

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

**INDICADORES MICROBIOLÓGICOS DE QUALIDADE DO SOLO EM SISTEMAS
AGROFLORESTAIS E MONOCULTIVO DE CAFÉ**

TATIANA REIS DOS SANTOS BASTOS

2021

TATIANA REIS DOS SANTOS BASTOS

**INDICADORES MICROBIOLÓGICOS DE QUALIDADE DO SOLO EM SISTEMAS
AGROFLORESTAIS E MONOCULTIVO DE CAFÉ**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, como parte das exigências do programa de pós-graduação em Ciências Florestais, área de concentração manejo e produção florestal, para a obtenção do título de Mestre.

Orientadora:

Prof. *D. Sc.* Patrícia Anjos Bittencourt Barreto-Garcia

Coorientadora:

Prof. *D. Sc.* Ieda de Carvalho Mendes

Vitória da Conquista
Bahia - Brasil
2021

B331i Bastos, Tatiana Reis dos Santos.
Indicadores microbiológicos de qualidade do solo em sistemas agroflorestais e monocultivo de café. / Tatiana Reis dos Santos Bastos, 2021.
53f.
Orientador (a): D.Sc. Patrícia Anjos Bittencourt Barreto-Garcia.
Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais, Vitória da Conquista, 2021.
Inclui referências. 46 - 53.
1. *Coffea arabica* L. 2. Biomassa microbiana. 3. Enzimas. I. Barreto-Gracia, Patricia Anjos Bittencourt. II. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais. III. T.

CDD: 633.73

Catálogo na fonte: Juliana Teixeira de Assunção – CRB 5/1890

UESB – Campus Vitória da Conquista - BA

Dedico,
a Deus por todas as oportunidades.

Ofereço,
*à minha filha, Thayla, e
ao meu esposo, Flávio,
pois são eles que dão qualidade
à minha vida*

AGRADECIMENTOS

A Deus sobre todas as coisas;

A todos os professores que passaram em minha vida acadêmica, seus conhecimentos muito contribuíram para o meu processo de formação;

À professora Patrícia Anjos Bittencourt Barreto-Garcia, minha orientadora, pelos seus valiosos conhecimentos, ensinamentos, por sua dedicação, atenção e por ter depositado sua confiança em mim, minha gratidão eterna;

À professora Ieda Carvalho Mendes pela orientação, conhecimento, presteza, disponibilidade e dedicação dispensada a mim e ao meu projeto. Minha imensa gratidão a Embrapa Cerrados pelo apoio com as análises laboratoriais;

À professora Caroline Valverde e ao projeto Solos na escola, pelos constantes ensinamentos, minha gratidão sempre;

Ao professor Divino Levi Miguel pela disponibilidade do Laboratório de Microbiologia do solo, que tornou possível parte das análises do solo;

Ao pesquisador Paulo Monroe pela incrível colaboração com as análises dos dados;

A todos os membros do grupo de pesquisa Forest Soils, pelo constante apoio, ajuda, compreensão e suporte nas atividades de campo e laboratoriais;

À Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia – UESB, ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e a todos os membros do programa de mestrado, na pessoa do professor Dalton Longue Júnior e da secretária Fabrícia;

Ao cafeicultor Gianni Brito, proprietário das fazendas Viçosa e Vidigal, pela disponibilidade em oferecer as suas fazendas para que os estudos fossem realizados e a todos os seus colaboradores, na pessoa do senhor Sérgio, pelo apoio e disponibilidade nas atividades de campo;

A todos os membros da minha família pelo apoio incondicional, em especial à minha avó Lourdes e minha irmã, Ariana;

Aos meus pais, Reinaldo e Leonice, pelo carinho e estímulo, mas também pelo exemplo humano de ambos;

À minha filha, Thayla, por me dar tanta alegria e força para viver e acreditar sempre que tudo vai dar certo;

Ao meu amado, Flávio, por estar sempre ao meu lado, amando-me mesmo nos meus momentos de "solo descoberto";

Aos amigos que fiz, que contribuíram de alguma forma nessa caminhada, os levarei para sempre em meu coração, a todos deixo aqui meus sinceros agradecimentos.

Eu me recuso...

Enquanto existir o sol, fonte de energia para o planeta Terra,
Eu me recuso a pensar que não haja esperança de vida nesta Gaia;

Enquanto, ao romper de um novo dia, sentir o frescor do sereno,
Eu me recuso a pensar que exista apenas ar poluído;

Enquanto existir o murmúrio da água cristalina que serpenteia sobre as rochas,
Eu me recuso a pensar que haja apenas rios mortos;

Enquanto na terra germinar ainda um grão para o pão de cada dia,
Eu me recuso a pensar que haja apenas solos esgotados;

Enquanto existir o imenso mar a abraçar a areia branca,
Eu me recuso a pensar que haja apenas praias “impróprias para o banho”;

Enquanto existir a riquíssima Floresta Amazônica,
Eu me recuso a pensar na extinção da flora e fauna;

Enquanto existir o sentimento de fraternidade em uns poucos lutarem por todos,
Eu me recuso a pensar que seja impossível modificar o coração do homem;

Enquanto existir Ciência e um cientista a pesquisar,
Eu me recuso a pensar que os problemas ambientais sejam insolúveis;

Enquanto mães gerarem filhos e o amor existir,
Eu me recuso a pensar que o homem seja capaz da autodestruição;

Enquanto existir o diálogo,
Eu me recuso a pensar que o ódio seja a mola do mundo;

Enquanto existirem educadores,
Eu me recuso a pensar que não possamos oferecer um futuro mais promissor à juventude;

Enquanto milhares de jovens ansiarem por um mundo mais justo,
Eu me recuso a pensar que não possamos transformar a sociedade egocêntrica;

Enquanto existirem o trabalho e a solidariedade,
Eu me recuso a pensar que não possamos reduzir a miséria dos povos;

Enquanto você tiver força,
Eu me recuso a pensar que juntos não lutaremos por um amanhã melhor, para toda a humanidade.

Pois nós somos a própria natureza, natureza pensante.

Helmut Troppmair

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** - Mapa de distribuição dos estados produtores de café no Brasil.15
- Figura 2** - Funções do solo, atributos e indicadores de qualidade do solo.....19
- Figura 3** - Localização das fazendas Vidigal e Viçosa, na cidade de Barra do Choça-Bahia24
- Figura 4** - Dados meteorológicos da cidade de Barra do Choça-Bahia, no ano de 2020, onde estão localizadas as fazendas Viçosa e Vidigal - local dos experimentos.25
- Figura 5** - Sistema agroflorestal de café com grevilea da fazenda Viçosa/Barra do Choça-Bahia.26
- Figura 6** - Sistema agroflorestal de café com cedro-australiano da fazenda Vidigal/Barra do Choça-Bahia.27
- Figura 7** - Monocultivo de café da fazenda Viçosa/Barra do Choça-Bahia.28
- Figura 8** - Floresta nativa da fazenda Viçosa/Barra do Choça-Bahia.....29
- Figura 9** - a) gabarito de coleta de serapilheira disposto na superfície do solo. b) gabarito com a serapilheira coletada a ser coletada. c) gabarito com a serapilheira coletada, ambos nas fazendas Vidigal e Viçosa/Barra do Choça-Bahia, nos sistemas analisados.30
- Figura 10** - Diagrama de ordenação resultante da análise de componentes principais dos atributos do solo e serapilheira em sistemas de cultivo de café e floresta nativa. Em que: SAF G: sistema agroflorestal de café com grevilea; SAF C: sistema agroflorestal de café com cedro-australiano; MC: monocultivo de café; FN: floresta nativa; COS: carbono orgânico do solo; CBM: carbono da biomassa microbiana do solo; AM: atividade microbiana; qCO₂: quociente metabólico; qMIC: quociente microbiano; Serap. Total: acúmulo total da serapilheira.43

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1** - Caracterização química do solo (profundidade 0-10 cm) em três sistemas de cultivo de café e floresta nativa, no município de Barra do Choça-Bahia, fevereiro de 202131
- Tabela 2** - Umidade e Composição granulométrica do solo (profundidade 0-10 cm) em três sistemas de cultivo de café e floresta nativa, no município de Barra do Choça-Bahia, fevereiro de 202132
- Tabela 3** - Carbono orgânico do solo, carbono da biomassa microbiana do solo, quociente metabólico, quociente microbiano, do solo em três sistemas de cultivo de café e floresta nativa, no município de Barra do Choça - Bahia, fevereiro de 202136
- Tabela 4** - Resultado dos fragmentos de serapilheira, na camada de 0-10 cm do solo, sob três sistemas de cultivo de café e floresta nativa das fazendas Viçosa e Vidigal, no município de Barra do Choça - Bahia, fevereiro de 2021 .37
- Tabela 5** - Atividade das enzimas arilsulfatase e β -glicosidase em solo (profundidade 0-10 cm) sob três sistemas de cultivo de café e floresta nativa, no município de Barra do Choça-Bahia, fevereiro de 202140
- Tabela 6** - Resultado da análise de correlação entre as variáveis COS (carbono orgânico do solo), CBM (carbono da biomassa microbiana), AM (atividade microbiana), qCO_2 (quociente metabólico), $qMIC$ (quociente microbiano), Enzima arilsulfatase, Enzima β -glicosidase, Serap.Total (serapilheira total), Argila, pH, P (fósforo), K (potássio), Ca (cálcio), Mg (magnésio).....41
- Tabela 7** - Cargas fatoriais e variabilidade explicada pelos eixos na análise de componentes principais (ACP) da serapilheira, atributos microbiológicos e químicos dos solos em SAF G (sistema agroflorestal com grevílea), SAF C (sistema agroflorestal com cedro), MN (monocultivo de café), FN (floresta nativa)44

RESUMO

BASTOS, Tatiana Reis dos Santos, M.Sc., Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, agosto de 2021. **Indicadores microbiológicos de qualidade do solo em sistemas agroflorestais e monocultivo de café.** Orientadora: Patrícia Anjos Bittencourt Barreto-Garcia.

Os indicadores microbiológicos podem ser úteis para prever as taxas e a direção das mudanças na qualidade do solo causadas por sistemas de cultivo. Assim, objetivou-se com o presente estudo avaliar as alterações produzidas por sistemas agroflorestais e monocultivo de café em atributos microbiológicos do solo. O estudo foi conduzido em plantações comerciais de café (sistema agroflorestal de café com grevilea, sistema agroflorestal café com cedro e monocultivo de café), tendo como referência uma área de floresta nativa. Em cada sistema, foram lançadas aleatoriamente quatro parcelas, onde foram coletadas três amostras de serapilheira e 10 amostras simples de solo (profundidade 0-10cm) para formar uma amostra composta de cada parcela. Para a coleta da serapilheira utilizou-se um gabarito quadrado com 0,25cm x 0,25cm. Nas amostras de solo foram avaliados: carbono da biomassa microbiana, respiração do solo, atividade das enzimas arilsulfatase e β -glicosidase, atributos químicos e físicos (granulometria, pH, carbono orgânico e nutrientes). A presença do componente arbóreo nos sistemas produtivos de café provocou alterações na atividade dos microrganismos, impactando positivamente os atributos biológicos do solo. Os teores de carbono orgânico do solo e carbono da biomassa microbiana, respiração acumulada do solo atividade das enzimas arilsulfatase e β -glicosidase e acúmulo de serapilheira no solo mostraram-se indicadores sensíveis para detectar alterações no solo em decorrência de sistemas de cultivo de café. O SAF G foi o sistema que proporcionou maior teor de carbono orgânico no solo, maior atividade enzimática e maior acúmulo de serapilheira em relação ao monocultivo. Isso mostra que a prática agroflorestal de manejo de café em consórcio com grevilea influenciou positivamente a atividade dos microrganismos no solo.

