantas, entretanto, é influenciada por alterações no pH do solo (LISBOA e outros, 2012). De acordo com Dick (1996), a fosfatase pode ser um índice potencial da mineralização de P orgânico de um solo. Segundo Tabatabai (1994), a atividade de fosfatase ácida está diretamente relacionada a teores de fósforo presentes no solo, podendo, ainda, se correlacionar positivamente com as variáveis carbono da biomassa microbiano e carbono orgânico total do solo (COTTA e outros, 2015; MARGALEF e outros, 2017).

A enzima urease é facilmente encontrada na natureza e atua catalisando a reação de hidrólise da ureia para CO_2 e NH_3 . Através da análise da atividade da enzima urease no solo, pode-se avaliar os efeitos do manejo e

das práticas agrícolas sobre a microbiota do solo (DICK; BREAKWELL; TURCO, 1996).

2.3.6 Número de bactérias e fungos totais do solo

A microbiota do solo é constituída por bactérias, fungos, actinomicetos, protozoários e algas. Esse são influenciados por fatores tanto bióticos, quanto abióticos. Bactérias e fungos formam 90% da biomassa microbiana ativa (GÓMEZ-SAGAST e outros, 2012).

A atividade microbiana influencia diretamente no estado de equilíbrio do solo, pois está ligada a processos importantes, como decomposição de material orgânico, estrutura do solo, disponibilidade de nutrientes para as plantas, transformações bioquímicas específicas (fixação biológica de nitrogênio, oxidação, redução de enxofre, nitrificação, desnitrificação, regulação do fluxo de carbono), além de produzirem substâncias inibidoras ou promotoras de crescimento de plantas, regulação do ciclo da água e biorremediação (PAUL; CLARK, 1996; TURBÉ e outros, 2010).

A comunidade microbiana do solo pode ser influenciada por diversas condições, como: temperatura, umidade, manejo, compactação do solo, disponibilidade de nutrientes, sistema de cultivo e precipitação (CARDOSO; FREITAS, 1992).

Processos ocorridos no solo podem ser quantificados através da avaliação da densidade, diversidade e atividade da microbiota (ARAÚJO e outros, 2013; SANTOS e outros, 2013;). Nesse sentido, compreender a dinâmica desses microrganismos é muito importante, pois sua presença ou ausência refletem na qualidade ambiental do ecossistema.

A metodologia de contagem de colônias de bactérias e fungos totais do solo em meio de cultura é bastante utilizada nos estudos sobre qualidade de solo, os quais acabam por fornecer importantes informações sobre a atividade da população desses microrganismos. Hill e outros (2000) defendem

o uso dessa metodologia, apesar dela poder subestimar a diversidade. Devido ao número limitado de microrganismos cultiváveis nas placas, os autores afirmam que, mesmo tendo essa visão geral do comportamento dos microrganismos no solo, ela acaba por facilitar o entendimento da influência do manejo e das práticas culturais sobre a população de microrganismos que habitam no solo.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área de estudo

O estudo foi realizado com amostras de solos coletadas na Fazenda Viçosa localizada no município de Barra do Choça, no Sudoeste da Bahia, situada a latitude (14°52'52" S) e longitude (40° 34'46" O), com altitude de 847 m. De acordo com a classificação de Köppen, o clima da região é tropical de altitude (CCGa), com estação seca no inverno e verões quentes e úmidos. Segundo dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2018), a precipitação média da região é de 758 mm anuais, sendo que a temperatura média anual varia de 16,40 a 26,20 °C e umidade relativa do ar de 78,4% (Figura 1).

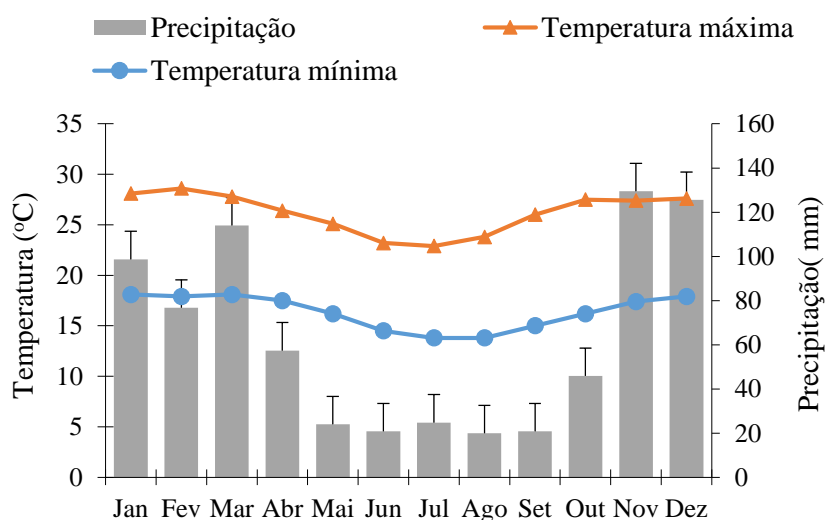


Figura 1 – Médias anuais de precipitação, temperaturas máxima e mínimas.

Fonte: INMET, 2018.

3.2 Caracterização das Unidades de Amostragem (UA)

As amostras de solo foram coletadas em cinco unidades de amostragem (UAs), escolhidas com base nos diferentes tipos de manejos de café (*Coffea arabica* L.) utilizados na região do Sudoeste da Bahia, além de uma área de pastagem e outra de mata nativa, consideradas como áreas controle, com intuito de avaliar possíveis alterações sobre os atributos microbiológicos do solo em função dos manejos adotados para o cultivo do café (Figura 2).

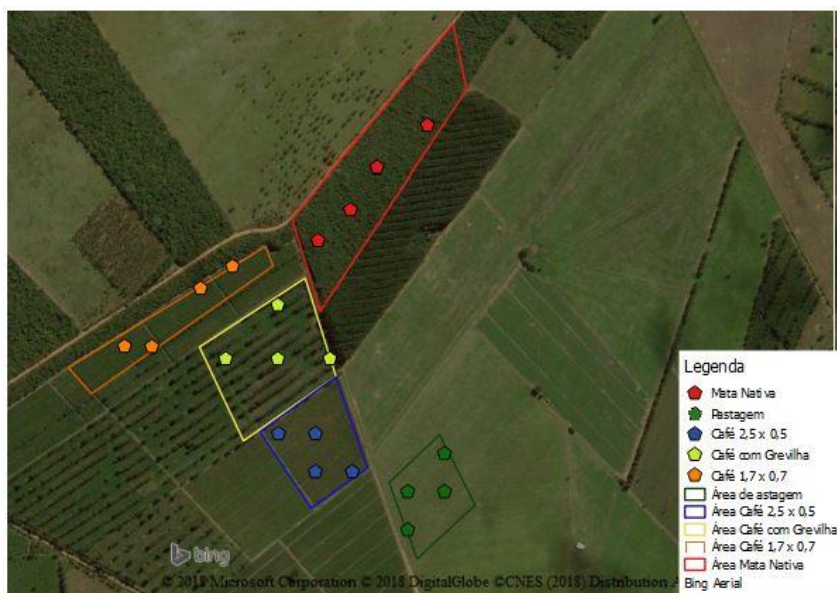


Figura 2 – Distribuição amostral dos pontos de coleta nas unidades de amostragem (UAs).

I) Área de café consorciado com grevilea – (CCG): Esta unidade é uma área na qual o café foi implantado há aproximadamente 10 anos, e possui cerca de 12 hectares, onde está instalada a segunda lavoura de café, cultivar Catucaí (IAC 144), em espaçamento de 2,0 x 0,50 m. As plantas de grevilea,

atualmente com cerca de 10 a 12 metros de altura, foram plantadas há 20 anos atrás, espaçadas a 4 m entre plantas e 20,0 m entre as linhas, cujo objetivo era de proteger as plantas de café dos fortes ventos e minimizar a forte incidência solar, e, com a conseqüente formação de serapilheira e aumento do teor de matéria orgânica no solo;

II) Área com café a pleno sol em espaçamento de 2,5 x 0,50 m - (CE10): Esta unidade é a área de cerca de quatro (4) hectares com café implantado no espaçamento de 2,5 x 0,50 m, sendo conduzido a pleno sol há mais de 10 anos;

III) Área com café a pleno sol em espaçamento de 1,70 x 0,70 m - (CE20): Esta unidade é uma área de cerca de cinco (5) hectares com café implantado no espaçamento de 1,70 x 0,70 m, sendo conduzido a pleno sol há mais de 12 anos;

IV) Área com pastagem - (PS): Esta unidade possui aproximadamente 30 hectares cultivada com *Brachiaria brizantha* utilizado para criação de gado de corte;

V) Área com Mata Nativa - (MN): A vegetação nativa é classificada como Floresta Estacional Semidecidual Montana (IBGE, 2012), conhecida regionalmente como mata de cipó. Esta unidade possui cerca de 10 hectares, e trata-se de um fragmento dessa floresta nativa, a qual vem sendo suprimida pela instalação das lavouras de café, bem como outras atividades agrícolas na região. Basicamente, é composta por plantas lenhosas de porte médio, variando entre 10 e 20 m, com característica marcadamente de caducifólia, onde a presença das lianas (cipós) explica a denominação regional, embora a predominância seja de espécies da família *Leguminosae*.

3.3 Coleta e preparo das amostras

Considerando que as UAs diferem em área total e formato (Figura 2), foi estabelecido, após o georreferenciamento das mesmas, um transecto de cerca de 10 x 25 m (250 m²), dentro do qual procedeu-se o caminhamento em

zigue-zague para marcação equidistante dos pontos de amostragem (Figura 3). Um total de quatro pontos, dentro de cada UA, foi determinado para que, ao redor destes, fossem estabelecidos os pontos de amostragem nos quais foram coletadas três amostras simples de solo na profundidade de 0-20 cm. Sendo assim, para cada UA, foram quatro amostras compostas, sendo cada uma delas geradas por três subamostras simples. As amostras de solo de cada UA_s foram coletadas em duas estações: seca (junho) e úmida (dezembro) do ano de 2018; e cada área foi considerada um tratamento, sendo utilizado o delineamento inteiramente ao acaso, dentro de cada época de amostragem.

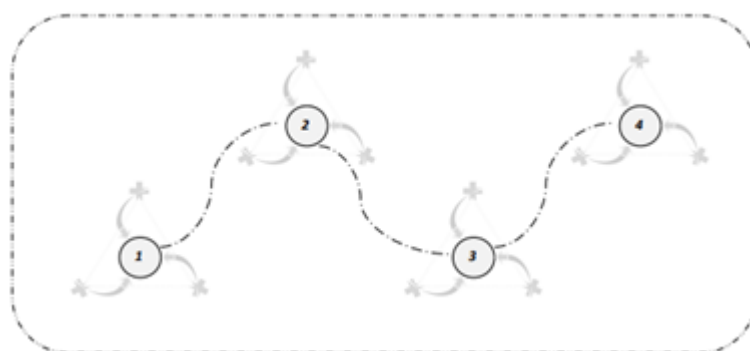


Figura 3 – Esquema de coleta em zigue-zague das amostras do solo. Os pontos dentro do círculo (1,2,3 e 4) foram georreferenciados. Os três pontos ao redor do ponto central representam as subamostras para compor a amostra composta.

Após a coleta, as amostras compostas de solo foram acondicionadas em sacos plásticos estéreis, postas em caixa de isopor com gelo, e transportadas para o Laboratório de Microbiologia do Solo da UESB - (Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia), onde foram mantidas em sacos plásticos e armazenadas a 4°C até o momento das análises. Parte das amostras do solo foi submetida às análises químicas, físicas e outra parte foi destinada para as análises referentes aos atributos biológicos do solo.

3.4 Análises físicas e química do solo

As análises físicas e químicas das amostras de solos foram efetuadas no Laboratório de Fertilidade de Solo da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB) (Tabela 1). Os atributos químicos analisados foram: pH em H₂O (1: 2,5 m v⁻¹); Al, Ca e Mg [extraído por 1 mol de KCl L⁻¹ (1:10) e determinado por espectrometria de absorção atômica (Ca e Mg) e titulometria com NaOH (Al)]; P e K disponíveis [extraídos pela solução Mehlich¹ e determinados por fotometria (K), colorimetria (P), protocolo Embrapa (1997).

Os atributos físicos analisados foram textura (argila, silte e areia), utilizando-se o protocolo Embrapa (1997).

3.5 Análises biológicas

3.5.1 Carbono da Biomassa Microbiana (CBM)

O Carbono da biomassa microbiana (CBM) foi determinado pelo método da fumigação extração, proposto Vance; Brookes e Jenkinson (1987). O processo consiste na duplicação no número de amostras para que a metade passe pelo processo de fumigação, a partir da aplicação de clorofórmio. Logo, foram pesadas vinte gramas de cada amostra de solo em placas de petri, totalizando 6 placas de petri por amostra de solo, e três delas foram para o processo de fumigação, quando foram acondicionadas em dessecador contendo um Becker com 30 mL de clorofórmio com pedras de vidros, o que provoca morte dos microrganismos e liberação dos componentes celulares. O dessecador foi hermeticamente fechado e retirado o ar a vácuo, com aproximadamente 600 mm Hg por 5 minutos após o início da ebulição do clorofórmio. Após esse procedimento, as amostras foram incubadas no escuro. Passado o período de incubação, foram novamente efetuados vácuos sucessivos para retirar o excesso do fumigante.