Palavras-chave: *Coffea arabica* L.; Biomassa microbiana; Enzimas.

ABSTRACT

BASTOS, Tatiana Reis dos Santos, M.Sc., Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, august 2021. **Microbiological indicators of soil quality in agroforestry and coffee monoculture systems.** Adviser: Patrícia Anjos Bittencourt Barreto-Garcia.

Microbiological indicators can be useful in predicting the rates and direction of changes in soil quality caused by cropping systems. Thus, the aim of this study was to evaluate the changes produced by agroforestry systems and coffee monoculture in soil microbiological attributes. The study was carried out in commercial coffee plantations (agroforestry system of coffee with grevillea, agroforestry system of coffee with cedar and coffee monoculture), having as reference an area of native forest. In each system, four plots were randomly placed, where three litter samples and 10 single soil samples (depth 0-10 cm) were collected to form a composite sample of each plot. To collect the litter, a square template measuring 0.25 cm x 0.25 cm was used. In the soil samples, the following were evaluated: microbial biomass carbon, soil respiration, arylsulfatase and β -glucosidase enzyme activity, chemical and physical attributes (granulometry, pH, organic carbon and nutrients). The presence of the arboreal component in coffee production systems caused changes in the activity of microorganisms, positively impacting the biological attributes of the soil. Soil organic carbon and microbial biomass carbon, accumulated soil respiration, arylsulfatase and β -glucosidase enzyme activity and litter accumulation in the soil were sensitive indicators to detect changes in the soil as a result of coffee growing systems. SAF G was the system that provided the highest content of organic carbon in the soil, greater enzymatic activity and greater accumulation of litter compared to monoculture. This shows that the agroforestry practice of managing coffee intercropped with grevillea positively influenced the activity of microorganisms in the soil.

Keywords: *Coffea arabica* L.; Microbial biomass; Enzymes.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	12
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	14
2.1 Importância da cafeicultura nas economias nacional e baiana	14
2.2 Café em sistemas agroflorestais.....	16
2.3 Serapilheira	18
2.4 Qualidade do solo.....	18
2.5 Biomassa microbiana do solo.....	20
2.6 Respiração acumulada do solo.....	21
2.7 Atividade enzimática.....	21
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	24
3.1 Caracterização das áreas de estudo	24
3.1.1 Sistema agroflorestal de café com grevilea	25
3.1.2 Sistema agroflorestal de café com cedro-australiano	26
3.1.3 Monocultivo de café.....	27
3.1.4 Floresta nativa	28
3.2 Coleta e preparo das amostras de solo e serapilheira	29
3.2.1 Determinação da umidade e saturação do solo	30
3.3 Caracterização química e física do solo	31
3.3.1 Carbono orgânico do solo.....	32
3.4 Atributos microbiológicos do solo.....	32
3.4.1 Carbono da biomassa microbiana	32
3.4.2 Respiração acumulada do solo.....	33
3.4.3 Índices microbiológicos.....	33
3.4.4 Atividade da enzima β -glicosidase.....	34
3.4.5 Atividade da enzima arilsulfatase	34
3.5. Análises estatísticas	35
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	36
5. CONCLUSÕES	46
6. REFERÊNCIAS	47

1. INTRODUÇÃO

A demanda crescente de utilização dos solos desafia o setor agrícola mundial a aumentar a produção, sem aumentar a área cultivada. O Brasil se destaca nesse cenário, por ser um grande produtor mundial de alimentos, com uma área plantada de um pouco mais de 83 milhões de hectares (IBGE, 2021). As grandes áreas de cultivo no País estão voltadas para os monocultivos e para a produção de *commodities* para a exportação, que é a chave do agronegócio no Brasil.

A cafeicultura ocupa uma parcela significativa dos solos agrícolas do Brasil, o que corresponde a uma área de aproximadamente 2,2 milhões de hectares, sendo o País o maior produtor e exportador mundial do produto (CONAB, 2021). Segundo dados do IPEA (2020), as exportações de café brasileiro cresceram em quase todas as regiões do território nacional de 2018 para 2019. Isso representou aumentos na ordem de 11% para Europa, 30% para os Estados Unidos, 7% para Ásia, 4% para América do Sul, 52% para África, e 4% para Oceania.

Diante da limitação da abertura de novas fronteiras agrícolas, o aumento da produtividade dos solos de forma sustentável é o caminho alternativo para a ampliação da oferta de alimentos (SAATH; FACHINELLO, 2018). Tal sustentabilidade é normalmente alcançada com a adoção de modelos produtivos que integrem o aspecto social, econômico e ambiental (ARRUDA et al., 2020).

Na cafeicultura contemporânea, ainda persiste o hábito de manejar cafezais em monocultivo (SALES, 2020). No entanto, o sistema de cultivo contínuo em longo prazo costuma acarretar mudanças nas propriedades químicas do solo, além de reduções na matéria orgânica e na diversidade microbiana, causando degradação do solo, o que coloca em questão a sua sustentabilidade (ZHAO et al., 2018).

De acordo com Soares et al. (2016), a conservação dos solos em áreas agricultáveis só é possível com a adoção de práticas conservacionistas de cultivo que garantam boa produtividade e, ao mesmo tempo, mantenha o solo sadio. Entre essas práticas, os sistemas agroflorestais se destacam, uma vez que a associação de árvores com culturas agrícolas proporciona uma série de benefícios ao sistema solo-planta. Exemplo disso é o aumento das entradas de resíduos orgânicos, a redução da incidência direta de radiação solar e a melhor exploração do solo pelas raízes. Nesses sistemas, as raízes das árvores exploram grandes volumes de solo, absorvendo água e nutrientes, que são redistribuídos no solo, ficando disponíveis para as plantas (ALTIERI, 2012).

A produção de café em sistema agroflorestal representa uma alternativa viável para o desenvolvimento rural sustentável e para o crescimento socioeconômico a partir de uma agricultura de base ecológica (CARRERO, 2018). Esse sistema de cultivo tem sido estudado como forma de proteção da lavoura contra intempéries climáticas e também para a promoção da sustentabilidade da cultura (GUIMARÃES et al., 2017). Além de trazer benefícios ambientais, o plantio de árvores junto às culturas aumenta a renda do produtor com a comercialização da madeira, melhora a fertilidade do solo, bem como a produtividade das culturas e, portanto, aumenta a segurança alimentar das famílias (MBOW et al., 2014).

Informações sobre os efeitos dos diferentes sistemas produtivos na qualidade do solo são essenciais para orientar o planejamento e para a avaliação das práticas de manejo adotadas. Para isso, torna-se necessária a utilização de indicadores capazes de estimar com clareza os impactos destes sistemas sobre o solo. Atributos microbiológicos, como a atividade enzimática, a biomassa microbiana e a respiração acumulada do solo, são considerados indicadores sensíveis de alterações ambientais decorrentes do uso agrícola, em curto prazo (EPELDE et al., 2014). Por essa razão, podem auxiliar na interpretação da magnitude dos efeitos de interferências antropogênicas no ecossistema (SANTOS et al., 2019).

A biomassa microbiana do solo é responsável por diversos processos biológicos e bioquímicos do solo, possuindo relação direta com a incorporação de resíduos vegetais e com a ciclagem de nutrientes e de carbono (NGUYEN; MARSCHNER, 2017). No solo, os microrganismos desempenham papel importante na atividade enzimática e, sendo assim, a atividade destas biomoléculas indica alterações em processos metabólicos específicos que, em conjunto com outras medidas, como as de biomassa microbiana, pode fornecer uma compreensão ampla das mudanças impostas pelo manejo do solo (ACOSTA-MARTÍNEZ et al., 2010).

Neste contexto, formulou-se as hipóteses de que (1) a presença do componente arbóreo nos sistemas agroflorestais de café impactam positivamente os atributos microbiológicos do solo e (2) que o carbono da biomassa microbiana, a respiração acumulada do solo e atividade das enzimas β -glicosidase e arilsulfatase são sensíveis para detectar alterações no solo em decorrência de diferentes sistemas de cultivo. Para testar as hipóteses, o presente estudo objetivou avaliar as alterações produzidas por diferentes sistemas produtivos de café em atributos microbiológicos do solo.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Importância da cafeicultura nas economias nacional e baiana

O Brasil é um grande exportador de produtos primários, as chamadas *commodities* agrícolas, que ocupam extensas áreas monocultoras em diferentes regiões do País. Nos plantios de importância econômica para o País, a cafeicultura ocupa lugar de destaque, com uma área cultivada de 2,2 milhões de hectares. O Brasil é o maior produtor e exportador mundial deste produto, com 60 milhões de sacas colhidas e 3,3 milhões de sacas de 60kg exportadas em fevereiro de 2021, volume 9% maior do que o exportado em fevereiro de 2020. Duas espécies de café de importância econômica apresentam destaque produtivo no País: *Coffea arabica* e *Coffea canephora*, sendo que a exportação da primeira foi responsável por 81,9% do volume total produzido em 2021, ao atingir 2,7 milhões de sacas (EMBRAPA, 2021).

Outra informação relevante é o elevado consumo interno do Brasil, acima de 20 milhões de sacas, que recentemente ultrapassou os Estados Unidos, tornando-se também o maior consumidor de café. Esse mercado consumidor progressivamente tem procurado cafés especiais, orgânicos e/ou sombreados e que também detenham uma preocupação ambiental (OIC, 2021).

Entre os estados brasileiros produtores de café (Figura 1), o estado de Minas Gerais ocupa o primeiro lugar com uma produção de 33,5 milhões de sacas; o segundo lugar é ocupado pelo Espírito Santo, com 13,6 milhões de sacas; em seguida vem o estado de São Paulo com 6,2 milhões de sacas de arábica; e a Bahia, que ocupa a quarta posição. O estado da Bahia possui três grandes regiões produtoras: Oeste com 11% do volume produzido; Planalto da Conquista com 30% e Centro sul com 59%, totalizando uma área produtiva de 106 mil hectares (IPEA, 2020).

Brazilian Coffee Origins

Sources: MAPA, Conab and Embrapa Café

Minas Gerais

Sources: MA, APROCAM, INPI, Emater-MG, Federação dos Cafetalheiros do Cerrado

1. Sul de Minas
2. Mantiqueira de Minas (Geographic Indication)
3. Chapada de Minas
4. Matas de Minas (Montanhas de Minas)
5. Cerrados de Minas
6. Cerrado Mineiro (Designation of Origin)

São Paulo e Minas Gerais

Sources: INPI, AMSC

7. Alta Mogiana (Geographic Indication)

São Paulo

Sources: Câmara Setorial do CAFE, IAC, CIA/ORO

8. Mogiana
9. Média Mogiana
10. Marília e Garça
11. Ourinhos e Avaré

Bahia

Source: SEAGRI

12. Planalto Baiano:
 - a. Chapada Diamantina
 - b. Planalto de Vitória da Conquista
 - c. Serrana de Itirapu/Brejões
13. Cerrado Baiano
14. Atlântico Baiano

Espírito Santo

Source: GETCAF

15. Montanhas do Espírito Santo
16. Conilon Capixaba

Paraná

Sources: EMATER-PR, INPI, AMAJOP, AMUNORP

17. Norte Pioneiro do Paraná (Geographic Indication)
18. Paraná

Rondônia

Source: EMATER-RO

19. Rondônia

Rio de Janeiro

Source: OCCRJ

20. Rio de Janeiro

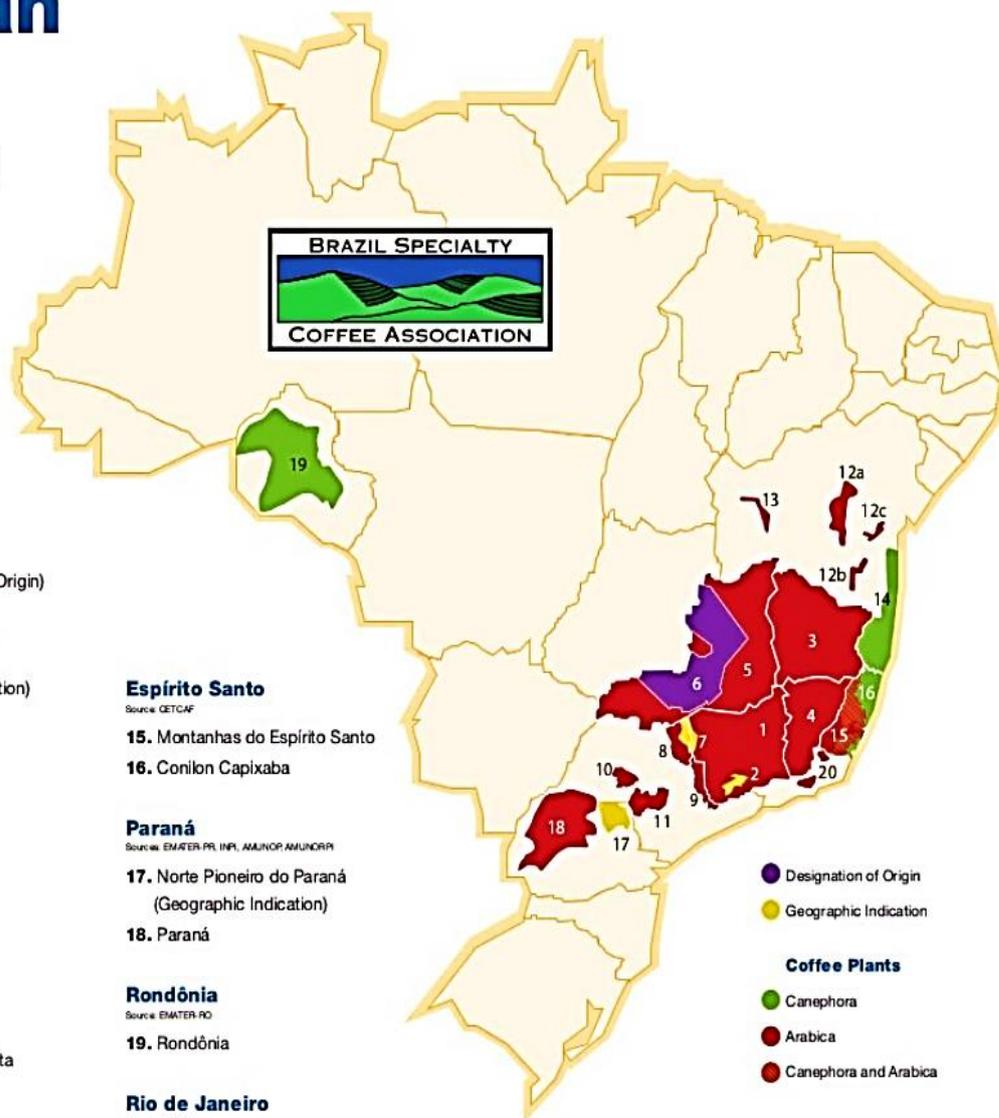


Figura 1 - Mapa de distribuição dos estados produtores de café no Brasil.
Fonte: Revista cafeicultura

A Bahia replica o mundo cafeeiro por produzir tipos diferentes de café, devido à grande extensão do estado e diferentes ambientes edafoclimáticos, que propiciam a produção de praticamente todos os tipos de café produzidos no mundo. A indústria cafeeira baiana tem potencial para trabalhar com *blends* para os mais variados mercados consumidores, abastecendo-se com matéria-prima local (SEAGRI, 2011), que, em março de 2021, estava com 64,6 mil hectares de área em produção e 1,8 milhão de sacas de café beneficiado (CONAB, 2021).

No estado da Bahia, a região do Planalto da Conquista vem ganhando destaque na produção cafeeira, com ênfase para as cidades de Vitória da Conquista e Barra do Choça. Essa região é a mais tradicional da Bahia na produção de café, que, devido ao clima de

altitude, permite a produção de café de excelente qualidade, estando dividida em três microrregiões: Brejões, Chapada Diamantina e Vitória da Conquista, onde há a predominância do manejo de sequeiro em pequenas propriedades. No entanto, nos últimos anos foi possível observar uma mudança expressiva no pacote tecnológico utilizado na região, com maior investimento em qualidade e eficiência, dos quais podemos destacar a colheita mecanizada, a irrigação e fertirrigação com gotejamento, o processamento do café com enzimas para produção do café despulpado, a secagem em superfície pavimentada em estufas e utilização eficiente de fertilizantes e defensivos (CONAB, 2021).

O mapeamento da safra 2020 indicou que em torno de 61% da área de café da região do Planalto se concentra em cinco municípios: Barra do Choça, Barra da Estiva, Encruzilhada, Bonito e Vitória da Conquista. Entre as cidades que abrangem o Planalto da Conquista, o município de Barra do Choça se destaca por apresentar condições edafoclimáticas favoráveis para o cultivo do café e cultiva-se exclusivamente o *Coffea arabica* com uma produção média de 1,5 mil sacas por ano (CONAB, 2021).

A produção de café no município de Barra do Choça, particularmente, abrange 18.400 ha, em médias e pequenas propriedades, com aproximadamente 60% da população residindo na zona rural. O município hoje possui uma cafeicultura bem estabelecida, baseada no monocultivo, prática que contribui para menor longevidade produtiva da cultura e maior degradação do solo (DUTRA NETO, 2004). Na região também é usual à associação do café com espécies arbóreas, como grevíleas em médias e grandes propriedades, e bananeiras em pequenas propriedades (MATSUMOTO, 2004).

2.2 Café em sistemas agroflorestais

Agrofloresta, de acordo com o Centro de Inteligência em Florestas (CIFLORESTAS), é uma forma de produção na agricultura, em que o uso do solo não é voltado para uma única espécie como na monocultura. Nesse sistema, utiliza-se uma variedade produtiva combinando espécies arbóreas frutíferas e madeireiras) com cultivos agrícolas e até criação de animais, de forma simultânea ou sequência temporal, o que gera uma diversidade biológica e inúmeros benefícios, como a recuperação da fertilidade dos solos e interações ecológicas (CIFLORESTAS, 2017).

O cultivo de café sombreado é um dos sistemas mais antigos de produção da cultura no mundo, especialmente difundido na Colômbia, Costa Rica, Guatemala, El Salvador e México. Esses sistemas são caracterizados pelo baixo impacto ecológico e

apresentam fácil adaptação à cafeicultura, uma vez que o *Coffea arabica*, espécie nativa de sub-bosques das florestas tropicais da Etiópia, é uma planta tolerante ao sombreamento. No Brasil, essa prática perdeu força décadas atrás e recentemente voltou a ser aplicada (COSTA, 2019).

Apesar da pouca tradição no cultivo de café em sistemas agroflorestais no País, algumas pesquisas mostram a possibilidade dessa prática alcançar êxito em determinados locais, já que, em condições naturais, o café busca a sobrevivência por meio do equilíbrio entre a frutificação e o crescimento (MATSUMOTO, 2004). No Brasil, de acordo com dados do Censo Agropecuário de 2017, existem 491.400 estabelecimentos rurais com sistemas agroflorestais, ocupando uma área de 13.930.307 ha (IBGE, 2018).

Os sistemas produtivos de café vêm sofrendo pressão por parte dos consumidores pela utilização de sistemas de manejo mais sustentáveis. Nesse contexto, os sistemas agroflorestais surgem como opção para proporcionar a melhoria e conservação das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, promovendo uma maior sustentabilidade do ambiente (KUNDE et al., 2016).

O cultivo consorciado do café com culturas arbóreas pode aumentar a quantidade de fitomassa depositada na superfície do solo, oferecendo proteção contra o impacto das gotas de chuva, evitando variações bruscas de umidade e temperatura, e favorecendo o estabelecimento de uma fauna e microfauna mais eficiente e diversa (ALVARENGA; MARTINS, 2004), influenciando, assim, a qualidade do solo.

A formação de uma camada de serapilheira em cultivos de culturas perenes, como o café, é um fator favorável ao aumento ou manutenção da matéria orgânica do solo. Esse processo é ainda mais favorecido em sistemas agroflorestais, em que as espécies arbóreas contribuem para a melhoria das características físicas e químicas do solo por meio de suas raízes e queda de folhas e outros materiais senescentes. Isso promove a ciclagem de nutrientes, reduzindo a quantidade de insumos externos necessários. Sendo assim, esses sistemas podem desempenhar importante papel em ambientes tropicais, em que o processo de degradação dos solos está intimamente relacionado com a dinâmica da matéria orgânica solo (VIEIRA et al., 2015).

De acordo com Matiello (1995), são muitas as vantagens do sistema agroflorestal para o cafeeiro, com destaque para a diminuição da desfolha mantendo as plantas de café mais verdes; maturação mais lenta com maior possibilidade de fruto cereja e redução de infestação de ervas daninhas. Em relação aos benefícios para o solo, os sistemas produtivos mais conservacionistas contribuem de forma significativa para manutenção ou

melhoria da qualidade do solo, assim como influencia diretamente a sua estrutura e, por consequência, no *habitat* dos organismos e microrganismos do solo (GONÇALVES et al., 2019).