As outras três repetições não fumigadas foram incubadas nas mesmas condições e tempo das amostras fumigadas, porém, sem a exposição ao clorofórmio. Para extração, todas as amostras foram transferidas para Erlenmeyer de 125 mL, no qual foram adicionados 100 mL de K_2SO_4 (0,5 M). O conjunto foi agitado por 30 minutos e, posteriormente, filtrado em papel filtro Whatman nº 42. A determinação do carbono orgânico foi realizada pela digestão de 8 mL do extrato filtrado com 2 mL de $K_2Cr_2O_7$, 10 mL de H_2SO_4 (95%) e 5 mL de H_3PO_4 (85%).

Essa mistura foi aquecida por tempo de 5 minutos, contados a partir do surgimento das primeiras bolhas. Após resfriamento, foram acrescentados 10 mL de água destilada. O excesso de $K_2Cr_2O_7$ foi determinado por titulação

com sulfato ferroso amoniacal, usando-se a difenilamina como indicador até a mudança da cor azul escuro para verde garrafa. No controle, foram realizados os mesmos procedimentos com exceção do extrato que foi somente o K_2SO_4 .

O Carbono da Biomassa Microbiana em mg de C. g de solo $seco^{-1} dia^{-1}$ foi obtido pela diferença entre os resultados das amostras fumigadas das não fumigadas, dividido por um fator de correção 0,3, específico para solos tropicais.

3.5.2 Carbono Orgânico Total do solo (COT)

O COT foi determinado pela metodologia adaptada de Yeomans e Bremner (1988). Iniciou-se pesando 0,5 g de solo e transferido para Erlenmeyers de 250 mL. Posteriormente, foi adicionado em capela 5 mL de solução de $K_2Cr_2O_7$ 0,167 mol L⁻¹ e 7,5 mL de H_2SO_4 concentrado. Os Erlenmeyers foram tampados e colocados sobre chapa aquecedora a 170°, quando se esperou formar bolhas no interior. Iniciada a formação das primeiras bolhas, foi marcado o tempo de 5 minutos e mantidos nessa temperatura. Passados os 5 minutos, esperou-se esfriar em temperatura ambiente (± 15 minutos). Foi, então, acrescentado água destilada suficiente para um volume final de cerca de 80 mL, mais 5 gotas da solução indicadora defenilamina 0,5 % e 1 mL de ácido fosfórico H_3PO_4 e feito a titulação com a solução de $(Fe (NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O)$ sulfato ferroso amoniacal 0,2 mol L⁻¹. O ponto de viragem da titulação é nítido, passando do violeta para o verde.

Nas mesmas condições devem ser feitos pelo menos 6 brancos controles (5,0 mL de $K_2Cr_2O_7$ 0,167 mol L⁻¹ + 7,5 mL de H_2SO_4 concentrado). Três destes brancos devem ser levados para a digestão, e os outros três permanecendo sem aquecimento, em temperatura ambiente. Esse branco controle não aquecido é importante para o cálculo do total de dicromato perdido no aquecimento na ausência da amostra.

O cálculo do teor de carbono orgânico foi realizado a partir da Equação 1 e 2:

$$A = \left[\frac{(V_{ba} - V_{am})(V_{bn} - V_{ba})}{V_{bn}} \right] + (V_{ba} - V_{am}) \quad (1)$$

Em que: V_{ba} = volume gasto na titulação do branco controle com aquecimento;

V_{bn} = volume gasto na titulação do branco controle sem aquecimento;

V_{am} = Volume gasto na titulação da amostra

$$COT = \frac{(A)(\text{molaridade sulf. ferroso})(3)(100)}{\text{peso da amostra (mg)}} \quad (2)$$

3 = resultado da relação entre o número de mols de Cr_2O_7 - que reagem com Fe^{2+} (1/6), multiplicado pelo número de mols de Cr_2O_7 - que reagem com o CO (3/2), multiplicado pela massa atômica do C (12).

100 = fator de conversão de unidade ($mg\ mg^{-1}$ para $dag\ kg^{-1}$).

3.5.3 Respiração Basal do solo (RBS)

A taxa respiratória basal foi avaliada pelo método proposto por Jenkinson e Powlson (1976). Nesse processo, o C-CO₂ liberado é capturado pela solução de 10 mL de NaOH 0,5 mol L⁻¹ em outro frasco. Após os 7 dias

de incubação, acrescentou-se à solução de NaOH, 2 mL de BaCl₂ 10% (m/v) para a completa precipitação do CO₂, seguida de titulação com solução de ácido clorídrico (HCl) 0,5 mol L⁻¹ e 2 gotas de fenolftaleína com indicador, observando o ponto de virada da mudança da cor rosada para branco leito. Para controle, foram utilizados frascos sem solo. O cálculo da atividade microbiana foi realizado a partir da Equação 3:

$$RBS(\mu g CO_2 \cdot g \text{ solo seco}) = \frac{((B-A) \times N \times 6 \times 10^3)}{\frac{PS}{t}} \quad (3)$$

Em que, *RBS* é a respiração basal do solo (quantidade de CO₂ liberado);

A é a quantidade de mL de ácido clorídrico utilizado na titulação da amostra com solo;

B é quantidade de mL de ácido clorídrico utilizado na titulação na amostra sem solo;

N é a normalidade exata do HCl;

PS, o peso seco do solo;

t é o tempo de incubação das amostras.

3.5.4 Quociente metabólico (*qCO₂*)

A taxa respiratória basal foi avaliada pelo método proposto por Jenkinson e Powlson (1976)., conforme a Equação 4. Representando a quantidade de C-CO₂ evoluído por unidade de C microbiano. O resultado foi dado em μg C-CO₂h⁻¹/μg C-biomassa g⁻¹ solo seco (ANDERSON; DOMSCH, 1993).

$$qCO_2 = \frac{RBS}{CBM} \quad (4)$$

RBS = Taxa de respiração basal do solo (mg de C-CO₂ kg⁻¹ dia⁻¹);

CBM = Carbono da biomassa microbiana (mg de CO₂ kg⁻¹).

3.5.5 Quociente microbiano (*qMic*)

Foi determinado pela relação entre o carbono da biomassa microbiana (CBM) e o carbono orgânico total (COT), conforme Equação 5 (ANDERSON; DOMSCH, 1993), sendo expresso em porcentagem.

$$qMic = \frac{CBM}{COT} \quad (5)$$

Em que: CBM = Carbono da biomassa microbiana (μg de C g⁻¹);

COT = Carbono orgânico total (mg kg⁻¹).

3.5.6 Quantificação da atividade da urease

A enzima Urease foi determinada pela metodologia proposta por Tabatabai e Bremmer (1972), por meio da qual foi feita a quantificação da amônia liberada após incubação do solo com solução de ureia. Foram pesados 5 g de solo, posteriormente, adicionado a esse solo 2 mL de tolueno, 9 mL de solução tampão (pH 9) e 1 mL de solução com ureia (0,2 M), sendo levado à incubadora por um período de 2 horas na temperatura de 37°C. Passado o tempo, foi adicionado à solução 35 mL de cloreto de potássio (KCl) e (Ag₂SO₄) para interromper a reação. E, após agitação, foi deixado por cinco minutos em temperatura ambiente e completado com KCl e Ag₂SO₄ para 50 mL, agitando por alguns minutos.

Dessa solução, foram pipetados 20 mL e levados para um microdestilador, onde adicionou-se 0,2 g de MgO. No microdestilador, o destilado foi recolhido em um béquer com solução de ácido bórico, contendo como indicadores o vermelho de metila e o verde de bromocresol. Essa solução destilada foi titulada com uma solução padronizada de H₂SO₄ (0,005 M). O controle seguiu os mesmos procedimentos acima, no entanto, a ureia foi adicionada somente após a solução de KCl-Ag₂SO₄.

O cálculo da atividade da urease foi realizado a partir da Equação 6:

$$\text{Urease (mg NH}_4\text{-N solo seco}^{-1}\text{h}^{-1}) = \frac{C \times 50}{\text{PSS} \times 5} \quad (6)$$

Em que, C é a quantidade de ácido gasto para titulação;

50: quantidade de KCl-Ag₂SO₄ adicionado;

PSS: peso solo seco 1 grama;

5: peso do solo inicial.

3.5.7 Quantificação de atividade da fosfatase ácida

A atividade da enzima fosfatase ácida foi determinada de acordo com Dick; Breakwell; Turco (1996). Amostras de 1 g de solo foram pesadas, posteriormente, foi adicionado 0,2 mL de solução de tolueno, 4 mL de solução tampão (pH 6,5) e 1 mL de p-nitrofenil-fosfato (PNF:0,05 mol L⁻¹). A mistura foi colocada em banho maria a 37 °C, por uma hora; passado o tempo, a reação foi interrompida com a adição de 1mL de CaCl₂ (0,5 mol L⁻¹), agitando a solução por alguns minutos e filtrando em papel de filtro (Whatman nº 42). A solução fica com a coloração amarela e sua leitura foi feita no espectrofotômetro a 410 nm, sendo que as amostras controle seguiram os mesmos procedimentos citados acima, exceto para a adição de PNF, que foi

colocado somente após adição de CaCl₂ e do NaOH. A concentração foi obtida através da leitura em solução controle, nas concentrações 0,10,20,30,40 e 50 µg L⁻¹ de p-nitrofenol; e o resultado foi expresso em µg g⁻¹ solo seco h⁻¹

$$\text{p-nitrofenol } (\mu\text{g g}^{-1} \text{ solo seco h}^{-1}) = \frac{C \cdot V}{dwt \cdot SW \cdot t}$$

C = Concentração de p-nitrofenol mensurado com base na curva padrão;

v = Volume total da suspensão do solo;

dwt = Peso seco de 1 g de solo;

Sw = Peso úmido da amostra utilizada;

t = Tempo de incubação em horas.

3.5.8 *Quantificação da hidrólise do diacetato de fluoresceína (FDA)*

A Quantificação da hidrólise do diacetato de fluoresceína (FDA) foi determinada através da metodologia de Diack (1997), por meio da qual as células microbianas liberam a fluoresceína que é quantificada por espectrofotômetro. Foi realizado a pesagem de 2g de solo úmido em um tubo com capacidade mínima de 50 mL, no qual foi adicionado 40 mL da solução tampão de fosfato de sódio a pH 7,0 com diacetato de fluoresceína. Após adição, o tubo foi tampado e incubado em rotação a 35 °C, por 24 horas. Após o período de incubação, foram adicionados 2 mL de acetona para interromper a reação, e o conjunto foi centrifugado por 5 minutos a 3840 rpm.

O sobrenadante foi filtrado com papel filtro Whatman n° 42 para leitura no espectrofotômetro. Para as repetições controle, foram adotados os mesmos procedimentos acima, exceto a adição do substrato (diacetato de fluoresceína). O cálculo da concentração de fluoresceína foi feito a partir da equação da reta gerada pela plotagem no gráfico dos resultados, obtidos com a solução controle nas concentrações 0, 100, 200, 300, 400 e 500 mg de fluoresceína. A solução controle foi obtida pela diluição de 5 mL de solução padrão de fluoresceína sódica em 50 mL de acetona e, dessa solução, foram pipetados 0, 1, 2, 3, 4, e 5 mL em Becker separados de 50 mL, onde foram

adicionados 20 mL de solução tampão de fosfato de sódio, ajustando-se o volume para 40 mL.

3.5.9 Número de bactérias e fungos totais do solo

A contagem dos microrganismos cultiváveis do solo foi feita pelo método de diluição seriada e espalhamento em placa com meio de cultura sólido (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). Através de testes preliminares, determinou-se as diluições desejáveis para as contagens, com resultados que abrangessem o número de UFC entre 30 e 300 para bactérias e 20 a 200 para fungos. Sendo assim, as diluições adotadas foram de 10^{-3} para bactérias e fungos. Na contagem de fungos, utilizou-se o meio BDA (batata, dextrose, ágar); e para a contagem de bactérias, foi utilizado o meio NA (nutriente ágar). As placas foram incubadas a 28°C e tendo o crescimento microbiano nas placas verificado diariamente. As colônias de cada grupo foram contadas e os resultados foram expressos em unidades formadoras de colônias por grama de solo (UFC g⁻¹ solo).

3.6 Análises estatísticas

Todos os dados foram submetidos a teste de normalidade e homogeneidade e, em seguida, realizados as análises de variância e teste de médias comparadas pelo teste Tukey a 5%, usando-se o programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2011).

A análise de componentes principais (PCA) foi realizada com o programa Statistica 7.0, com objetivo de sintetizar a variação multidimensional dos dados, ordenando-os nos eixos, de acordo com suas similaridades em termos de variáveis utilizadas. Os componentes principais foram escolhidos de forma a reterem mais de 50% da variabilidade total dos dados.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização química

Houve diferença significativa entre o pH dos sistemas de manejo, que variou de 4,4 em MN a 5,8 PS (Tabela 1). Contudo, entre os sistemas de café CE1 (4,7), CCG (4,6) e CE2 (4,9), não houve diferença significativa ($p > 0,05$). Observa-se, de forma geral, que todas as áreas possuem solos ácidos. Segundo Quaggio (2000), mais de 70% dos solos brasileiros são naturalmente ácidos. Os teores de P foram significativamente maiores ($p < 0,05$) nos sistemas CCG ($9,0 \text{ mg dm}^{-3}$) e CE1 ($4,50 \text{ mg dm}^{-3}$), comparados a CE1 ($2,8 \text{ mg dm}^{-3}$), PS ($2,8 \text{ mg dm}^{-3}$) e MN ($1,0 \text{ mg dm}^{-3}$). Esses baixos valores se justificam pelo fato do nutriente fósforo ser um elemento presente em baixa quantidade nos solos brasileiros (BASTOS e outros, 2008). Para o nutriente K^+ , não houve diferença significativa ($p > 0,05$) entre os sistemas.