2.3 Serapilheira

A serapilheira é uma manta orgânica formada por diversos fragmentos advindos dos componentes de partes das plantas, folhas, caules, raízes, flores e frutos, além de outros materiais de origem orgânica não vegetal. O acúmulo de serapilheira sobre o solo depende de vários fatores, entre os quais se pode incluir a composição de espécies, o clima, o uso do solo, a população e atividade dos organismos decompositores (SOUZA et al., 2017). Assim, a vegetação é um fator determinante da variabilidade horizontal da serapilheira, pois quanto mais diversa for a comunidade vegetal, mais heterogênea será a serapilheira (MANHAES; FRANCELENO, 2012).

A permanência da serapilheira sobre o solo permite o seu reaproveitamento no ciclo de nutrientes do ecossistema, quando, por meio do processo de decomposição, libera para o solo elementos minerais que poderão ser reabsorvidos pelas raízes das plantas. A velocidade de decomposição é regulada pela qualidade do material orgânico, pelo clima e pelas características edáficas do local. A qualidade da serapilheira é determinada pelos teores das substâncias encontradas nos componentes das plantas, que influencia o seu processo de decomposição (FREITAS et al., 2015).

A matéria orgânica proveniente da transformação da serapilheira e outros resíduos orgânicos tem papel fundamental na sustentabilidade dos agroecossistemas, uma vez que fornece nutrientes para manutenção da vida vegetal, proporciona maior reserva de água no solo, aumenta a atividade microbiana, diminui a incidência de raios solares diretamente sobre a superfície do solo, com reflexos na redução da temperatura do solo, entre outros fatores (FERREIRA et al., 2019).

A serapilheira é uma importante fonte de carbono orgânico do solo (COS) no ecossistema terrestre. As quantidades de COS são diretamente afetadas pelos níveis de acúmulo de matéria orgânica no sistema e práticas agrícolas (MINASNY et al. 2017), que controlam o equilíbrio entre as entradas de serapilheira e a sua transformação.

2.4 Qualidade do solo

O conceito de qualidade do solo está relacionado à sua capacidade de fornecer importantes serviços ambientais, entre os quais estão a manutenção da produção biológica, a promoção da saúde das pessoas, plantas e animais (solos saudáveis, ambientes saudáveis) e a conservação da qualidade ambiental (MENDES, 2018). Tal qualidade é condicionada por fatores químicos, físicos, biológicos e ecológicos, que podem ser modificados em prol de sua melhoria (BUENO et al., 2018).

A qualidade do solo integra vários itens agronômicos (por exemplo, fertilidade e sustentabilidade do solo) e ecológicos (por exemplo, biodiversidade e taxa de respiração), muitos dos quais estão intrinsecamente ligados à dinâmica da matéria orgânica, direta ou indiretamente (BÜNEMANN et al., 2018).

A avaliação da qualidade do solo é uma forma eficaz de compreender a heterogeneidade do solo e incentivar a adoção de práticas agrícolas adequadas (LI et al., 2019). Para quantificar a magnitude das mudanças ocorridas na camada cultivada do solo, são avaliadas propriedades mensuráveis, que indicam a sua capacidade em sustentar e promover a qualidade ambiental e podem ser divididos em indicadores químicos, físicos e biológicos (LISBOA et al., 2016).

Larson e Pierce (1994) propuseram um modelo explicativo de correlação entre as funções do solo e os atributos de qualidade do solo, físicos, químicos biológicos (Figura 2).

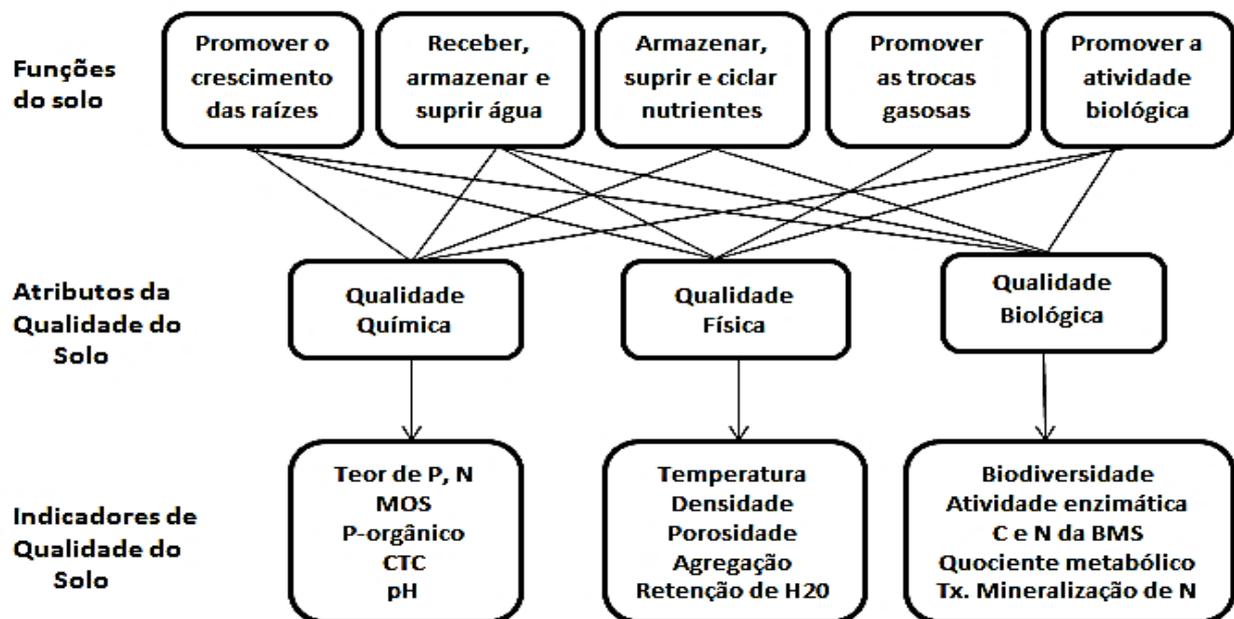


Figura 2 - Funções do solo, atributos e indicadores de qualidade do solo
 Fonte: CHAER (2001) baseada em LARSON; PIERCE (1994).

É importante ressaltar que todos os processos relacionados ao ciclo de nutrientes e à transformação da matéria orgânica do solo ocorrem com a participação de microrganismos do solo (BŁOŃSKA et al., 2017). Assim, a riqueza dos microrganismos no solo desempenha importante papel na sustentabilidade do ecossistema, mantendo funções essenciais da saúde do solo (SINGH; GUPTA, 2018). Entre os parâmetros utilizados para caracterizar o componente biológico dos solos e avaliar a sua qualidade, destacam-se as avaliações de carbono da biomassa microbiana e atividade enzimática (MENDES et al., 2018).

2.5 Biomassa microbiana do solo

A fração viva do solo corresponde de 1% a 5% do total de materiais orgânicos do solo. Dessa fração viva, cerca de 5% a 10% são raízes, 60% a 80% microrganismos e 15% a 30% componentes da macrofauna (SILVA, MENDONÇA, 2007).

A biomassa microbiana é a fração viva da matéria orgânica do solo, “os microrganismos” (ARAÚJO; MELO, 2012). Representa a menor fração do C orgânico do solo e, apesar disso, é responsável por diferentes processos bioquímicos e biológicos no solo (BALOTA et al., 2003), como a decomposição de resíduos orgânicos. Assim, participa diretamente da ciclagem de nutrientes e, conseqüentemente, controla a disponibilidade de nutrientes no solo (MATSUOKA et al., 2003).

A biomassa microbiana do solo apresenta rápida ciclagem, responde intensamente a flutuações sazonais de umidade e temperatura, ao cultivo e ao manejo de resíduos (LI et al., 2018). É composta por todos os organismos menores que $5 \times 10^{-3} \mu\text{m}$, como fungos, bactérias, actinomicetos, leveduras e demais componentes da microfauna (BORGES DOS SANTOS et al., 2018), constitui ainda um reservatório considerável de nutrientes que são constantemente desviados para os ciclos de crescimento dos diferentes organismos que compõem o ecossistema (CHAER et al., 2014).

A biomassa microbiana do solo costuma ser avaliada com base nos seus teores de carbono, nitrogênio e fósforo. O carbono da biomassa microbiana do solo (CBMS) é importante na regulação da dinâmica do carbono orgânico do solo, sendo considerado um indicador muito sensível de decréscimos na quantidade de matéria orgânica (NUNES et al., 2009). O tamanho da biomassa microbiana é geralmente relacionado à disponibilidade de recursos no solo e ao seu conteúdo de matéria orgânica (LIU et al., 2008).

O CBMS quando relacionado ao carbono orgânico do solo permite a obtenção de um índice denominado quociente microbiano, que indica a qualidade da matéria orgânica

e eficiência da BM em converter carbono do solo em carbono microbiano (BARRETO et al., 2008). Da mesma forma, quando o CBM é relacionado com a respiração acumulada do solo, obtém-se um índice denominado quociente metabólico, que expressa eficiência da biomassa microbiana na utilização de C e energia. Valores mais elevados de qCO_2 , normalmente, são associados a outros ecossistemas jovens, submetidos a alguma condição de estresse, enquanto menores valores, normalmente, são associados com ecossistemas maduros e estáveis (ANDERSON; DOMSCH, 1993).

2.6 Respiração acumulada do solo

A respiração acumulada do solo é a soma total de todas as funções metabólicas dos microrganismos que proporcionam liberação de dióxido de carbono. Durante o processo de transformação da matéria orgânica, por exemplo, os microrganismos, ao mesmo tempo que liberam nutrientes no solo, também produzem dióxido de carbono, que é emitido para a atmosfera (SHARMA et al., 2013).

Assim como outros processos metabólicos, a respiração é dependente do estado fisiológico da célula microbiana e é influenciada por diversos fatores do solo, como: a umidade, a temperatura, a estrutura, a disponibilidade de nutrientes, a textura, a relação C/N, a presença de resíduos orgânicos, entre outros. Altas taxas de respiração podem indicar tanto um distúrbio ecológico como um alto nível de produtividade do ecossistema (ISLAM; WEIL, 2000).

A atividade heterotrófica da biomassa microbiana é comumente avaliada pela liberação de C- CO_2 em amostras coletadas no campo, sendo a quantidade de C liberado indicativo do carbono lábil ou prontamente metabolizável do solo (DORAN; PARKIN, 1996). A quantificação do CO_2 liberado é utilizada devido à sua menor concentração na atmosfera (0,035%) em relação ao O_2 (20%) e também por refletir a atividade tanto de microrganismos aeróbios quanto anaeróbios (GAMA-RODRIGUES et al., 1999).

A matéria orgânica no solo influencia diretamente a atividade e a população microbiana, uma vez que constitui uma das principais fontes de energia para os organismos (PRAGANA et al., 2012). Por essa razão, a respiração do solo diminui com a profundidade do solo, correlaciona-se com os outros indicadores biológicos e varia em diferentes sistemas de manejo do solo (ARAÚJO; MONTEIRO, 2006).