Pode-se observar que os maiores teores de Al trocável (Al^{3+}) e menores valores de Ca^{2+} e Mg^{2+} foram obtidos nas áreas CE1, CCG, CE2 e MN, podendo relacionar tal resultado ao pH do solo mais ácido nessas áreas. Segundo Balota (2017), solos com pH ácidos limitam teores de cátions de caráter básico, como Ca^{2+} e Mg^{2+} (BALOTA, 2017).

A PS manteve os maiores valores de Ca^{2+} e Mg^{2+} e soma de base, o que indica que, apesar de ser um sistema considerado como degradante, está tendo um manejo eficiente.

Os valores altos de Al^{3+} e o teores baixos de nutrientes na área de mata nativa estão de acordo com a literatura, em razão da não realização de correções químicas no solo, como calagem, por exemplo. Segundo Soares e outros (2011), são esperados esses altos valores de alumínio em solos sob vegetação nativa em função da não utilização de práticas corretivas, como as

usadas em áreas de produção agrícola, o que faz com que a vegetação seja altamente adaptada ao efeito tóxico do alumínio trocável.

Tabela 1 – Características químicas do solo, na profundidade de 0-20 cm, sob três sistemas de manejo de café, uma área de pastagem e uma de mata nativa, na Fazenda Viçosa, no município de Barra do Choça, BA

Sistema de manejo	pH	P	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H ⁺	S.B	t	T	V	m
		mg/dm ³(cmol/dm ³ de solo).....				%.....				
CCG	4,6 b	9,0 a	0,12 a	2,81 ab	1,13 b	1,03 b	8,73 b	4,45 b	5,48 b	14,20 b	33,50 b	19,50 bc
CE1	4,7 b	4,5 ab	0,21 a	2,38 b	0,95 b	1,15 b	9,58 bc	3,5 b	4,65 b	14,23 bc	24,75 b	24,75 b
CE2	4,9 b	2,8 b	0,16 a	2,75 ab	1,30 b	0,93 b	9,10 cd	4,23 b	5,15 ab	14,25 c	31,25 b	19,50 b
PS	5,8 a	2,8 b	0,15 a	3,65 a	2,78 a	0,13 b	5,95 cd	6,60 a	6,73 a	12,68 c	52,00 a	2,00 c
MN	4,4 b	1,0 b	0,09 a	0,68 c	0,68 b	2,83 a	14,13 a	1,45 c	4,28 b	18,40 a	8,00 c	66,00 a
CV(%)	5,05	34,65	18,92	19,74	33,90	39,81	11,34	17,92	9,78	6,28	20,58	24,04

Médias seguidas da mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. CE1: Café a pleno sol com espaçamento 2,50 x 0,70 m; CCG: Café consorciado com grevêlea; CE2: Café a pleno sol com espaçamento 1,70 x 0,10 m; PS: Pastagem; MN:-Mata Nativa. Valores médios obtidos a partir de quatro repetições em cada unidade de coleta. Foram usadas as médias originais da variável K⁺, cujos dados foram transformados em X^{0,5} para atender aos pressupostos da análise de variância.

Fonte: Laboratório de Química e Física do Solo da UESB, 2019.

Sendo assim, não há uma reposição dos nutrientes que são exportados pelas plantas e perdidos pelos processos naturais de lixiviação.

Os valores de SB e V% se correlacionam positivamente, em que se observam menores valores para as áreas de café e MN, comparadas à pastagem. À medida que houve diminuição de V%, o pH do solo também diminuiu, caracterizando alta acidez no solo.

A saturação por alumínio (m%) em nenhum sistema, exceto a MN, foi superior a 30%, o que limitaria o crescimento das raízes das plantas no solo.

4.2 Caracterização física

Em todas as áreas, verifica-se o predomínio da fração areia com valores entre 365 g kg⁻¹ em CE1 a 402 g kg⁻¹ em MN; e da fração argila com valores que variaram de 410 g kg⁻¹ em CE2 a 515 g kg⁻¹ em CE1 (Tabela 2).

Não houve diferença significativa no teor de areia entre os sistemas de manejo (Tabela 2). Para a fração argila, observa-se que CCG (485 g kg⁻¹) e CE1 (515 g kg⁻¹) não diferiram significativamente, possuindo os maiores valores comparados a CE2 (410 g kg⁻¹), PS (435 g kg⁻¹) e MN (415 g kg⁻¹).

Tabela 2 – Características físicas do solo, na profundidade de 0-20 cm, sob três sistemas de manejo de café, uma área de pastagem e uma de mata nativa, na Fazenda Viçosa, no município de Barra do Choça, BA

Sistema de manejo	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila	Classe Textural
CCG	367 a	70 b	77 bc	485 a	Argila arenosa
CE1	365 a	75 ab	45 c	515 a	Argila arenosa
CE2	390 a	82 a	117 a	410 b	Argila arenosa
PS	400 a	77 ab	87 ab	435 b	Argila arenosa
MN	402 a	72 b	110 ab	415 b	Argila arenosa
CV (%)	6,16	4,93	13,96	3,83	-----

Médias seguidas da mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. CE1: Café a pleno sol com espaçamento 2,50 x 0,70 m; CCG: Café consorciado com grevílea; CE2: Café a pleno sol com espaçamento 1,70 x 0,10 m; PS: Pastagem; MN:-Mata Nativa. Valores médios obtidos a partir de quatro repetições em cada unidade de coleta. Fonte: Laboratório de Química e Física do Solo da UESB, 2019.

4.3 Carbono orgânico Total

Os teores de COT, no período seco, foram significativamente maiores ($p < 0,05$) nos sistemas de MN (5,50 dag kg⁻¹) e CCG (5,15 dag kg⁻¹), que se diferiram de P (4,40 dag kg⁻¹), CE2 (4,09 dag kg⁻¹) e CE1 (3,84 dag kg⁻¹) (Tabela 3). No período úmido, houve diferença significativa ($p < 0,05$) entre os sistemas de manejo, quando o maior teor de COT foi registrado para P (4,40 dag kg⁻¹) e menor valor para CE20 (1,20 dag kg⁻¹). As áreas de café CE1 (2,86 dag kg⁻¹) e CCG (2,31 dag kg⁻¹) não diferiram estaticamente ($p > 0,05$) da área de MN (2,72 dag kg⁻¹).

Tabela 3 – Respiração basal do solo – RBS ($\mu\text{g.C-CO}_2\cdot\text{g}^{-1}$ solo), carbono orgânico total do solo- COT (dag kg^{-1}), carbono da biomassa microbiana (μg de C g^{-1} solo seco), quociente metabólico do solo- qCO₂ ($\mu\text{g C-CO}_2 \mu\text{g}^{-1}\text{C-BMS h}^{-1}$), quociente microbiano – qMic (%) em diferentes sistemas de cultivo do cafeeiro, pastagem e mata nativa. Barra do Choça, BA, junho de 2018

Período seco					
Unidades de Amostragem (UAs)	COT (dag.k g⁻¹ solo)	CBM (μg.de C.g⁻¹ solo)	qMic (%)	RBS (μg.C-CO₂.g⁻¹ solo)	qCO₂ (μg C-CO₂ μg⁻¹C-BMS h⁻¹)
CE1	3,84 b	189,00 c	0,49 c	0,14 d	0,93 b
CCG	5,15 a	540,90 a	1,05 a	0,24 cd	1,20 b
CE2	4,09 b	364,90 b	0,89 b	0,32 bc	0,92 b
PS	4,40 b	17,10 d	0,04 d	0,48 ab	8,95 a
MN	5,50 a	414,64ab	0,75 b	0,57 a	1,37 ab
CV (%)	5,24	13,32	7,21	17,60	26,78
Período úmido					
CE1	2,86 b	333,10 ab	1,16 bc	0,05 d	0,15 c
CCG	2,31 bc	417,0 a	1,81ab	0,15 d	0,39 c
CE2	1,20 c	341,52ab	2,85 a	0,84 b	2,29 b
PS	4,40 a	265,75 b	0,60 d	1,04 a	4,25 a
MN	2,72 b	272,37 b	1,00 cd	0,53 c	2,07 b
CV (%)	7,26	16,28	15,24	13,05	7,95

Médias seguidas da mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. Foram utilizadas as médias originais da variável qCO₂, cujos dados foram transformados em X^{0,5} para atender aos pressupostos da análise de variância. CCG-Café consorciado com grevilea, CE1-café a pleno sol com espaçamento de 2,5x0,50 cm; CE2- café a pleno sol com espaçamento de 1,7 x 0,70 cm; PS: Pastagem; MN: Mata Nativa.

De forma geral, esses resultados indicaram que os sistemas de uso do solo que possuem maior diversificação vegetal, como MN e CCG, tendem a apresentar teores de COT mais elevados, devido ao maior aporte contínuo e variado de substrato orgânico, com diferentes graus de suscetibilidade à

decomposição, provenientes de vegetação com maior diversidade de espécies. Isso representa entrada constante de material orgânico, especialmente via serapilheira, e, portanto, a manutenção do estoque de Carbono orgânico no solo (CARDOSO e outros, 2010).

O abundante sistema radicular da braquiária, aliado à liberação de exsudatos podem ter favorecido o maior teor de COT no solo, no sistema P, durante o período úmido, já que os exsudatos liberados pelas raízes são fontes de estímulo para o aumento da densidade da população microbiana presente no solo. Essa mesma comunidade de microrganismos está diretamente relacionada ao sucesso do estabelecimento vegetal sobre o solo.

Segundo Barreto e outros (2006), plantas C₄, como as gramíneas, acabam por contribuir com maiores teores de carbono no solo devido ao rápido processo de ciclagem e aporte de C derivados das raízes. Fernandes e outros (2007) destacam, ainda, que, maiores valores de COT, em áreas de pastagem, estão relacionados à maior concentração de biomassa nas raízes das gramíneas.

Os menores valores de COT observados na área de cultivo agrícola CE2, em ambas as épocas de coleta (Tabela 3), podem estar associados a situações de desequilíbrio, como baixa adição de resíduos vegetal sobre o solo pela cultura, e menores taxas de ciclagem de nutrientes nessa área (SILVA e outros, 2012; GUIMARÃES e outros, 2017).

4.4 Carbono da Biomassa Microbiana (CBM)

Houve diferença significativa entre os sistemas de manejo. Contudo, os maiores valores de carbono da biomassa microbiana, durante o período seco, puderam ser observados nos sistemas CCG (540,90 $\mu\text{g.C.g}^{-1}$ solo seco) e MN (414,64 $\mu\text{g de C g}^{-1}$ solo seco), os quais não diferiram estaticamente ($p < 0,05$) entre si. Entre os sistemas de manejo de café, o CE1 foi o que teve menor valor de CBM (189,00 $\mu\text{g de C g}^{-1}$ solo seco) (Tabela 3).

No período úmido, não houve diferença significativa entre os sistemas de café CCG (417,0 $\mu\text{g de C g}^{-1}$ solo seco), CE2 (341,52 $\mu\text{g de C g}^{-1}$ solo seco) e CE1 (333,10 $\mu\text{g de C g}^{-1}$ solo seco), entretanto, esses sistemas diferiram significativamente do valores registrados em P (265,75 $\mu\text{g de C g}^{-1}$ solo seco) e MN (272,37 $\mu\text{g de C g}^{-1}$ solo seco) (Tabela 3).

A relação entre o carbono da biomassa microbiana e o carbono orgânico do solo reflete processos importantes relacionados com adições e transformações da matéria orgânica, indicando a eficiência de conversão do carbono da matéria orgânica do solo em carbono microbiano (D'ANDRÉA e outros, 2002). Nesse sentido, verificou-se uma correlação interessante entre COT e CBM, no período seco, sendo os maiores valores de carbono da biomassa microbiana e carbono orgânico total observados nos sistemas CCG e MN.

Villatoro e outros (2004) reportaram o efeito benéfico do consórcio de café com grevêlea sobre o CBM (900 $\mu\text{g de C g}^{-1}$ solo seco), comparado aos consórcios de café com ingazeiro (512 $\mu\text{g de C g}^{-1}$ solo seco) e café com banana e diversas arbóreas (780 $\mu\text{g de C g}^{-1}$ solo seco). Isso pode ser justificado pela relação C/N da arbórea grevêlea que pode vir a influenciar nos teores de COT e CBM, uma vez que os resíduos de grevêlea depositados sobre o solo possuem alto teor de lignina e polifenóis, o que poderia contribuir para uma lenta taxa de decomposição dos resíduos pelos microrganismos (NYBERG e outros, 2002).

Interessante observar que, no período úmido, comparado ao seco, houve aumento dos valores de CBM em CE1 e PS, sugerindo que a maior precipitação de chuva e aumento do teor de umidade do solo são fatores importantes para o crescimento da microbiota do solo desses sistemas. O incremento considerável de CBM em PS, no período chuvoso, em relação ao seco pode ser explicado pelo favorecimento da umidade do solo no desenvolvimento da gramínea (*Brachiaria decumbens*), cujo sistema radicular fasciculado permite maior entrada de carbono no solo, via rizosfera e necromassa, que atuam na ativação da microbiota do solo (CARNEIRO e outros, 2009b).

É importante, porém, ressaltar que menores valores de CBM, como os observados durante o período úmido em MN em relação à CCG, não necessariamente significam condições indesejáveis, desde que a perda relativa de carbono via respiração seja mantida baixa, e que o acúmulo de carbono no solo ocorra a longo prazo (BALOTA e outros, 1998).