2.7 Atividade enzimática

As enzimas são proteínas com alto poder de ativação específica (TABATABAI, 1994). Cada enzima exibe um alto grau de especificidade e catalisa uma ou, no máximo, algumas reações. Este elevado grau de especificidade enzimática é o fator responsável pela rede coordenada de reações químicas que ocorre nas células vivas e cuja soma constitui o metabolismo (SMITH et al., 1985).

A maior parte das enzimas do solo são de origem microbiana, embora plantas e animais também contribuam como possíveis fontes. No solo, os microrganismos produzem enzimas extracelulares para degradar biomoléculas de elevado peso molecular, que estes não conseguem absorver de modo direto (SOUZA; CHAER, 2019).

Quando liberadas no meio pelos organismos, as enzimas podem ser imediatamente metabolizadas por microrganismos ou se associar física ou quimicamente aos coloides do solo, tornando-se mais estáveis e inacessíveis à decomposição (MELO, 1988). Entre as inúmeras enzimas existentes na solução do solo, as atividades das enzimas arilsulfatase e β -glicosidase, combinadas com algumas determinações de fertilidade do solo e textura, têm sido consideradas para o cálculo do Índice de Qualidade do Solo (MENDES et al., 2018).

As enzimas do grupo das glicosidases são amplamente encontradas na natureza, desempenhando importante papel no ciclo do carbono, isso porque os produtos obtidos pela ação destas enzimas são importantes fontes de energia para os microrganismos do solo (DICK et al., 1996). A enzima β -glicosidase atua na etapa final da decomposição da celulose, sendo responsável pela hidrólise dos resíduos de celobiose, formando o açúcar simples β -D-glucose, que tem participação essencial na ciclagem de carbono no solo, especialmente na decomposição de componentes celulósicos de plantas (TABATABAI, 1994; PAUL; CLARK, 1996). Logo, a atividade de β -glicosidase possui correlação significativa com a matéria orgânica do solo (PAZUTTI et al., 2009).

A arilsulfatase é a sulfatase de solo mais amplamente estudada e é responsável pela hidrólise de ésteres de sulfato (ALEF; NANNIPIERI, 1995). Assim, as sulfatases liberam sulfato (SO_4), a forma disponível de enxofre para as plantas, de vários ésteres de sulfato orgânico. Os ésteres de sulfato microbiano são encontrados apenas em fungos e não em bactérias, e a elevada atividade das sulfatases pode estar relacionada à estimulação destas por níveis elevados de éster sulfato produzido por fungos no solo (DICK et al., 1996).

A atividade de arilsulfatase tem sido recomendada como indicadora sensível da degradação dos solos por mostrar de forma prematura alterações no conteúdo de matéria orgânica do solo e de outras propriedades químicas e físicas (LOPES et al., 2013).

As condições que favorecem a atividade microbiana, como um ambiente físico e químico equilibrado e aportes regulares de material orgânico, também favorecem a atividade enzimática. Sendo assim, as enzimas arilsulfatase e β -glicosidase, tendem a se comportar de modo mais semelhante à matéria orgânica do solo, constituindo-se em verdadeiras impressões digitais dos sistemas de manejo aos quais o solo foi submetido (MENDES et al., 2018).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização das áreas de estudo

O estudo foi conduzido em plantios comerciais de café (*Coffea arabica* L.) nas fazendas Vidigal e Viçosa (Figura 3), localizadas no território do Planalto da Conquista, município de Barra do Choça, Bahia (coordenadas geográficas 14°54'46" de latitude sul e 40°36'39" de longitude oeste), a uma altitude de 866m. A área total das duas fazendas com plantios de café totalizam 108,9 hectares.



Figura 3 - Localização das fazendas Vidigal e Viçosa, na cidade de Barra do Choça-Bahia
Fonte: <<https://maps.google.com.br>>.

De acordo com a classificação de Köppen (1948), o clima da região é do tipo Cfa, quente e temperado. A temperatura média anual é de 20,4°C, e a precipitação média é de 854 mm, concentrada entre os meses de novembro a janeiro, sendo os meses de junho a setembro os mais secos (CLIMATE-DATA.ORG, 2020). A Figura 4 apresenta os dados meteorológicos (temperatura e precipitação) do município de Barra do Choça entre os meses de janeiro e dezembro de 2020.

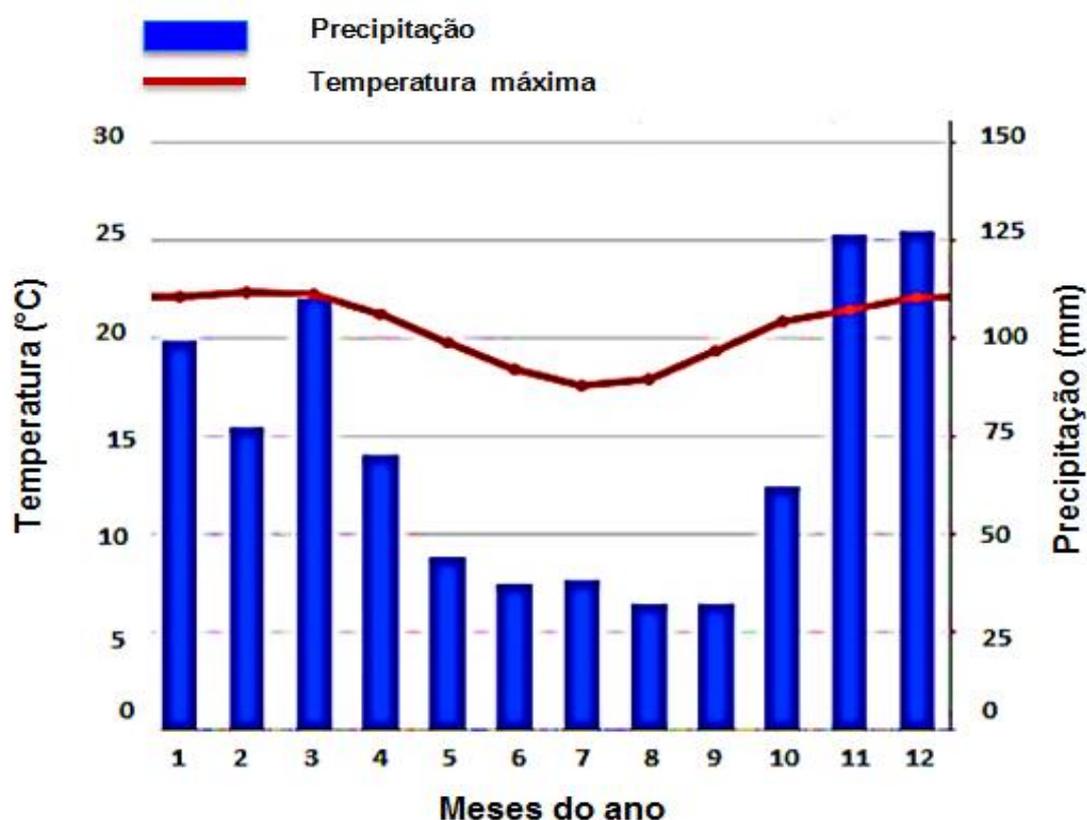


Figura 4 - Dados metereológicos da cidade de Barra do Choça-Bahia, no ano de 2020, onde estão localizadas as fazendas Viçosa e Vidigal – local dos experimentos. Fonte: <https://pt.climate-data.org/2020>.

Foram avaliados três sistemas produtivos de café (dois sistemas agroflorestais e um monocultivo) e uma área de vegetação natural: (1) SAF G – sistema agroflorestal de café (*Coffea arabica* L.) com grevilea (*Grevillea robusta* (A. Cunn.)); (2) SAF C – sistema agroflorestal de café (*Coffea arabica*) com cedro australiano (*Toona ciliata* M. Roem); (3) MN – monocultivo de café (*Coffea arabica*); e (4) FN – floresta nativa (Floresta Estacional Semidecidual Montana), que foi usada como área de controle. Uma caracterização mais detalhada desses sistemas está apresentada a seguir (itens 3.1.1 a 3.1.4). As áreas avaliadas foram selecionadas com intuito de representar os diferentes tipos de cultivo de café utilizados na região Sudoeste da Bahia.

3.1.1 Sistema agroflorestal de café com grevilea

O sistema de café com grevilea (Figura 5) foi implantado no ano 2000, ocupa uma área de 13,5 hectares da fazenda Viçosa e está localizado nas coordenadas 14°91'40" de latitude sul e 40°61'26" de longitude oeste. O arranjo espacial empregado foi contínuo com uma linha de grevilea intercalada a cada 5 linhas de café, formando um renque. O

espaçamento adotado foi de 12m entre os renques; 3,0m entre árvores dentro do renque e 2,0m x 0,5m entre plantas de café, totalizando 10.000 pés por hectare. O *Coffea arabica* utilizada é da variedade Catucaí vermelho. A grevílea foi implantada como quebra-vento, com objetivo de proteger as plantas de café dos fortes ventos e minimizar a incidência solar, além de aumentar o teor de matéria orgânica no solo pela deposição das folhas.

O sistema foi estabelecido a partir da abertura de covas de 40cmx40cmx40cm, com adubação mineral localizada (300g de superfosfato simples e 50g de cloreto de potássio) e adubação de cobertura-manutenção (200g de ureia por ano, dividida em 4 aplicações). No entanto, a aplicação de adubos químicos não é realizada desde de 2018. O controle das ervas espontâneas é feito por meio da aplicação de herbicidas (duas vezes ao ano). No ano de 2008, foi realizada uma recepa total (poda drástica) dos pés de café.



Figura 5 - Sistema agroflorestal de café com grevílea da fazenda Viçosa/Barra do Choça-Bahia.

3.1.2 Sistema agroflorestal de café com cedro-australiano

O sistema de café com cedro também foi implantado no ano 2000, possui uma área de 34 hectares e está localizado na fazenda Vidigal, nas coordenadas 14°91'89" de latitude sul e 40°60'83" de longitude oeste. O arranjo espacial também foi contínuo, com uma linha de cedro australiano intercalada a cada a 5 linhas de café, formando um renque, com distanciamento de 16,5m entre os renques e 3,0m entre árvores dentro do renque. No ano de 2014 houve a retirada total do cafezal de *Coffea arábica* var. Catuaí,

que foi substituído por mudas de *Coffea arabica* var. Catucaí amarelo, adotando-se um espaçamento semi-adensado, de 3,3m x 0,5m, totalizando 6.000 plantas de café por hectare (Figura 6). O cedro inicialmente foi plantado como forma de aproveitamento futuro da madeira, no entanto, devido às intempéries ambientais, hoje ele protege a lavoura contra os ventos fortes e o excesso de radiação solar.

O sistema foi estabelecido a partir da abertura das covas 40cmx40cmx40cm, com adubação mineral localizada (300g de superfosfato simples e 50g de cloreto de potássio) e adubação de cobertura-manutenção (300g de ureia por ano, dividida em 4 aplicações). Desde o ano de 2018, não são mais realizadas adubações de manutenção. As manutenções realizadas no sistema consistem em capina manual (uma vez por ano) e aplicação de herbicidas (duas vezes ao ano). Nesse sistema emprega-se irrigação por gotejamento e colheita mecanizada.



Figura 6 - Sistema agroflorestal de café com cedro-australiano da fazenda Vidigal/Barra do Choça-Bahia.

3.1.3 Monocultivo de café

O monocultivo de café está localizado na fazenda Viçosa, nas coordenadas 14°91'63" de latitude sul e 40°60'36" de longitude oeste, e possui uma área total de 24,4 ha. A implantação da lavoura ocorreu no ano 2006, após limpeza da área, abertura de covas de 40cmx40cmx40cm e adubação de plantio (300g de superfosfato simples e 50g de cloreto de potássio), quando foram transplantadas mudas de *Coffea arabica* var.

Catucaí amarelo. Adotou-se espaçamento adensado de 2,0 x 0,5m, totalizando 10.000 pés de café por hectare (Figura 7). A irrigação é realizada por gotejamento, e a colheita é feita de forma mecanizada desde 2015. Os tratos culturais são realizados por meio da capina sistemática nas entrelinhas, com uso de enxada e aplicação de herbicidas (duas vezes ao ano). As adubações de manutenção foram realizadas até o ano 2018, com a aplicação de 200g de ureia, dividido em 4 vezes ao ano. Desde então adota-se apenas o retorno da palhada de café para a lavoura, que é disposta em cobertura nas linhas dos cafeeiros.



Figura 7 - Monocultivo de café da fazenda Viçosa/Barra do Choça-Bahia.

3.1.4 Floresta nativa

A floresta nativa, classificada como Floresta Estacional Semidecidual Montana, que serviu de referência para a condução do experimento, corresponde a uma faixa de transição entre os biomas Mata Atlântica e Caatinga e está localizada nas proximidades dos plantios de café das fazendas Viçosa e Vidigal, nas coordenadas 14°91'27" de latitude sul e 40°61'43" de longitude oeste. É a formação vegetal predominante na região, com árvores de médio e grande porte, acompanhadas de vegetação arbustiva e gramínea associada ao bioma da Floresta Atlântica. O fragmento possui área aproximada de 6ha (Figura 8). Apresenta diferentes estratos de vegetação, sendo arbóreos, arbustivos, ervas e gramíneas, o que torna o interior do fragmento sombreado e úmido.



Figura 8 - Floresta nativa da fazenda Viçosa/Barra do Choça-Bahia.

3.2 Coleta e preparo das amostras de solo e serapilheira

As coletas de solo ocorreram no mês de fevereiro de 2021. Para isso, em cada sistema estudado, foram estabelecidas aleatoriamente quatro parcelas com dimensões de 20m x 20m, assegurando-se uma distância mínima de 20 metros entre parcelas. Em cada parcela, foram coletadas amostras simples de solo na profundidade 0-10 cm com trado holandês em 10 pontos ao acaso (caminhamento em ziguezague). As amostras simples foram reunidas para formar uma amostra composta de cada parcela, totalizando quatro amostras compostas por sistema estudado.

Após a coleta, as amostras de solo foram acondicionadas em sacos plásticos, identificados e protegidos da luz e transportadas para o laboratório no mesmo dia da coleta. No laboratório, as amostras foram peneiradas em malha de 2mm e acondicionadas em sacos plásticos com suspiros. Em seguida as amostras foram encaminhadas ao Laboratório de Microbiologia do Solo da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, onde foram realizadas às avaliações da biomassa microbiana, e ao Laboratório de Microbiologia do Solo da Embrapa Cerrados, onde foram realizadas as análises enzimáticas.

As coletas de serapilheira acumulada foram realizadas no mês de junho de 2021, com o auxílio de um gabarito de formato quadrangular de ferro, com dimensões de 0,25m x 0,25m (0,0625m²) (Figura 9). A amostragem foi realizada de forma estratificada (nos sistemas agroflorestais e monocultivo) e aleatória (na floresta nativa). Nos sistemas

agroflorestais, o gabarito foi posicionado na superfície do solo na linha do cafeeiro, na linha da árvore e na entrelinha cafeeiro-árvore, enquanto no monocultivo foi posicionado na linha e entrelinha de plantio. Em todos os sistemas, as coletas foram realizadas com quatro repetições, respeitando um distanciamento mínimo de 20m entre pontos de coleta. Todo o material orgânico presente no interior do gabarito foi coletado e armazenado em sacos plásticos devidamente identificados. Os sacos com a serapilheira coletada foram conduzidos ao Laboratório de Solos e Biomassa Florestal da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, onde as amostras foram separadas por estratos (folhas, galhos/casca, raízes, material decomposto, sementes/material reprodutivo), colocados em sacos de papel e submetidas à secagem em estufa de circulação forçada de ar a 65 °C, até alcançar massa seca constante. Depois disso, as amostras foram pesadas em balança de precisão de 0,1g.

As massas de cada estrato foram somadas para obter o total de massa seca de cada amostra. Os dados obtidos foram transformados em toneladas por hectare ($Mg\ ha^{-1}$).



Figura 9 - a) gabarito de coleta de serapilheira disposto na superfície do solo. b) gabarito com a serapilheira coletada a ser coletada. c) gabarito com a serapilheira coletada, nas fazendas Vidigal e Viçosa/Barra do Choça-Bahia, nos sistemas analisados.

3.2.1 Determinação da umidade e saturação do solo

A determinação da umidade do solo foi efetuada pelo método gravimétrico. Foram pesadas 20g das amostras de solo antes e depois do processo de secagem em estufa a 105°C por 48h.

Além disso, determinou-se a capacidade de saturação do solo para posterior uniformização da umidade das amostras de solo. Para isso, foram utilizados cadinhos de Gooch (com poros de porcelana com diâmetros de 10 μ m), os quais foram secos em estufa a 105°C e, depois de resfriar em dessecador, pesados (peso A). Em seguida, os

cadinhos foram mergulhados em água para saturar o filtro de porcelana, removendo-se o excesso de água do vidro usando um papel absorvente. Então, os cadinhos com filtro umedecido foram pesados (peso B). A cada cadinho com filtro umedecido foi adicionado 10g de solo previamente seco em estufa a 105°C. O solo sobre o cadinho foi nivelado. A parte inferior do cadinho foi mergulhada em um becker com água até a cobertura do filtro, evitando a formação de bolha de ar na água por baixo do filtro de porcelana. O cadinho permaneceu imerso por duas horas. Terminado este tempo, o cadinho foi removido do becker, as partes de vidro foram secas com papel absorvente, e foi pesado (peso C). Levou-se o cadinho à estufa a temperatura de 105°C, durante um mínimo de 6 horas. Após o término do tempo, resfriou-se o cadinho, até que atingisse a temperatura ambiente, pesando-o novamente (peso D).

A capacidade de saturação do solo foi determinada para uniformizar os solos em 40% de umidade. Assim, após a determinação da capacidade de saturação de cada amostra, foram pesadas 500g de solo de cada sistema analisado, que foram acondicionados diretamente em uma caixa plástica, uniformizando o solo com o auxílio de uma régua. Após isso, cada amostra foi saturada de acordo com a capacidade de saturação de cada sistema a 40%, e as amostras foram incubadas por 24h.

3.3 Caracterização química e física do solo

As amostras de solo foram caracterizadas química e granulometricamente, conforme Tabelas 1 e 2, de acordo com os procedimentos descritos pela EMBRAPA (2017): pH em água; P e K extraíveis por Mehlich-1; Ca²⁺, Mg²⁺ e Al³⁺ trocáveis por KCl 1 mol L⁻¹. Para a análise granulométrica, foi utilizado o método da pipeta.

Tabela 1 - Caracterização química do solo (profundidade 0-10 cm) em três sistemas de cultivo de café e floresta nativa, no município de Barra do Choça-Bahia, fevereiro de 2021

SISTEMAS	pH	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	t	T	V	m
		mg dm ³	cmolc	dm ³ de solo.....					%	
SAF G	5,1	11,25	0,25	1,62	1,10	0,95	11,25	4,07	5,02	16,45	25,00	20,25
SAF C	5,5	5,50	0,36	1,77	1,17	0,35	7,25	4,70	5,05	12,30	38,25	7,00
MN	5,2	9,75	0,55	1,54	1,15	0,85	10,95	4,10	4,95	15,90	25,75	17,50
FN	4,3	1,00	0,12	0,73	0,50	3,52	18,75	1,15	4,67	23,42	5,00	75,25

SAF G: sistema agroflorestal de café com grévilea; SAF C: sistema agroflorestal de café com cedro; MN: monocultivo de café, FN: floresta nativa; H+Al; acidez potencial; SB; soma de bases; t: CTC efetiva; T: CTC

a pH 7,0; V:saturação por bases da CTC a pH 7,0; m: saturação por Al; Valores médios obtidos a partir de quatro repetições em cada unidade de coleta.

Tabela 2 – Umidade e Composição granulométrica do solo (profundidade 0-10cm) em três sistemas de cultivo de café e floresta nativa, no município de Barra do Choça-Bahia, fevereiro de 2021

SISTEMAS	Umidade	Areia	Silte	Argila	Classe Textural
	%g kg ⁻¹			
SAF G	16,96	450	120	430	Argila-arenosa
SAF C	12,38	495	150	440	Argila
MN	15,73	435	95	470	Argila
FN	13,65	425	95	480	Argila

SAF G: sistema agroflorestal de café com grévilea; SAF C: sistema agroflorestal de café com cedro-australiano; MN: monocultivo de café, FN: floresta nativa;

3.3.1 Carbono orgânico do solo

Para determinação do carbono orgânico do solo (COS), utilizou-se o método da combustão úmida, baseado na redução do dicromato ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$) por compostos de carbono orgânico e subsequente determinação do $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ não reduzido por titulação de oxirredução com Fe^{2+} , conforme método proposto por Walkley-Black (1982).

3.4 Atributos microbiológicos do solo

Os indicadores microbiológicos do solo avaliados foram: carbono da biomassa microbiana; respiração acumulada; quociente microbiano; quociente metabólico; atividade da enzima arilsulfatase e β -glicosidase.

Para as análises de carbono da biomassa e atividade microbiana, as amostras de solo foram pré-incubadas por 7 dias em recipiente contendo um frasco com água e outro com $\text{NaOH } 1 \text{ mol L}^{-1}$ para absorver o CO_2 liberado do solo e eliminar o efeito do peneiramento, promovendo a estabilização das amostras quanto à sua respiração microbiana. Após a pré-incubação, as amostras tiveram suas umidades ajustadas para 40% da capacidade de saturação, conforme descrito no item 3.2.1.