4.3 Quociente microbiano (qMic)

O quociente microbiano (qMic) é expresso através da razão entre as variáveis CBM e COT, refletindo, assim, a quantidade de carbono orgânico do solo imobilizado pela biomassa microbiana e a qualidade da matéria orgânica (DUARTE e outros, 2014). Durante o período seco, neste trabalho, observou-se diferença significativa ($p < 0,05$) entre os sistemas de uso do solo, sendo o menor percentual de qMic reportado em P (0,04%), seguido dos demais sistemas CE1(0,49%), MN (0,75 %); CE2(0,89 %) e CCG (1,05%). Em relação à estação úmida, também foi observada diferença significativa entre os sistemas PS (0,60%), MN (1%), CE1 (1,16%), CCG (1,81%) e CE2 (2,85%). No sistema PS, a falta de cobertura vegetal pode ter influenciado em menores percentuais (0,60%) de qMic (Tabela 3).

Jakelaitis e outros (2008) consideraram que o percentual no valor de q_{Mic} pode variar, dentro de condições normais, de 1 até 4%, e propuseram que valores menores que 1%, como verificado em PS no presente estudo, podem estar associados a interferências na atividade microbiana em decorrência de algum fator que esteja limitando esse estabelecimento e desenvolvimento dos microrganismos no solo. Considerando, ainda, que, solos que exibem valores maiores ou menores de q_{Mic} podem expressar a ocorrência, respectivamente, de acúmulo ou perda de C do solo, conforme destacado por Fialho e outros (2010), podemos inferir que, dentre os sistemas de cultivo de café, CCG é que melhor contribuiu para a manutenção do estoque de carbono no solo.

4.5 Respiração basal do solo (RBS)

Os valores de respiração basal variaram significativamente ($p < 0,05$) de $(0,14 \mu\text{g.C-CO}_2.\text{g}^{-1})$ no sistema de CE1 a $(0,57 \mu\text{g.C-CO}_2.\text{g}^{-1})$ em MN, durante o período seco. E de $(0,05 \mu\text{g.C-CO}_2.\text{g}^{-1})$ no sistema CE1 a $(1,04 \mu\text{g.C-CO}_2.\text{g}^{-1})$ em PS, no período chuvoso (Tabela 3). Entre os sistemas de cultivo de café, foi observada uma tendência de maiores valores de RBS para CE2, independente da sazonalidade. Com exceção de CE2, verificou-se diminuição da RBS nos solos cultivados com café no período chuvoso comparado ao período seco (Tabela 3).

Altas taxas de RBS indicam maior atividade microbiana e uma decomposição acelerada do material orgânico presente no solo e, conseqüentemente, mais nutrientes liberados para as plantas (MARQUES e outros, 2015). No presente trabalho, foi observado, durante o período seco, uma maior perda de carbono pela respiração no sistema MN (Tabela 3). Contudo, mesmo tendo ocorrido essa maior taxa de RBS, quando se observa os valores de CBM, percebe-se que houve uma elevada incorporação de C, a uma alta atividade

biológica, a qual está diretamente relacionada ao teor de COT no solo e à qualidade e quantidade desse material vegetal disponível.

Segundo Rosa e outros (2003), as condições de temperatura interna, umidade e aeração, possibilitadas por menores oscilações dessas variáveis no solo sob vegetação natural, podem favorecer a população microbiana. Isso ficou exemplificado neste estudo ao observar que, embora a biomassa microbiana tenha reduzido no período chuvoso, a RBS se manteve similar à registrada no período seco, o que sugere a presença de uma microbiota dinâmica e pouco susceptível às variações de condições edafoclimáticas.

É interessante observar que, em CCG, a respiração basal diminuiu do período seco para o chuvoso, acompanhando a mesma tendência de redução da biomassa microbiana, mas o mesmo não foi verificado em CE2 e CE1 (Tabela 3). É importante ressaltar que elevados valores de respiração nem sempre indicam condições desejáveis, uma vez que alta taxa de respiração pode significar, em curto prazo, liberação de nutrientes para as plantas e, em longo prazo, perda de carbono orgânico do solo para a atmosfera (PARKIN; DORAN; FRANCOPIVIZCAÍNO, 1996).

Dessa forma, torna-se importante a determinação do quociente metabólico, qCO_2 (relação entre a quantidade de CO_2 produzido por unidade de C da biomassa microbiana e por unidade de tempo), como componente relevante na avaliação dos efeitos ambientais e antropogênicos sobre a atividade microbiana no solo (D'ANDRÉA e outros, 2002).

A atividade desses microrganismos é influenciada especialmente pelas variações sazonais de temperatura e umidade, pelo manejo e cultivo do solo, e pelos resíduos vegetais. No presente estudo, maiores taxas de RSB foram registradas em MN, PS e CE2, independente da sazonalidade.

Pode-se observar, ainda, que a RBS no sistema MN foi maior durante a estação seca, provavelmente, por se tratar de um ecossistema mais equilibrado,

que possui um maior aporte de serapilheira depositada sobre o solo e maior diversidade vegetal, o que pode ter favorecido o acúmulo de COT no solo (Tabela 3) e, conseqüentemente, ter aumentado a atividade metabólica da comunidade microbiana, resultando em maior RBS.

O maior valor de RBS, durante o período chuvoso em PS, pode estar relacionado à quantidade de biomassa produzida pelas gramíneas; ao amplo desenvolvimento do sistema radicular, que promove maior aeração, oxigenação e liberação de exsudatos no solo; e à deposição de excretas pelos animais em pastoreio (KLUTHCOUSKI; AIDAR, 2003). Salto; Tomazi (2014), estudando sistemas radiculares de plantas e sua interferência sobre a qualidade do solo, observaram que o sistema radicular das braquiárias liberam constantemente exsudatos, entretanto, esse efeito é ainda maior quando a braquiária é pastejada, pois a remoção da parte aérea da planta ativa a liberação de exsudatos pelas raízes e, conseqüentemente, favorece a atividade microbiana no solo. Mazzeto e outros (2016) também observaram maiores valores de RBS em áreas de pastagem, comparadas às áreas agrícolas e de mata nativa, assim como neste estudo.

Os menores valores de RBS encontrados nos sistemas de café CE1 e CCG estão de acordo com o esperado para áreas agrícolas (NUNES e outros, 2009; MAZZETO e outros, 2016; GUIMARAES e outros, 2017), já que a maior liberação de CO₂ geralmente está relacionada à maior atividade biológica, e como se sabe a intervenção antrópica presente nos sistemas agrícolas modificam o equilíbrio dinâmico da emissão de CO₂, assim como a deposição de material vegetal sobre o solo.

4.6. Quociente metabólico

O quociente metabólico (qCO_2) expressa a evolução de CO_2 do solo por unidade de carbono da biomassa microbiana em função tempo (GONÇALVES e outros, 2019).

Durante o período seco, os maiores valores de qCO_2 foram verificados nos sistemas PS ($8,95 \mu g C-CO_2 \mu g^{-1}C-BMS h^{-1}$) e MN ($1,37 \mu g^{-1}C-BMS h^{-1}$), os quais foram significativamente iguais ($p>0,05$). Os sistemas CCG ($1,20 \mu g^{-1}C-BMS h^{-1}$), CE2 ($0,92 \mu g^{-1}C-BMS h^{-1}$) e CE1 ($0,93 \mu g^{-1}C-BMS h^{-1}$) foram estaticamente iguais ($p>0,05$). No período úmido, foi observada diferença significativa ($p<0,05$) entre os tratamentos, sendo que, em PS, permaneceu o maior valor de qCO_2 ($4,25 \mu g^{-1}C-BMS h^{-1}$). Os valores de qCO_2 nos sistemas CE2 ($2,9 \mu g^{-1}C-BMS h^{-1}$) e MN ($2,07 \mu g^{-1}C-BMS h^{-1}$) não diferiram estatisticamente entre si, e foram maiores ($p<0,05$) que os registrados nos sistemas CE1 ($0,15 \mu g^{-1}C-BMS h^{-1}$) e CCG ($0,39 \mu g^{-1}C-BMS h^{-1}$), que também não diferiram entre si (Tabela 3).

O alto valor de qCO_2 verificado em PS, independente da sazonalidade, indica que, nesse sistema, esteja ocorrendo maior gasto de energia para manutenção da comunidade microbiana do solo, ou seja, a população presente está oxidando possivelmente carbono de suas próprias células para se manterem vivas, devido a alguma situação de desequilíbrio (DADALTO e outros, 2015; BALOTA, 2017). Enquanto que em MN, o valor de qCO_2 registrado no período seco ($1,37 \mu g^{-1}C-BMS h^{-1}$) pode estar relacionado às comunidades microbianas que apresentam alta relação de biomassa ativa a dormente (ANDERSON, 2003).

Dentre os sistemas de cultivo do café, CCG apresentou baixos valores de qCO_2 , tanto no período seco como no chuvoso, o que permite deduzir que, em solos sob esse tipo de manejo, ocorra uma biomassa mais eficiente, contribuindo para que menos C seja perdido como CO_2 pela respiração e uma fração significativa seja incorporada ao tecido microbiano e, portanto, mais próximo do estado de equilíbrio.

4.7. Atividade enzimática

A atividade enzimática do solo possui características que se relacionam com a matéria orgânica, com as propriedades físicas e com a atividade e biomassa microbiana. Além disso, a atividade enzimática pode ser utilizada como medida de atividade microbiana, permitindo informações quanto ao potencial bioquímico e sobre a manipulação do solo, revelando, conseqüentemente, mudanças nas funções-chave do solo (ARAÚJO; MONTEIRO, 2007).

Durante a estação seca, houve uma tendência de menores valores da atividade de urease em função do uso do solo, sendo o maior valor associado ao sistema P (18,36 $\mu\text{g NH}_4\text{-N g de solo seco}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$) e menor valor ao sistema CE2 (4,49 $\mu\text{g NH}_4\text{-N g de solo seco}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$) (Tabela 4).

Tabela 4 – Níveis das enzimas: Urease ($\mu\text{g NH}_4\text{-N g de solo seco}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$), Fosfatase ácida- FAC ($\mu\text{g.g solo seco}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$) e Hidrólise do diacetato de fluoresceína –FDA ($\text{mg F g solo seco}^{-1} \text{ dia}^{-1}$) em diferentes sistemas de cultivo do cafeeiro, pastagem e mata nativa. Barra do Choça, BA, junho de 2018

Período Seco			
Sistema de Manejo	UREASE ($\mu\text{g NH}_4\text{-N g de solo seco}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$)	FAC ($\mu\text{g.g solo seco}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$)	FDA ($\text{mg F g solo seco}^{-1} \text{ dia}^{-1}$)
CE1	6,18 bc	2924,90 c	465,55 c
CCG	10,87 b	3390,03 c	550,81 c
CE2	4,49 c	4349,32 b	501,48 c
PS	18,36 a	4405,91 b	879,69 a
MN	10,70 b	6566,55 a	698,79 b
CV (%)	22,48	6,83	6,73
Período úmido			
CE1	15,96 ab	2722,36 c	604,88 a
CCG	16,00 a	3921,62 ab	510,75 a
CE2	4,65 d	3284,52 bc	519,58 a
PS	10,75 bc	4700,38 a	560, 52 a
MN	10,54 c	4254,19 a	501,56 a
CV (%)	16,82	9,12	11,48

Médias seguidas da mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. CE1: Café a pleno sol com espaçamento 2,50 x 0,50 m; CCG: Café consorciado com grevilea; CE2: Café a pleno sol com espaçamento 1,70 x 0,70 m; PS- Pastagem; MN-Mata Nativa.

Provavelmente, a soma de fatores, como restos vegetais da *Brachiaria brizantha*, que possui alta relação C/N e a constante adição de material orgânico advindo das excretas do gado que pasteja na área, tenha estimulado o aumento da população dos microrganismos e da atividade de enzimas envolvidas na decomposição da matéria orgânica no solo. De acordo com Lanna e outros (2010), uma maior atividade de urease no solo pode estar também relacionada ao sistema radicular das plantas presentes e a sua rizodeposição de exsudatos no solo.

Os sistemas MN (10,70 $\mu\text{g NH}_4\text{-N g de solo seco}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$), CCG (10,87 $\mu\text{g NH}_4\text{-N g de solo seco}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$) e CE1 (6,18 $\mu\text{g NH}_4\text{-N g de solo seco}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$) não diferiram estaticamente ($p>0,05$) entre si. Assim como CE1 (6,18 $\mu\text{g NH}_4\text{-N g de solo seco}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$) e CE2 (4,49 $\mu\text{g NH}_4\text{-N g de solo seco}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$) foram estaticamente ($p>0,05$) iguais (Tabela 4).

Durante a estação chuvosa, houve uma alteração no comportamento da atividade de urease no solo, no qual os sistemas agrícolas CE1 (15,96 $\mu\text{g NH}_4\text{-N g de solo seco}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$) e CCG (16,0 $\mu\text{g NH}_4\text{-N g de solo seco}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$) tiveram um incremento de 158% em CE1 e 147% no sistema CCG em relação ao período seco.

Maiores valores de atividade de fosfatase ácida foram observados em solo MN (6566,55 e 4254,19 $\mu\text{g.g solo seco}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$) em ambas as épocas, seca e úmida, respectivamente. Durante o período seco, os sistemas PS (4405 $\mu\text{g.g solo seco}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$) e CE2 (4349,32 $\mu\text{g.g solo seco}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$) foram significativamente iguais, assim como CE1 (2924,90 $\mu\text{g.g solo seco}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$) e CCG (3390,03 $\mu\text{g.g solo seco}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$), que não diferiram estaticamente ($p> 0,05$) (Tabela 4).