3.4.1 Carbono da biomassa microbiana

Para a análise do carbono da biomassa microbiana (CBM), utilizou-se o método da fumigação-extração, segundo Vance et al. (1987). Foram pesadas 20g de cada amostra de solo com 06 repetições (03 para proceder-se à fumigação e 03 para não fumigamento). As amostras a serem fumigadas foram colocadas em um dessecador com dois frascos de vidro, um contendo clorofórmio e outro contendo água, como descrito por Witt et al. (2000). O solo foi mantido no dessecador por 24h em um ambiente completamente escuro. Após este período procedeu-se à etapa de extração do carbono microbiano das amostras de solo fumigadas e não fumigadas. Em cada frasco contendo solo foram acrescentados 50ml de sulfato de potássio (K_2SO_4) e foram colocados em uma agitador horizontal por 30min e deixados em repouso para decantar por mais 30 min. Após isso, os extratos foram submetidos a um processo de filtração em papel filtro.

A quantificação do carbono microbiano foi realizada segundo Tate et al. (1988). Para isso foram utilizados 2ml do extrato e 3ml de água deionizada em um tubo de ensaio e foram acrescentadas em ordem: 2,5ml de solução trabalho (quantidade conhecida de carbono), 2,5ml de ácido sulfúrico concentrado. As amostras foram agitadas e deixadas em repouso por 24h. Logo após esse período, foi feita a leitura da absorvância da curva padrão e das amostras em um espectrofotômetro, utilizando um comprimento de onda de 495nm.

3.4.2 Respiração acumulada do solo

A atividade dos microrganismos do solo foi medida com relação à respiração acumulada do solo (C-CO₂ liberado). Foram pesadas 50g das amostras de solo em frascos de vidro. Cada frasco foi alocado em recipiente de vidro com tampa e capacidade de 2 litros, com outros dois frascos de vidro de 50ml, um contendo água e outro contendo 10ml de hidróxido de sódio (NaOH). O recipiente de vidro foi hermeticamente fechado e mantido a uma temperatura de 25°C por um período de incubação de 8 dias, segundo Jenkinson e Powlson (1976). Após o período de incubação, titulou-se a solução de NaOH com ácido clorídrico (HCl) a 0,5mol L⁻¹, acrescentando-se 2ml de solução saturada de cloreto de bário (BaCl₂) para a precipitação do carbonato de sódio (Na₂CO₃), além de 2 gotas de solução alcoólica de fenolftaleína como indicador.

3.4.3 Índices microbiológicos

A partir dos dados obtidos, foram calculados o quociente metabólico (qCO_2) e o

quociente microbiano (q_{MIC}). O q_{CO_2} foi obtido a partir da relação entre a respiração acumulada do solo e o carbono da biomassa microbiana, segundo Anderson e Domsch (1993). O q_{MIC} foi obtido pela relação entre o carbono da biomassa microbiana e o carbono orgânico total.

3.4.4 Atividade da enzima β -glicosidase

A atividade da enzima β -glicosidase foi determinada segundo a metodologia proposta por Tabatabai (1994). Utilizou-se o p-nitrofenol- β -D-glucopiranosídeo (PNG) como substrato para a determinação da β -glicosidase. Em Erlenmeyer de 50mL foram adicionados 1g de solo, em seguida adicionou-se 4mL de solução tampão universal modificado - MUB a pH 6,0 e 1mL de solução de PNG. Os frascos foram fechados, agitados manualmente e incubados em estufa do tipo BOD por 1h a 37°C. Após este período, foi imediatamente adicionados 1mL de cloreto de cálcio ($CaCl_2$) a 0,5M e 4,0mL de tampão tris (hidroximetil) amino metano - THAM a pH 12 seguido de agitação. Em seguida, procedeu-se a filtragem da suspensão com papel filtro. A leitura foi feita em um espectrofotômetro a 410nm, baseada em uma curva padrão de p-nitrofenol. Como controle, procedeu-se os passos anteriores, adicionando-se o PNG somente após a incubação. A atividade desta enzima é expressa em μg de p-nitrofenol produzido por hora por grama de solo (μg p-nitrofenol $h^{-1} g^{-1}$ solo).

3.4.5 Atividade da enzima arilsulfatase

A atividade da arilsulfatase foi determinada de acordo com a metodologia proposta por Tabatabai e Bremner (1970). O substrato para atividade da enzima arilsulfatase é o p-nitrofenil sulfato (PNS). Em Erlenmeyer de 50 mL foram adicionados 1g de solo adicionado a frascos de vidro de 50mL junto a 4mL de solução-tampão acetato a pH 5,8 e 1mL da solução PNS, incubados em estufa BOD a 37°C por 1 hora. Em seguida, adicionou-se 1mL de cloreto de cálcio ($CaCl_2$) a 0,5M e 4mL de NaOH a 0,5M. Em seguida, procedeu-se a filtragem da suspensão com papel filtro. A leitura foi feita em um espectrofotômetro a 410nm, baseada em uma curva padrão de p-nitrofenol. Como controle, procedeu-se os passos anteriores, adicionando-se o PNS somente após a incubação. A atividade desta enzima é expressa em μg de p-nitrofenol produzido por hora por grama de solo (μg p-nitrofenol $h^{-1} g^{-1}$ solo).

3.5. Análises estatísticas

Os dados obtidos foram analisados quanto à homogeneidade das variâncias dos erros (teste de Cochran) e quanto à normalidade (teste de Lilliefors). Posteriormente, constatados que os dados foram paramétricos, estes foram submetidos à análise de variância (ANOVA), segundo um delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições. Quando a ANOVA mostrou resultado significativo no teste F ($p < 5\%$), as médias foram comparadas pelo teste de Fisher a 5% de significância. As análises foram realizadas com o auxílio do programa estatístico XLSTAT® Versão 19.2.2 (ADDINSOFT, 2019).

Com propósito de avaliar a relação entre atributos microbiológicos, químicos e físicos do solo e serapilheira, foi adotada a análise de correlação de Person a 5% de significância, também com uso do programa XLSTAT® Versão 19.2.2 (ADDINSOFT, 2019).

Adicionalmente, os dados foram submetidos à análise multivariada de componentes principais (ACP). As variáveis consideradas nesta análise foram: carbono orgânico do solo, carbono da biomassa microbiana, atividade microbiana, enzima arilsulfatase, enzima β -glicosidase, serapilheira total e atributos químicos do solo (pH, fósforo, potássio, cálcio e magnésio). O objetivo dessa análise foi condensar a variação multidimensional dos dados em um diagrama, ordenando os tratamentos nos componentes, de acordo com suas semelhanças e diferenças em torno das variáveis.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os solos estudados são de média acidez e de baixa a média fertilidade (Tabela 1). Apresentam teores de argila, variando entre 430g kg⁻¹ (SAF G) e 480g kg⁻¹ (FN), com valores intermediários no sistema SAF C (média de 440g kg⁻¹) (Tabela 2). Os teores de carbono orgânico do solo (COS) mostraram diferenças significativas entre os sistemas estudados (Tabela 3). O SAF G (34,11g kg⁻¹) manteve teores de carbono próximos aos da FN, embora sem variação significativa em relação ao MN (29,8g kg⁻¹). Por sua vez, o SAF C (23,1 g kg⁻¹) apresentou redução em relação aos outros sistemas.

Tabela 3 - Carbono orgânico, carbono da biomassa microbiana, respiração acumulada, quociente metabólico e quociente microbiano do solo em três sistemas de cultivo de café e floresta nativa, no município de Barra do Choça – Bahia, fevereiro de 2021

SISTEMAS	COS g kg ⁻¹	CBM µg g ⁻¹	RAS µg g ⁻¹	qCO ₂ µg g ⁻¹ h ⁻¹	qMIC %
SAF G	34,11 ab	259,01 c	142,11 ab	17,14 a	0,77 b
SAF C	23,11 c	468,43 b	62,37 b	3,63 c	2,02 a
MN	29,80 b	187,60 c	79,27 b	9,88 ab	0,63 b
FN	37,80 a	783,05 a	184,87 a	6,38 bc	2,06 a
CV(%)	21,2	59,1	59,3	75,9	54,2

SAF G: sistema agroflorestal de café com grevílea; SAF C: sistema agroflorestal de café com cedro; MN: monocultivo de café; FN: floresta nativa; COS: carbono orgânico do solo; CBM: carbono da biomassa microbiana do solo; RAS: respiração acumulada do solo; qCO₂: quociente metabólico; qMIC – quociente microbiano. Médias seguidas da mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste Fisher, a 5% de significância.

A similaridade do SAF G com a FN deve estar relacionada ao maior acúmulo de resíduos orgânicos no solo destes sistemas (Tabela 4). Essa explicação está de acordo com a maior proporção de raízes e material decomposto verificada na serapilheira destes sistemas, quando comparados aos demais (Tabela 4), o que denota um processo de transformação da serapilheira mais avançado e maior incremento de carbono no solo. Em florestas nativas, maiores acúmulos de COS são comumente relatados na literatura e estão relacionados à maior diversidade da vegetação, maior aporte de serapilheira e menor perturbação do ecossistema.

A presença da árvores de grevília no SAF G deve ter sido um fator preponderante para os maiores teores de COS, uma vez que essa espécie proporciona grandes entradas de serapilheira (MARTINS et al., 2004). Nesse sentido, Radomski e Ribaski (2012), quando avaliaram o efeito da grevília sobre a fertilidade do solo em um sistema silvipastoril, constataram que a quantidade de serapilheira depositada no solo foi cerca de

três vezes maior (12Mg ha^{-1}) nas posições próximas à projeção da copa das árvores e que isso favoreceu o acúmulo de COS na camada de 0-10 cm, observando quantidades superiores de C nos pontos mais próximos do renque arbóreo.

Os menores teores de COS observados no SAF C podem ser atribuídos à baixa adição de resíduos vegetais no solo e, como consequência, ao menor acúmulo de serapilheira observado nesse sistema de cultivo (Tabela 4). A inferioridade do SAF C, que tem a presença de componente arbóreo, em relação ao monocultivo deve ter relação com o amplo espaçamento adotado entre renques (16,5 m), que promove o aumento da incidência direta de raios solares no solo, influenciando a umidade (Tabela 2). Corroborando esses resultados, Santos (2012), ao avaliar a influência do plantio de cedro-australiano em sucessão ao cafeeiro sobre os teores de COS (camada 0-10cm), não observou diferença entre esses sistemas após 6 anos de cultivo, encontrando teores próximos ao do presente estudo ($26,5$ e $24,3 \text{ g kg}^{-1}$, para cedro-australiano e cafeeiro, respectivamente).