No período úmido, os sistemas MN (4254,19 $\mu\text{g.g solo seco}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$), PS (4700,38 $\mu\text{g.g solo seco}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$) e CCG (3921,62 $\mu\text{g.g solo seco}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$) tiveram os maiores valores de atividade de fosfatase ácida e foram estaticamente ($p> 0,05$) iguais. Os sistemas CE2 (3284,52 $\mu\text{g.g solo seco}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$) e CE1 (2722,36 $\mu\text{g.g solo$

seco⁻¹.h⁻¹) tiveram os menores valores e foram estaticamente iguais ($p > 0,05$) (Tabela 4). Esses resultados corroboram os encontrados por Nunes e outros (2009) que, estudando áreas de café e matas secundárias com diferentes idades (C16 – Café com 16 anos; C22- Café com 22 anos, M30- Mata com 30 anos e M40 – Mata com 40 anos), constataram maiores teores da enzima fosfatase ácida nas áreas de mata. Evangelista e outros (2012) também observaram maiores valores de atividade da fosfatase ácida na área nativa de Cerrado em comparação aos sistemas de produção convencional e orgânico de cana-de-açúcar.

Pode-se observar no presente trabalho uma certa tendência de maiores valores de atividade de fosfatase ácida nos solos que possuem um maior teor de COT (Tabela 3), assim como aqueles que possuem baixo teor de fósforo no solo (Tabela 1), como CE2, PS e MN, demonstrando que a menor disponibilidade de fósforo no solo aumenta a dependência do sistema em relação à ciclagem de P orgânico realizada pela atividade da fosfatase ácida, resultando em maiores valores da atividade da enzima, como observado nos sistemas PS e MN (TARAFDAR; JUNGK, 1987).

Segundo Silva e outros (2012), os solos têm sua atividade enzimática aumentada em ambientes preservados, em relação aos submetidos a condições de estresse.

Evangelista e outros (2012), em áreas de produção de cana-de-açúcar orgânico e convencional, observaram um aumento da atividade da fosfatase ácida nas áreas de produção orgânica comparadas ao sistema convencional, correlacionando tal fato ao maior teor de COT no sistema de produção orgânico. Silva e outros (2010), estudando diferentes sistemas de manejo de solos agrícolas e cerrado em Minas Gerais, também comprovaram a influência do teor de carbono orgânico no solo sobre o aumento na atividade enzimática.

Durante a estação seca, houve uma tendência de menores valores da atividade de urease em função do uso do solo, sendo o maior valor associado ao

sistema PS ($18,36 \mu\text{g NH}_4\text{-N g de solo seco}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$) e menor valor ao sistema CE2 ($4,49 \mu\text{g NH}_4\text{-N g de solo seco}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$) (Tabela 4).

A atividade de FDA, no período seco, não foi capaz de separar os sistemas de manejo de café CCG ($550,81 \text{ mg F g solo seco}^{-1} \text{ dia}^{-1}$), CE2 ($501,48 \text{ mg F g solo seco}^{-1} \text{ dia}^{-1}$) e CE1 ($455,55 \text{ mg F g solo seco}^{-1} \text{ dia}^{-1}$), que tiveram os menores valores de FDA, e foram significativamente ($p > 0,05$) iguais (Tabela 4). O sistema PS ($879,7 \text{ mg F g solo seco}^{-1} \text{ dia}^{-1}$) teve o maior valor de FDA, sendo estaticamente ($p < 0,05$) diferente de todos os demais sistemas. MN ($698,79 \text{ mg F g solo seco}^{-1} \text{ dia}^{-1}$) ficou com valor intermediário entre os sistemas de café e pastagem, sendo também significativamente ($p < 0,05$) diferente dos sistemas CE1, CCG, CE2 e PS.

Durante o período úmido, não foi possível observar diferença estatística na a atividade de FDA para os diferentes sistemas estudados, sendo que houve uma variação de $501,56$ a $604,88 \text{ mg F g solo seco}^{-1} \text{ dia}^{-1}$.

Segundo Souza e outros (2017), os maiores valores de FDA no sistema PS podem ser justificados pelos maiores valores na taxa de RBS (Tabela 3), que podem ter desencadeado um aumento na atividade enzimática FDA em decorrência de estresse advindo de distúrbios ambientais.

Em geral, independentemente da enzima avaliada, as atividades mais altas ocorreram, na maioria das vezes, nos sistemas PS, MN e CCG. Por outro lado, as atividades mais baixas foram observadas no sistema CE1.

4.8 População de fungos e bactérias totais do solo

Durante a estação seca, pode-se observar que os sistemas PS ($2,8 \times 10^4 \text{ UFC g}^{-1}$) e MN ($2,8 \times 10^4 \text{ UFC g}^{-1}$) tiveram maior quantidade de fungos em relação aos demais sistemas. CE1 teve menor valor ($2,1 \times 10^4 \text{ UFC g}^{-1}$) de fungos, sendo estaticamente ($p > 0,05$) igual a CCG e CE2, e estaticamente ($p < 0,05$) diferente de P e MN. Os sistemas CCG ($19 \times 10^4 \times 10^4 \text{ UFC g}^{-1}$) e MN ($18,1 \times 10^4 \text{ UFC g}^{-1}$)

tiveram as maiores quantidades de UFC de bactérias, diferindo-se estaticamente ($P < 0,05$) dos sistemas CE1 ($8,3 \times 10^4$ UFC g^{-1}), CE2 ($8,8 \times 10^4$ UFC g^{-1}) e PS ($9,7 \times 10^4$ UFC g^{-1}) (Figura 4).

Durante o período úmido, CCG ($3,6 \times 10^4$ UFC g^{-1}), CE20 ($3,6 \times 10^4$ UFC g^{-1}) e MN ($5,10$ UFC g^{-1}) tiveram maiores quantidades de fungos totais do solo, não havendo diferença significativa ($p > 0,05$) entre esses sistemas (Figura 5). Assim como não houve diferença significativa ($p > 0,05$) entre os sistemas de café CE1, CCG e CE2. Já para a quantidade de bactérias do solo no período úmido, PS, MN e CCG tiveram as maiores quantidade de bactéria; e os sistemas CE1 e CE2 os menores valores.

O número de unidades formadoras de colônia por grama de solo (UFC g^{-1}) teve variação entre os sistemas e os períodos de coleta, sendo verificado maior número de bactérias em relação ao de fungos, para todos os sistemas, durante os períodos seco e úmido. De acordo com Jensen (1974), uma alta proporção de bactérias em relação a fungos no solo pode ser um indicativo de disponibilidade de compostos mais fáceis de serem degradados, visto que populações de bactérias são mais abundantes em áreas com maiores teores de material orgânico. Tal afirmação pode ser constatada no presente trabalho, onde as áreas CCG e MN tiveram os maiores valores de UFC ($19,0 \times 10^4$ e $18,1 \times 10^4$) de bactérias.

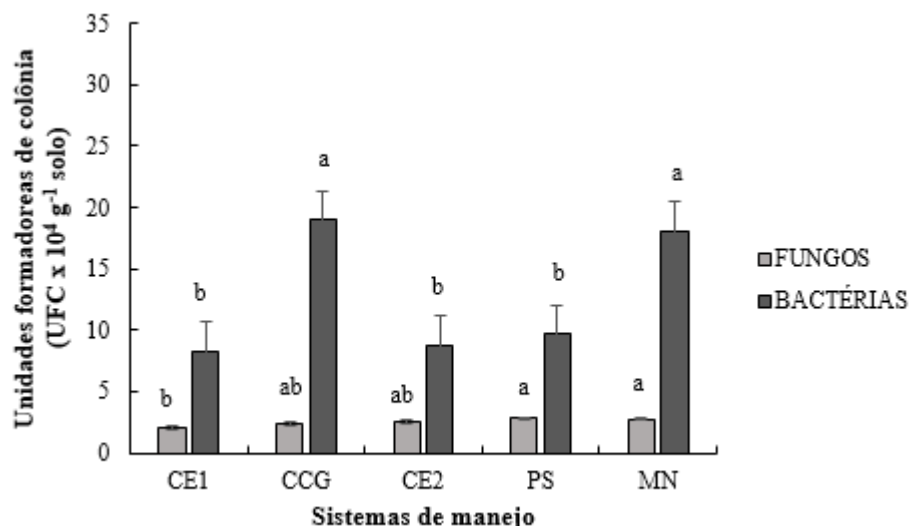


Figura 4 – Número de unidades formadoras de colônia (UFC) de fungos e bactérias totais em solos sob diferentes manejos de café, Pastagem e Mata Nativa, durante uma estação seca. Média seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade entre os sistemas de manejo. Barras verticais representam o desvio padrão da média.

Segundo Perez e outros (2004), as condições de áreas de mata nativa, por haver maior diversidade na deposição de resíduos orgânicos, maior quantidade de raízes e maior retenção de umidade no solo, acabam por estimular a comunidade microbiana do solo. E o café consorciado com grevilea- CCG acaba tendo a mesma função na deposição de material vegetal sobre o solo.

As figuras (4 e 5) mostram que a população de bactérias foi relativamente maior do que a população de fungos, porém, a mesma apresenta maior variação entre os períodos (seco e úmido) de amostragem. Segundo Melloni e outros (2018), os fatores, como pH do solo, temperatura e umidade, podem influenciar na densidade da microbiota do solo, pois são sensíveis a variações no ambiente. Dessa forma, pode-se inferir que as populações de bactérias podem ser mais

sensíveis às alterações ambientais, se comparadas com a população de fungos que se mantiveram bem estáveis durante a distintas épocas (seca e úmida).

De forma geral, maiores valores da população de fungos e bactérias do solo foram observados no período úmido. Tal resultado corrobora com os encontrados por Rodrigues e outros (2011) e Sales e outros (2008), os quais compararam a quantidade de UFC de bactérias e fungos em diferentes períodos sazonais (seco e úmido) e encontraram um número maior de UFC no período chuvoso.

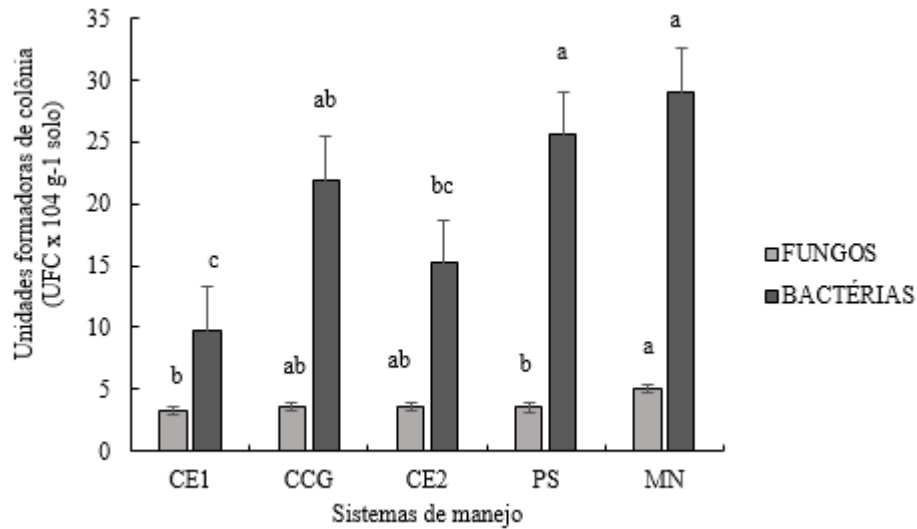


Figura 5 – Número de unidades formadoras de colônia (UFC) de fungos e bactérias totais em solos sob diferentes manejos de café, Pastagem e Mata Nativa, durante a estação úmida. Média seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade entre os sistemas de manejo. Barras verticais representam o desvio padrão da média.

4.9 Análise de componentes principais

O resultado da análise de componentes principais (PCA) gerou dois componentes principais para a coleta no período seco, que representam 89,03% da variabilidade total dos dados, sendo que o Componente Principal 1 explicou 48,29% e o Componente Principal 2 explicou 40,77% da variabilidade total dos dados (Figuras 6 e 7). Observou-se que a análise de PCA permitiu a separação entre os sistemas de café, pastagem e mata nativa quanto aos atributos microbiológicos do solo (Figura 6).

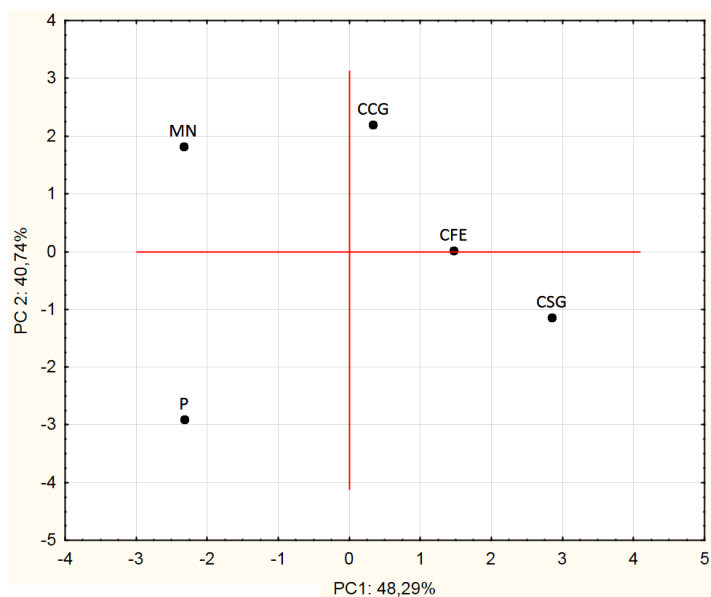


Figura 6

Análise de componentes principais dos sistemas de manejo, durante o período seco. CE1: Café a pleno sol com espaçamento 2,50 x 0,50 m; CCG: Café consorciado com grevília; CE2: Café a pleno sol com espaçamento 1,70 x 0,70 m; PS: Pastagem; MN: Mata Nativa.

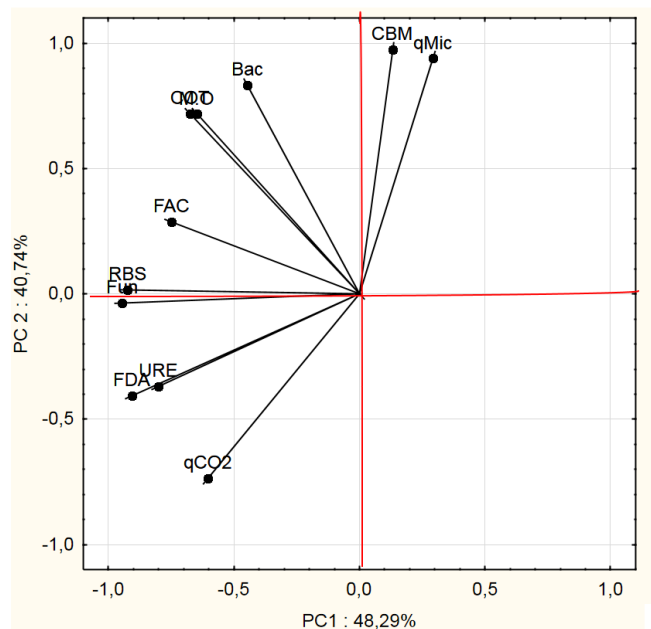


Figura 7 – Análise de componentes principais dos indicadores microbiológicos nos diferentes sistemas, durante o período seco. CE1: Café a pleno sol com espaçamento 2,50 x 0,50 m; CCG: Café consorciado com grevêlea; CE2: Café a pleno sol com espaçamento 1,70 x 0,70 m; PS: Pastagem; MN: Mata Nativa; RBS: Respiração basal do solo; COT: carbono orgânico total do solo; CBM: carbono da biomassa microbiana; qCO₂: quociente metabólico do solo; qMic: quociente microbiano; URE: Enzima urease; FDA: Enzima hidrólise do diacetato de Fluorescína; FAC: Fosfatase ácida; Fun: População de fungos totais do solo; Bac: População de bactérias totais do solo.

O sistema MN agrupou a maioria dos parâmetros biológicos Bac, COT, RBS, FAC e M.O.S, apresentando um comportamento oposto aos demais sistemas. Esse resultado indica que o sistema MN possui uma condição mais favorável à microbiota do solo, provavelmente, pelo fato de promover um maior aporte de material orgânico depositado sobre o solo, diversidade vegetal e graus diferentes de suscetibilidade de decomposição (SILVA e outros, 2013). Logo, tal resultado reafirma a ocorrência de um maior equilíbrio nos sistemas.

O sistema P apresentou associação positiva com os atributos URE, FDA e qCO_2 (Figura 7), sendo que a correlação positiva entre o sistema PS e qCO_2 pode está indicando que esse ambiente está sob alguma condição de estresse para a população microbiológicas do solo, induzindo os microrganismo que ali vivem a consumirem uma maior quantidade de matéria orgânica como fonte de carbono, o que consequentemente reflete no equilíbrio do processo de ciclagem de nutrientes do solo (PAREDES JUNIOR e outros, 2014). De fato, estudos conduzidos em sistemas sob pastagem para bovinos têm mostrado valores de qCO_2 elevados (ARAUJO e outros, 2008; SOUZA e outros, 2010).

Os sistemas CCG e CE2 ficaram agrupados (Figura 6), mostrando serem sistemas semelhantes quanto ao CBM e $qMic$ (Figura 7). Isso é um indicativo de que esses sistemas agrícolas, mesmo passando por ações antrópicas, ainda assim, conseguem manter condições favoráveis ao estabelecimento da microbiota do solo.

Durante o período úmido, a análise de componentes principais (PCA) gerou dois componentes, que representam 75,13% a variabilidade total dos dados, em que o Componente Principal 1 explicou 49,88% e o Componente Principal 2 explicou 25,15% da variabilidade total dos dados (Figuras 8 e 9).

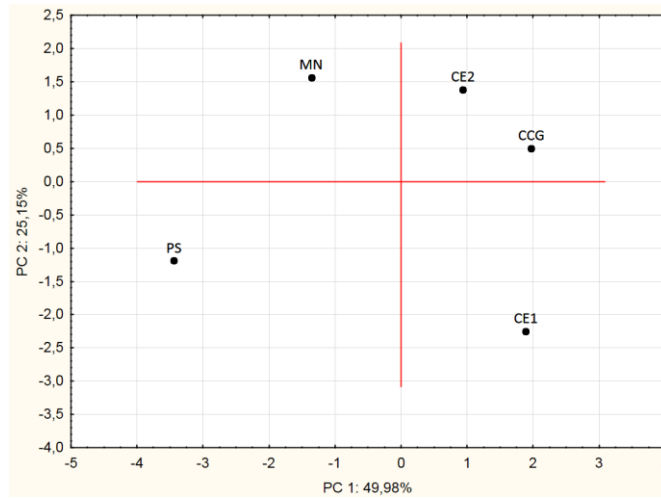


Figura 8 – Análise de componentes principais dos sistemas de manejo, durante o período úmido. CE1: Café a pleno sol com espaçamento 2,50 x 0,50 m; CCG: Café consorciado com grevilea; CE2: Café a pleno sol com espaçamento 1,70 x 0,70 m; PS: Pastagem; MN: Mata Nativa.

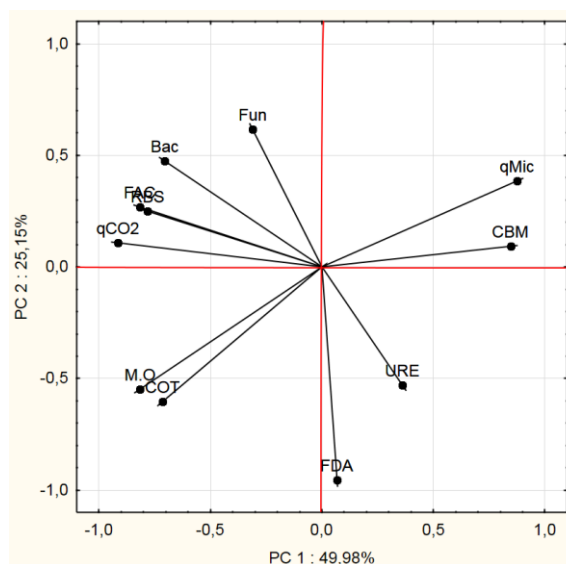


Figura 9 – Análise de componentes principais dos indicadores microbiológicos nos diferentes sistemas, durante o período úmido. CE1: Café a pleno sol com espaçamento 2,50 x 0,50 m; CCG: Café consorciado com grevêlea; CE2: Café a pleno sol com espaçamento 1,70 x 0,70 m; PS: Pastagem; MN: Mata Nativa; RBS: Respiração basal do solo; COT: carbono orgânico total do solo; CBM: carbono da biomassa microbiana; qCO₂: quociente metabólico do solo; qMic: quociente microbiano; URE: Enzima urease; FDA: Enzima hidrólise do diacetato de Fluorescína; FAC: Fosfatase ácida; Fun: População de fungos totais do solo; Bac: População de bactérias totais do solo.

No período úmido, os sistemas agrícolas CCG e CE2 permaneceram correlacionados positivamente com CBM e qMic% (Figura 9), assim como na estação seca, a área de MN permaneceu agrupando a maioria dos parâmetros microbiológicos, porém, a associação ocorreu com atributos biológicos diferentes (Fung, Bac, qCO₂, RBS e FAC) (Figura 7). Esse resultado indica que o sistema MN continua sendo o sistema que proporciona condições mais favoráveis ao estabelecimento dos microrganismos no solo (SILVA e outros, 2013); e os valores de RBS e qCO₂, observados no período úmido, indicam que a biomassa microbiana ali presente estaria atuando na decomposição de material vegetal do solo e imobilizando os nutrientes na sua biomassa e outra parte no solo.

No período úmido, verificou-se que PS se associou positivamente a M.O.S e COT, e que CE1 se associou positivamente com os indicadores URE e FDA, diferentemente do observado na estação seca (Figura 9). Essa associação positiva do sistema CE1 com as enzimas URE e FDA pode está indicando que o período chuvoso estimula o aumento de diversidade e atividade dos microrganismos (LANNA e outros, 2010).

5 CONCLUSÕES

As propriedades microbiológicas do solo foram influenciadas pelas condições edafoclimáticas e de manejo, sendo observada, em geral, maior atividade microbiana ao final da época chuvosa, quando as condições de umidade favorecem maior decomposição dos resíduos.

Dentre os sistemas de cultivo de café estudados, aquele com manejo envolvendo consórcio do café com grevilea (CCG) foi o que proporcionou maior teor de carbono orgânico no solo (COT), maior taxa de CBM, maior atividade das enzimas fosfatase ácida, FDA e Urease. Isso mostra que a prática de manejo de café em consórcio com grevilea influenciou positivamente a biomassa e a atividade dos microrganismos no solo.

Os sistemas de cultivo de café não se diferenciaram em relação às quantificações de qCO_2 , no período seco, e FDA, em ambos os períodos.

Os menores teores de carbono orgânico, biomassa microbiana, assim como a menor atividade enzimática, foram observados nos sistemas CE1 e CE2, e podem estar relacionados com a maior susceptibilidade às perdas dos compostos orgânicos nesses sistemas.

Os indicadores de qualidade do solo avaliados neste estudo permitiram, de forma geral, detectar efeitos do uso da terra sobre as propriedades biológicas do solo.

REFERÊNCIAS

- ALEF, K.; ANNIPIERI, P. *Methods in applied soil microbiology and biochemistry*. London, **Academic Press**, 1995. 576p.
- ALVES, T. S.; CAMPOS, L. L.; ELIAS NETO, N.; MATSUOKA, M.; LOUREIRO, M. F. Biomassa e atividade microbiana de solo sob vegetação nativa e diferentes sistemas de manejos. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 33, p. 341-347, 2011.
- ANDERSON, J. P. E.; DOMSCH, K. H. The metabolic quotient of CO₂ (q CO₂) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental condition, such as pH, on the microbial of forest soil. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 25, n. 3, p. 393-395, 1993.
- ANDERSON, T. H. Microbial eco-physiological indicators to assess soil quality. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v. 98, n. 1-3, p. 285-293, 2003.
- ARAÚJO, A. S. F.; CESARZ, S.; LEITE, L. F. C.; BORGES, C. D.; TSAI, S. M.; EISENHAEUER, N. Soil microbial properties and temporal stability in degraded and 65 restored lands of Northeast Brazil. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 66, p. 175- 181, 2013.
- ARAÚJO, E. A.; KER, J. C.; NEVES, J. C. L.; LANI, J.L. Qualidade do solo: conceitos, indicadores e avaliação. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas ciências Agrárias**, Guarapuava, v.5, n.1, p. 187-206, 2012.
- ARAÚJO, A.S.F; MONTEIRO, R.T.R. Indicadores biológicos de qualidade do solo. **Bioscience Journal**, v.23. n.3, p.66-75, 2007.
- AZEVEDO JUNIOR, R.R., SANTOS, J.B., BARETTA, D., RAMOS, A.C.; CARDOSO, E.J.B.N. Chemical and microbiological soil properties in organic and conventional management systems of Coffea arabica L. **Journal of plant Nutrition**, v. 40, p. 2076-2086, 2017.
- BALOTA E. L.; MACHINESKI, O.; HAMID, K.I.A.; YADA, I.F.U.; BARBOSA, G.M.C.; NAKATANI, A.S.; COYNE, M.S. Soil microbial properties after long-term swine slurry application to conventional and no-tillage systems in Brazil. **Sci Total Environ**. V.490, p. 397-404, 2014.
- BALOTA, E. L. **Manejo e qualidade biológica do solo**. Mecenas. 288 p. ISBN 978-85-89687-28-7, 2017.
- BALOTA, E.L.; COLOZZI-FILHO, A.; ANDRADE, D.S.; HUNGRIA, M. Biomassa microbiana e sua atividade em solos sob diferentes sistemas de

preparo e sucessão de culturas. **Revista Brasileira Ciências do Solo**, 22:641-649, 1998.

BARRETO, A.C.; LIMA, F.H.S.; FREIRE, M.B.G.S.; ARAÚJO, Q.R.; FREIRE, F.J. Características químicas e físicas de um solo sob floresta, sistema agroflorestal e pastagem no sul da Bahia. **Caatinga**, v. 19, p.415-425, 2006.

BATISTA, T.T.E.; NÓBREGA, M.P.; JÚNIOR, A.L.A. MOREIRA, P.M.S.M.; MARACAJÁ, P.B. Indicadores de qualidade do solo em agroecossistema. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental GVAA –Grupo verde de Agroecologia e Abelhas**, Pombal, v. 7, n. 1, p. 102-129, 2013.

BEER, J. Advantages, disadvantages and desirable characteristics of shade trees for coffee, cacao and tea. **Agroforestry Systems**, n.5, p.3-13, 1998.

BERNARDES, M.S.; KHATOUNIAN, C.A. Cafeicultura a pleno sol supera o vantajoso sistema agroflorestal. **Revista visão agrícola**, v.1, n.12, p.85-87, 2013.

BOWLES, T.; COSTA-MARTÍNEZ, V.; CALDERÓN, F.; JACKSON, L. E. Soil enzyme activities, microbial communities, and carbon and nitrogen availability in organic agroecosystems across an intensively-managed agricultural landscape. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 68, p. 252- 262, 2014.

BROOKES, P.C. The use of microbial parameters in monitoring soil pollution by heavy metals. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 19, p. 269-279, 1995.

BURNS, R.G. Enzyme activity in soil: location and a possible role in microbial ecology. **Soil Biology and Biochemistry**, v.14, n.3, p.423-427, 1982.

CARDOSO, E. J. B. N.; FREITAS, S. S. A Rizosfera. In: CARDOSO, E. J. B. N.; TSAI, S. M.; NEVES, M. C. P., (Ed.). *Microbiologia dos Solos*. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1992. p. 41-58.

CARDOSO, E. L.; SILVA, M. L. N.; SILVA, C. A.; CURTI, N.; FREITAS, D. A. F. de. Estoques de carbono e nitrogênio em solo sob florestas nativas e pastagens no bioma Pantanal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 9, p.1028-1035, 2010.

CARNEIRO, M. A. C.; ASSIS, P. C. R.; MELO, L. B. C.; PEREIRA, H. S.; PAULINO, H. B.; NETO, A. N. S. Atributos bioquímicos em dois solos de Cerrado sob diferentes sistemas de manejo e uso. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 38, p. 276-283, 2009a.

CARNEIRO, M.A.C.; SOUZA, E.D.; REIS, E.F.; PEREIRA, H.S.; AZEVEDO, W.R. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes

sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 33:147-157, 2009b.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB).

Acompanhamento da Safra Brasileira: Café Safra 2019 Segundo

Levantamento, v. 5, n. 2, 65p. 2019. Disponível em:

file:///E:/Downloads/BoletimZCafZmaioZ2019_1.pdf. Acesso em: 10 ago. 2019.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB).

Acompanhamento da safra brasileira de café, Safra 2018: quarto

levantamento. V. 5, n. 4, p.1-84. 2018. Disponível em:

<http://www.sapc.embrapa.br/arquivos/consorcio/levantamento/conab_safra2018_n4.pdf>. Acesso em: 10 ago. 2019.

COTTA, S. R., CAVALCANTE, F. D. A., SELDIN, L., ANDREOTE, F. D., VAN ELSAS, J. D. (2016) The diversity and abundance of phytase genes (β -propeller phytases) in bacterial communities of the maize rhizosphere. **Letters in Applied Microbiology**, v. 62, n. 3, p. 264-268.

CUNHA, F.V.; CORREIA, M.E.F.; PEREIRA, G.H.A.; PEREIRA, M.G.; LELES, P.S.S. Soil fauna as an indicator of soil quality in forest stands, pasture and secondary forest. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, n.5, p.1407-1417,2012.

CUNHA, R. L.; NÓBREGA, J.C.; NOGUEIRA, M.I.; CARVALHO, V.L.; NÓBREGA, R.N. Biomassa e atividade microbiana em Latossolo Vermelho Distroférico sob cafeeiro em sistema convencional e orgânico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 2005, Guarapari. 31. 2005, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: MAPA/SARC/ PROCAFÉ, p. 366-367, 2005.

DADALTO, J. P.; FERNANDES, H. C.; TEIXEIRA, M. M.; CECON, P. R.; MATOS, A.T. de. Sistema de preparo do solo e sua influência na atividade microbiana. **Engenharia Agrícola**, v. 35, n. 3, p.506-513, 2015.

DIACK, M. **Relationships between soil biological and chemical characteristics and surface soil structural properties for use in soil quality**. Purdue: Purdue University, p. 220, 1997. (Tese de Doutorado).

DICK, R. P.; BREAKWELL, D. P.; TURCO, R. F. Soil enzyme activities and biodiversity measurements as integrative microbiological indicators. In: DORAN, J. W.; JONES, A. J., (eds) Methods of assessing soil quality. **Soil Science Society of America**, Madison, WI, p. 247 -271, 1996.

DUARTE, I. B.; GALLO, A.S.; GOMES, M.S.; GUIMARÃES, N.F.; ROCHA, D. P.; SILVA, R. F. Plantas de cobertura e seus efeitos na biomassa microbiana do solo. **Acta Iguazu**, v.3, n.2, p. 150-165, 2014.

DUTRA NETO, C. **Café e Desenvolvimento Sustentável**. 1º Edição. Vitória da Conquista, Bahia. 2004. INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL. Indicação Geográfica. Disponível em: <http://www.inpi.gov.br/portal/artigo/guia_basico_indicacao_geografica>. Acesso em: 30 Jun. 2019.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solo. 2.ed. Rio de Janeiro, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212p.

EVANGELISTA, C.R.; PARTELLI, F.L.; FERREIRA, E.P.B.; CORRECHEL, V. Atividade enzimática do solo sob sistema de produção orgânica e convencional na cultura da cana-de-açúcar em Goiás. Semina: **Ciências Agrárias**. v.33, p.1251-62, 2012.

FAZUOLI, L. C. Genética e melhoramento do cafeeiro. In: RENA, A. B.; MALAVOLTA, E.; ROCHA, N.; YAMADA, J. **Cultura do cafeeiro**: fatores que afetam a produtividade do cafeeiro. Piracicaba: POTAFOS, 1986. p.87-113.

FERNANDES, T. J. G. F.; SOARES, C. P. B.; JACOVINE, L. A. G.; ALVARENGA, A. P. Quantificação do carbono estocado na parte aérea e raízes de *Hevea* sp., aos 12 anos de idade, na Zona da Mata Mineira. **Revista Árvore**, v. 31, p. 657–665, 2007.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

FIALHO, C. M. T.; Silva, G.R.; Freitas, M.A.M.; França, A.C.; Melo, C.A.D.; Silva, A. A. Competição de plantas daninhas com a cultura do café em duas épocas de infestação. *Planta Daninha*, Viçosa-MG, v. 28, p. 969-978. 2010.

GÓMEZ-SAGASTI, M. T.; ALKORTA, I.; BECERRIL, J. M.; EPELDE, L.; ANZA, M.; GARBISU, C. Microbial Monitoring of the Recovery of Soil Quality During Heavy Metal Phytoremediation. **Water, Air, & Soil Pollution**, v.223, n. 6, p. 3249–3262, 2012.

GONÇALVES, V. A.; MELO, C.A.D.; ASSIS, I. R.; SARAIVA, D. T. Biomassa e atividade microbiana de solo sob diferentes sistemas de plantio e sucessões de culturas. **Revista Ciências Agrárias**, v. 62, n.1, 2019.

GUIMARÃES, N.F.; GALLO, A.S.; FONTANELLI, A.; MENEGHIN, S. P.; SOUZA, M. D. B.; MORINIGO, K. P. G.; SILVA, R. F. Biomassa e atividade microbiana do solo em diferentes sistemas de cultivo do cafeeiro. **Revista de Ciências Agrárias**, V.40, n., p. 34-44, 2017.

- HAMDOUCHE, Y.; MEILE, J.C.; NGANOU, D. N.; DURAND, N.; TEYSSIER, C.; MONTET, D. Discrimination of post-harvest coffee processing methods by microbial ecology analyses. **Food Control**. V. 65, p.112-120, 2016.
- HILL, G. T.; MITKOWSKI, N. A.; ALDRICH-WOLFE, L.; EMELE, L. R.; JURKONIE, D. D.; FICKE, A.; MALDONADO-RAMIREZ, S.; LYNCH, S. T.; NELSON, E. B. Methods for assessing the composition and diversity of soil microbial communities. **Applied soil ecology**, v. 15, n. 1, p. 25-36, 2000.
- INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa. 2017. Disponível em: Acesso em: 27 set. 2018.
- INTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Manual técnico da vegetação brasileira. 2 ed. Rio de Janeiro, 271 p, 2012.
- ISLAM, K.R.; WEILL, R.R. Land use effects on soil quality in a tropical forest ecosystem of Bangladesh. **Agricultural Ecosystems and Environment**, v.79, n.1, p.9-16, 2000.
- JAKELAITIS, A.; SILVA, A. A.; SANTOS, J. B.; VIVIAN, R. Qualidade da camada superficial de solo sob mata, pastagens e áreas cultivadas. **Pesquisa Agropecuária Tropical (UFG)**, v. 38, p. 118-127, 2008.
- JANTALIA, C. P.; RESCK, D. V. S.; ALVES, B. J. R.; ZOTARELLI, L.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Tillage effect on C stocks of a clayey Oxisol under a soybean-based crop rotation in the Brazilian Cerrado region. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 95, n. 1-2, p. 97-109, 2007.
- JENKINSON, D. S.; POWLSON, D. S. The effects of biocidal on metabolism in soil: V. Method for measuring soil biomass. **Soil Biology and Biochemistry**, v.8, n. 3, p. 209-213, 1976.
- JENSEN, V. Decomposition of angiosperm tree leaf litter. In: DICKINSON, C. H.; PUGH, G. J. F. **Biology of plant litter decomposition**. London, 1974. v. 1, p. 69 - 104.
- KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L. F.; AIDAR, H. **Integração lavoura-pecuária. Santo Antônio de Goiás: CNPAF**, 2003.
- LANNA, A. C.; SILVEIRA, P. M. DA; SILVA, M. B. DA; FERRARESI, T. M.; KLIEMANN, H. J. Atividade de urease no solo com feijoeiro influenciada pela cobertura vegetal e sistemas de plantio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p.1933-1939, 2010.
- LEITE, L. F. C.; ARRUDA, F. P.; COSTA, C. N.; FERREIRA, J. S.; HOLANDA NETO, M. R. Qualidade química do solo e dinâmica de carbono

sob monocultivo e consórcio de macaúba e pastagem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 12, p. 1257- 1263, dez. 2013.

LISBOA, B. B.; VARGAS, L. K.; SILVEIRA, A. O.; MARTINS, A. F.; SELBACH, P, A. Indicadores microbianos de qualidade do solo em diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 1, p. 45-55, 2012.

LOURENTE, E. R. P.; MERCANTE, F. M.; ALOVISI, A. M. T.; GASPARINI, A. S.; GOMES, C. F.; NUNES, C. M. Atributos microbiológicos, químicos e físicos do solo sob diferentes sistemas de manejo e condições de Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 41, p. 20-28, 2011.

LUEDELING, E.; KINDT, R.; HUTH, N.I.; KOENIG, K. Agroforestry systems in a changing climate — challenges in projecting future performance. **Current Opinion in Environmental Sustainability**. v.6, p.1–7, 2014

MANCUSO, M. A. C.; SORATO, R.P.; PERDONÁ, M. J. Produção de café sombreado. **Colloquium Agrariae**, v. 9, n.1, p. 31-44, 2013.

MARGALEF, O., SARDANS, J., FERNÁNDEZ-MARTÍNES, M., MOLOWNYHORAS, R., JANSSENS, I. A., CIAIS, P., GOLL, D., RICHTER, A., OBERSTEINER, M., ASENSIO, D., PEÑUELAS J. (2017) Global patterns of phosphatase activity in natural soils. *Scientific Reports*, v. 7.

MARQUES, J. D. O.; LUIZÃO, F. J.; TEIXEIRA, W. G.; SARRAZIN, M.; FERREIRA, S. J. F.; BELDINI, T. P.; MARQUES, E. M. A. Distribution of organic carbon in different soil fractions in ecosystems of central Amazonia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 1, p. 232-242, 2015.

MATOS, P.S.; MEIRELES, I.E.S.; MATSUMOTO, S. N.; RAMOS, P.A.S.; SILVA, T.M.; GONÇALVES, A. N.S.; VALE, E. S.; PEREIRA, L.F.; OLIVEIRA, U.S.; TEXEIRA, E. C.; GODOI, R. L.; ALVES, J. R.; GUGÉ, R. M. A.; JÚNIOR, E.M.; ALMEIDA, C.S. Caracterização do estoque de carbono para estimativa de biomassa de cafeeiros associados à grevilea . . In: XI SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, SIMPÓSIO NACIONAL DE BIOPROCESSOS, Vitória. **Anais [...]**, Vitória, 2019.

MAZZETTO, A. M.; CERRI, C. E. P.; FEIGL, B. J.; CERRI, C. C. Atividade da biomassa microbiana do solo alterada pelo uso da terra no sudoeste da Amazônia. **Bragantia**, v.75, n.1, 79-86, 2016.

MELLONI, R.; COSTA, N.R.; MELLONI, E. G.P.; LEMES, M.C.S.; ALVARENGA, M.I.N.; NETO, J.N. Sistemas agroflorestais cafeeiro-araucária e seu efeito na microbiota do solo e seus processos. **Revista Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 28, n. 2, p. 784-795 2018.

- MELO, I.S.; AZEVEDO, J.L. Como isolar microrganismos degradadores de moléculas xenobióticas. In: MELO, I.S.; AZEVEDO, J.L., eds. *Microbiologia ambiental*. Jaguariúna, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1997. p.167- 183.
- MENDES, I.C.; VIVALDI, L.A. Dinâmica da biomassa e atividade microbiana em uma área sob Mata de Galeria na região do Distrito Federal. In: RIBEIRO, J.F.; FONSECA, C.E.L.; SOUZA-SILVA, J.C. (Ed). **Cerrado: caracterização e recuperação de matas de galeria**. Planaltina: Embrapa Cerrados, p.665-687, 2001.
- MERCANTE, F. M.; SILVA, R. F.; FRANCELINO, C. S. F.; CAVALHEIRO, J. C. T.; OTSUBO, A. A. Biomassa microbiana, em um Argissolo Vermelho, em diferentes coberturas vegetais, em área cultivada com mandioca. *Acta Scientiarum Agronomy*, v. 34, p. 479-485, 2008.
- MOHAMMED, A.; JAMBO, A. Importance and Characterization of Coffee Berry Disease (*Colletotrichum kahawae*) in Borena and Guji Zones, Southern Ethiopia. *Journal of Plant Pathology e Microbiology*, v. 6, p.1-6, 2015.
- MORAIS, H.; MARUR, C.J.; CARAMORI, P.H.; RIBEIRO, A.M. de A.; GOMES, J.C. Características fisiológicas e de crescimento de cafeeiro sombreado com guandu e cultivado a pleno sol. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.38, p.1131-1137, 2003.
- MOREIRA, C.F. **Caracterização de sistemas de café orgânico sombreado e a pleno sol no sul de Minas Gerais**. 2003. 125p. Tese (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP.
- MOREIRA, F. S., SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e Bioquímica do Solo**. Editora UFLA, Lavras, MG, Brasil, p. 729, 2006.
- MOSCATELLI, M. C.; TIZIO, D.; MARINARI, A.; GREGO, S. Microbial indicators related to soil carbon in Mediterranean land use systems, *Soil and Tillage Research.*, v.97, p. 51–59, 2007.
- NELSON, D.W.; SOMMERS, L.E. Total carbon, organic carbon and organic matter. In: SPARKS, D.L.; PAGA, A.L.; HELMKE, P.A.; LOEPPERT, R.H.; SOLTANPOUR, P.N.; TABATABAI, M.A.; JOHNSTON, C.T.; SUMMER, M.E., eds. **Methods of soil analysis: Chemical methods**. Part 3. Mad.
- NIEMEYER, J.C.; LOLATA, G.B.; CARVALHO, G.M.; SILVA, E.M.; SOUSA, J.P.; NOGUEIRA, M.A. Microbial indicators of soil health as tools for ecological risk assessment of a metal contaminated site in Brazil. *Applied Soil Ecology*, v. 59, p. 96–105, 2012.

- NUNES, L. A. P. L.; DIAS, L. E.; BARROS, I. J. N. F.; KASUYA, M. C. M.; CORREIA, E. F. Impacto do monocultivo de café sobre os indicadores biológicos do solo na zona da área remanescente de Cerrado mineira. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 9, p. 2467-2474, 2009.
- NYBERG, G.; EKBLAD, A.; BURRESH, R.; HÖGBERG, P. Short term patterns of carbon and nitrogen mineralisation in a fallow field amended with green manures from agroforestry trees. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 36, n. 1, p. 18-25, 2002.
- ODUM, E. P. The strategy of ecosystems development. **Science**, v. 164, p. 262-270, 1969.
- OLIVEIRA, I. P.; OLIVEIRA, L. C.; MOURA, C. S. F. T. Cultura de café: histórico, classificação botânica e fases de crescimento. **Revista Faculdade Montes Belos**, Montes Claros, v. 5, n. 4, p. 17-32, 2012.
- ORTEGA, A. C.; JESUS, C. M. Território café do cerrado: transformações na estrutura produtiva e seus impactos sobre o pessoal ocupado. **Revista Economia Sociologia Rural**, Brasília, v. 49, n. 3, p. 771-800, 2011.
- PADILHA, K. M.; FREIRE, M. B. G. S.; DUDA, G.P.; SANTOS, U.J.; SILVA, A. O.; SOUZA, E. R. Indicadores biológicos de dois solos com a incorporação de subproduto da agroindústria de café. **Revista Brasileira de ciências do solo**, v.38 n.5, 2014.
- PARKIN, T.B.; DORAN, J.W.; FRANCO-P-VIZCAÍNO, E. Field and laboratory tests of soil respiration. In: DORAN, J.W.; JONES, A. (Ed.). *Methods for assessing soil quality*. **Soil Science Society of America**, Madison: p.231-245, 1996.
- PAUL, E.A.; CLARK, F.E. **Soil microbiology and biochemistry**. San Diego: Academic Press, 1996. 340p.
- PEREZ, K. S. S.; RAMOS, M. L. G.; MC MANUS, C. Carbono da biomassa microbiana em solo cultivado com soja sob diferentes sistemas de manejo nos Cerrados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, p.567-573, 2004.
- PIMENTEL, M.S.; DE-POLLI, H.; AQUINO, A.M.; CORREIA, M.E.F.; ROUWS, J.R.C. Bioindicators of soil quality in coffee organic cultivation systems. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, n.5, p.545-552, 2011.
- PÔRTO, M.L.; ALVES, J.C.; DINIZ, A.A.; SOUZA, A.P.; SANTOS, D. Indicadores biológicos de qualidade do solo em diferentes sistemas de uso no Brejo Paraibano. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 4, p. 1011-1017, 2009.

- QUAGGIO, J.A. **Acidez e calagem em solos tropicais**. Campinas, Instituto Agrônomo, 2000. 111p.
- QUILCHANO, C.; MARANÓN, T. Dehydrogenase activity in Mediterranean forest soils. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 35, n. 2, p. 102-107, 2002.
- RIBEIRO, M. S.; MATSUMOTO, S. N.; BEBÉ, F. V.; GRISI, F. A. Produção dos cafeeiros (*Coffea arabica* L.) condicionada por diferentes níveis de sombreamento natural em condições de sequeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 2004. 30, 2004, São Lourenço. **Anais...** São Lourenço: Procafe, p. 202 – 203, 2004.
- RICCI, M. S. F.; COSTA, J. R.; PINTO, A. N.; SANTOS, V.L.S. Cultivo orgânico de cultivares de café a pleno sol e sombreado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 4, p. 569-575, 2006.
- RODRIGUES, H. J. B. et al. Variabilidade quantitativa de população microbiana associada às condições microclimáticas observadas em solo de floresta tropical húmida. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 26, p. 629-638, 2011.
- ROMANIW, J.; SÁ, J. C. M.; PADILHA, A. A.; RAMOS, F. S.; EURICH, G.; BRESSAN, P. T. Carbon dynamics in no-till soil due to the use of industrial organic waste and mineral fertilizer. **Revista Ciência Agronômica**, v. 46, n. 3, p. 477-487, 2015.
- ROSA, M. E. C., OLSZEWSKI, N., MENDONÇA, E. S., COSTA, L. M., CORREIA, J. R. Formas de carbono em Latossolo Vermelho Eutroférico sob plantio direto no sistema biogeográfico do cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 5, p.911-923, 2003.
- ROUSSEAU, L.; FONTE, S.J.; TÉLLEZ, O.; VAN DER HOEK, R.; LAVELLE. Soil macrofauna as indicators of soil quality and land use impacts in smallholder agroecosystems of western Nicaragua. **Ecological Indicators**, v.27, p.71-82, 2013.
- SALES, T. M. et al. Diversidade de bactérias de solo em clareiras e floresta nativa provenientes de áreas de terra firme alteradas pela exploração de petróleo. In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA EMBRAPA AMAZÔNIA ORIENTAL, 12, 2008, Belém. **Anais...** Belém: Embrapa, 2008.
- SALTON, J.C.; TOMAZI, M. (2014) **Sistema Radicular de Plantas e Qualidade do Solo**. Comunicado Técnico 198. Embrapa Agropecuária Oeste. Dourados, Brasil. 6 pp.
- SANTOS, J. V.; LÓPEZ-VARÓN, M.; SOARES, C.R.F.S.; LEAL, P.L.; SIQUEIRA, J.O.; MOREIRA, F.M.S. Biological attributes of rehabilitated soils

contaminated with heavy metals. **Environmental Science and Pollution Research**, p. 1-14, 2015.

SANTOS, J. V.; RANGEL, W.M.; GUIMARÃES, A.Z.; JARAMILLO, P.M.D.; RUFINI, M.; MARRA, L.M.M.; VARÓN LÓPES, M.; SILVA, M.A.P.; SOARES, C.R.F.S.; MOREIRA, F.M.S. Soil biological attributes in arsenic-contaminated gold mining sites after revegetation. **Ecotoxicology**, v.22, p. 1526–1537, 2013.

SAUVADET, M.; MEERSCHKE, K.V.; ALLINNE, C.; GAY, F.; FILHO, E.M.; CHAUVAT, M.; BERQUER, T.; TIXIER, P.; MICHEL-HARMAND, J. Shade trees have higher impact on soil nutrient availability and food web in organic than conventional coffee agroforestry. **Science of the Total Environment**, v.649, p.1065-1074, 2019.

SILVA, D.K.A., FREITAS, N.O., SOUZA, R.G., SILVA, F.S.B., ARAUJO, A.S.F., MAIA, L.C., Soil microbial biomass and activity under natural and regenerated forests and conventional sugarcane plantations in Brazil. **Geoderma**, 189-190, 257-261, 2012.

SILVA, I. R. D.; MENDONÇA, E. D. S. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, R. F.; VICTOR, H. A. V.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI NEVES, J. C. L. (Eds.). **Fertilidade do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. 275-374.

SILVEIRA, A. P.D.; FREITAS, S. S. Microbiota do solo e qualidade ambiental. Campinas: Instituto Agronômico, 2007. 312 p.

STIEVEN, A. C.; OLIVEIRA, D. A.; SANTOS, J. O.; WRUCK, F. J.; CAMPOS, D. T. da S. Impacts of integrated crop-livestock-forest on microbiological indicators of soil. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.9, n.1, p.53-58, 2014.

SUPERINTENDÊNCIA DE ESTUDOS ECONÔMICOS E SOCIAIS DA BAHIA. Estatística dos municípios baianos: Território de Identidade Vitória da Conquista. Salvador, SEI, v.4, 2010.

TABATABAI, M. A. Soil enzymes. In: WEAVER, R. W.; ANGLE, S.; BOTTOMLY, P. J. (Eds.). *Methods of soil analysis. Part 2. Microbial and biochemical properties*. Madison: Soil Science Society of America, 1994. p. 775-833.

TABATABAI, M.A.; BREMNER, J.M. Assay of Urease Activity in Soils. **American Journal of Soil Science Society**, v. 41, p.350-352, 1972.

TARAFDAR, J.C.; JUNGK, A phosphatase activity in the rhizosphere and its relation to the depletion of soil organic phosphorus. **Biology Fertility Soils**, v.3, p.199-204, 1987.

TÓTOLA, M.R.; CHAER, G.M. Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade dos solos. In: ALVAREZ V., V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R.; BARROS, N.F.; MELLO, J.W.V.; COSTA, L.M., eds. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. v.2. p.196-275.

TURBÉ, A.; DE TONI, A.; BENITO, P.; LAVELLE, P.; LAVELLE, P.; RUIZ, N.; VAN DER PUTTEN, W. H.; LABOUZE, E.; MUDGAL, S. Soil biodiversity: functions, threats and tools for policy makers. Bio Intelligence Service, IRD, and NIOO, Report for European Commission (DG Environment) 2010.

VANCE, E. D.; BROOKES, P. C.; JENKINSON, D. S. An extraction method form measuring soil microbial biomass C. **Biology and Biochemistry**, Oxford, v.19, n.6, p. 703- 707, 1987.

VIEIRA, G.D.; CASTILHOS, D.D.;CASTILHOS, R.M.V. Atributos microbianos do solo após a adição de lodo anaeróbio da estação de tratamento de efluentes de parboilização do arroz. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.35,n.543, p.550, 2011.

VILLA D'ANDRÉA, A.F.; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; SIQUEIRA, J. O.; CARNEIROS, M. A. C. Atributos biológicos indicadores da qualidade do solo em sistemas de manejo na região do cerrado no sul do estado de Goiás. **Revista Brasileira de ciências do Solo**, v.26, p.913-923, 2002.

VILLANI, F. T.; GYOVANNI; R. A. A.; VILLANI E. M. A.; TEIXEIRA, W. G.; MOREIRA, F. M. S.; MILLER, R.; ALFAIA, S. S. Microbial Carbon, Mineral-N and Soil Nutrients in Indigenous Agroforestry Systems and Other Land Use in the upper Solimões Region, Western Amazonas State, Brazil. **Agricultural Sciences**, v. 8, p. 657-674,2017.

VILLATORO, M. A. A. **Matéria Orgânica e Indicadores Biológicos da Qualidade do Solo na Cultura do Café sob Manejo Agroflorestal e Orgânico**. 2004. 176p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal Rural do Rio De Janeiro, Seropédica, RJ.

XAVIER, F.A.S.; MAIA, S.M.F.; OLIVEIRA, T.S.; MENDONÇA, E.S. Biomassa microbiana e matéria orgânica leve em solos sob sistemas agrícolas orgânico e convencional na Chapada da Ibiapaba – CE. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n. 2, p. 247-258,2006.

YADA, M. M.; MINGOTTE, F.L.C.; MELO, W. J.; MELO, G. P.; MELO, V. P.; LONGO, R.M.; RIBEIRO, A.I. Atributos Químicos e Bioquímicos em Solos Degradados por Mineração de Estanho e em Fase de Recuperação em Ecossistema Amazônico. **Revista Brasileira de Ciencia do solo**, v.39, p.714-724, 2015.

YEOMANS, J.C.; BREMNER, J.M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 19, p.1467-1476, 1988.

ZHANG, C.; LIU, G.; XUE, S.; SONG, Z. Rhizosphere soil microbial activity under different vegetation types on the Loess Plateau, China. **Geoderma**, v. 161, p. 115-125, 2011.