Tabela 4 - Resultado dos fragmentos de serapilheira, na camada de 0-10 cm do solo, sob três sistemas de cultivo de café e floresta nativa das fazendas Viçosa e Vidigal, no município de Barra do Choça - Bahia, fevereiro de 2021

SISTEMAS	Serapilheira					
	Folhas	Galhos+ Casca	Sementes	Raízes	Material decomposto	Total
	Mg ha^{-1}					
SAF G	9,14 a	2,27 b	1,31 a	1,68 b	15,56 b	29,97 b
SAF C	6,26 b	2,91 b	0,34 bc	0,00 c	4,92 c	14,44 c
MN	4,97 b	0,64 c	0,79 ab	0,00 c	4,11 c	10,52 c
FN	6,72 b	4,50 a	0,00 c	4,39 a	30,29 a	45,91 a
CV(%)	29,8	61,5	98,2	126,4	92,3	63,78

SAF G – sistema agroflorestal café com grevilea; SAF C – sistema agroflorestal de café com cedro; MN - monocultivo de café; FN - floresta nativa. Médias seguidas da mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste Fisher, a 5% de significância.

Os teores de carbono da biomassa microbiana (CBM) também evidenciaram diferenças entre os sistemas estudados. O SAF C ($468,43\mu\text{g g}^{-1}$) apresentou os maiores teores em relação aos demais sistemas de café, que não diferiram entre si (média de $223,30\mu\text{g g}^{-1}$). A floresta nativa apresentou os maiores teores de CBM (Tabela 3). Os sistemas de cultivo de café, devido à menor diversidade vegetal e de acordo com as constantes intervenções de manutenção e colheita, podem estar restringido o estabelecimento da biomassa microbiana. Padrão semelhante foi encontrado por Silva et al. (2012), que, avaliando atributos microbiológicos de solo sob sistemas agrícolas e

florestais, observaram que a atividade agrícola, tanto anual quanto perene, reduziu o CBM na ordem de 63% e 49%, respectivamente, em relação à média da floresta nativa ($365\mu\text{g g}^{-1}$ solo). Os autores sugerem que esse padrão indica que o possível revolvimento do solo durante as atividades agrícolas (capinas periódicas) pode ter diminuído a biomassa pelos danos causados às células microbianas.

O maior resultado de CBM observado no SAF C pode estar relacionado à qualidade da serapilheira depositada pelo cedro, possivelmente mais recalcitrante, que estaria condicionando a biodisponibilidade da matéria orgânica do solo. Embora o SAF G e o MN tenham apresentado os menores resultados de CBM, os estudos evidenciam que sistemas com espécies leguminosas, assim como a grevilea, proporcionam aumentos da biomassa microbiana do solo quando comparados a sistemas agrícolas convencionais, dada a maior qualidade nutricional da serapilheira destas espécies (COSTA, 2014). Isso sugere que outros fatores estariam influenciando a imobilização de carbono pela biomassa microbiana no SAF G.

A respiração acumulada do solo (RAS) seguiu o mesmo padrão do COS, com menores resultados no MN e SAF C em relação à floresta nativa, que, por sua vez, não se distinguiu do SAF G (Tabela 3). Isso denota que a elevação da (RAS) no SAF G e FN está relacionada à disponibilidade de matéria orgânica no solo, que é substrato para a atividade dos microrganismos. Segundo Meireles et al. (2019), maiores valores de (RAS) são atribuídos a uma elevação da taxa de mineralização de C, que pode divergir tanto para o efluxo de C do solo para a atmosfera, como também para a incorporação deste elemento na biomassa microbiana. Assim como outros processos metabólicos, a respiração é dependente do estado fisiológico da célula microbiana e é influenciada por diversos fatores do solo. Altas taxas de respiração podem indicar tanto um distúrbio ecológico como também um alto nível de produtividade do ecossistema (ISLAM; WEIL, 2000).

Seguindo padrão contrário ao CBM, o maior valor de $q\text{CO}_2$ foi observado no SAF G e MN, embora este último não tenha se distinguido da floresta nativa (Tabela 3). Isso sugere que as condições desses sistemas propiciam uma condição mais estressante para a população microbiana, demandando uma quantidade maior de energia. Altos índices de quociente metabólico indicam menor eficiência da biomassa microbiana na imobilização de carbono, liberando mais CO_2 para a atmosfera (BARRETO et al., 2008). Thomazini et al. (2015), avaliando o efeito de sistemas agroflorestais e sistema a pleno sol de café, verificaram níveis mais elevados de $q\text{CO}_2$ no monocultivo de café a pleno sol, em relação ao SAF e a floresta nativa. Esses autores atribuíram o resultado ao maior nível de

perturbação do monocultivo, ocasionando aumento na demanda de energia, em relação aos outros sistemas de cultivo. Por sua vez, os menores resultados de qCO_2 observados no SAF C e na FN indica uma maior disponibilização de recursos no sistema e que menos CO_2 foi perdido pela respiração.

Em concordância com os resultados discutidos anteriormente, o q_{Mic} mostrou menores resultados nos sistemas MN e SAF G (média de 0,7) em relação ao SAF C e FN (média 2,04) (Tabela 3). Valores reduzidos de quociente microbiano, inferiores a 1%, como observados no SAF G e MN, indicam que existe algum fator limitante à atividade microbiológica no solo sob esses sistemas, provavelmente advindo de desequilíbrios funcionais no ambiente, que se refletiu na menor utilização de carbono pela microbiota do solo (JAKELAITIS et al., 2008; BARRETO-GARCIA et al., 2021).

A atividade da enzima arilsulfatase se mostrou responsiva às mudanças proporcionadas pelos diferentes sistemas, com redução no MN, em relação ao SAF G e FN, e similaridade dos dois sistemas agroflorestais em relação à FN (Tabela 5). Isso sugere que a presença do componente arbóreo está sendo um diferencial na produção dessa enzima. Fica evidente nos resultados que sistemas em que há um incremento de matéria orgânica no solo, existem favorecimento e aumento dos teores da enzima arilsulfatase. Assim, o MN, por ser um sistema menos conservacionista, com menor acúmulo de serapilheira (Tabela 4) e menor teor de COS (Tabela 3), propiciou uma menor atividade dessa enzima. O aumento da atividade enzimática no solo reflete também um aumento na atividade biológica do solo, que, ao longo do tempo, pode ser um indicativo de que o sistema está favorecendo o acúmulo de MOS (MENDES et al. 2021). Mendes et al. (2020), em um experimento de longo prazo no Mato Grosso, observaram valores da enzima arilsulfatase 8 vezes maior em sistema soja/braquiária em relação à soja/pousio, o que, de acordo com os autores, está relacionado ao aporte contínuo da palhada da braquiária no solo, favorecendo o acúmulo da MOS no sistema e, assim, a ocorrência da enzima no solo.

Tabela 5 - Atividade das enzimas arilsulfatase e β -glicosidase em solo (profundidade 0-10 cm) sob três sistemas de cultivo de café e floresta nativa, no município de Barra do Choça-Bahia, fevereiro de 2021

SISTEMAS	Arilsulfatase	β -glicosidase
	$\mu\text{g p-nitrofenol h}^{-1} \text{g}^{-1} \text{solo}$	
SAF G	215,62 a	87,10 b
SAF C	181,12 ab	102,79 b
MN	134,01 b	95,03 b
FN	222,82 a	130,41 a
CV (%)	25,2	20,5

SAF G: sistema agroflorestal com grevilea; SAF C: sistema agroflorestal com cedro; MN: monocultivo de café; FN: floresta nativa. Médias seguidas da mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste Fisher, a 5% de significância.

A enzima β -glicosidase, por sua vez, apresentou padrão semelhante em todos os sistemas de cultivo de café, que não se diferenciaram entre si (Tabela 4). A β -glicosidase tem participação essencial na ciclagem de carbono no solo e, sendo assim, a redução da atividade dessa enzima nos sistemas de café pode ser atribuída a diferenças no acúmulo de fitomassa no solo, tanto em termos de quantidade (Tabela 4) quanto à qualidade, pela menor diversidade da serapilheira quando comparados a FN.

As correlações entre as variáveis químicas, físicas e microbiológicas estão descritas na Tabela 6. Correlações positivas e significativas ocorreram entre a RAS e o COS e a serapilheira e indicam que a atividade dos microrganismos é positivamente influenciada pelo carbono do solo e serapilheira. O CBM manteve uma correlação positiva com a β -glicosidase, o que denota que a degradação da matéria orgânica e imobilização de carbono pela biomassa microbiana é influenciada pela atividade da enzima β -glicosidase nos sistemas analisados. Por sua vez, ocorreram correlações negativas das variáveis microbiológicas CBM, RAS e atividade das enzimas β -glicosidase e arilsulfatase em relação as variáveis químicas do solo pH, P, K, Ca, Mg. Isso pode ser atribuído às práticas de fertilização das lavouras de café em longo prazo, que podem alterar significativamente as propriedades biológicas do solo, em que a incorporação de fertilizantes minerais interagem com as comunidades microbianas do solo.

Tabela 6 – Resultado da análise de correlação entre as variáveis COS (carbono orgânico do solo), CBM (carbono da biomassa microbiana), RAS (respiração acumulada do solo), Enzima arilsulfatase, Enzima β -glicosidase, Serapilheira, Argila, pH, P (fósforo), K (potássio), Ca (cálcio), Mg (magnésio)

Variáveis	Serapilheira	COS	CBM	RAS	SULFA	BETA	pH	P	K	Ca	Mg
Serapilheira	1	0,431	0,566	0,501	0,206	0,731	-0,689	-0,596	-0,217	-0,746	-0,641
COS		1	0,324	0,516	0,465	0,324	-0,696	-0,180	-0,387	-0,446	-0,484
CBM			1	0,388	0,479	0,749	-0,673	-0,730	-0,678	-0,636	-0,668
RAS				1	0,472	0,344	-0,568	-0,267	-0,443	-0,472	-0,422
SULFA					1	0,540	-0,379	-0,344	-0,633	-0,199	-0,241
BETA						1	-0,616	-0,713	-0,467	-0,574	-0,531
pH							1	0,568	0,714	0,915	0,872
P								1	0,519	0,510	0,598
K									1	0,616	0,712
Ca										1	0,882
Mg											1

Os valores em negrito são significativos a 5% de probabilidade de erro

Os atributos microbiológicos e químicos do solo e serapilheira, quando submetidos à análise de componentes principais explicaram 90,33% da dissimilaridade entre os sistemas com dois componentes: CP1, que explicou 73,69% e CP2, que explicou 16,64% da variabilidade total dos dados (Figura 10). Nessa mesma figura e na tabela 7 encontram-se as associações entre as variáveis originais e os componentes, em que são visualizadas as diferentes contribuições das variáveis na formação dos componentes principais e, conseqüentemente, na separação dos sistemas de acordo com as alterações ocorridas no solo em razão do cultivo. A grande maioria das variáveis estiveram mais associadas ao CP1, exceto no caso do K, que foi a única variável responsável pela variação no eixo principal 2 (Figura 10, Tabela 7). Assim, a dispersão gráfica dada pelo ACP foi apresentada em duas dimensões e sugeriu dissimilaridade entre os diferentes tratamentos (Figura 10): SAG G localizou-se no quadrante superior direito, próximo ao CP2; MN e SAF C ficaram agrupados no quadrante inferior direito mais associados a CP1; e a FN no quadrante inferior esquerdo também próxima ao CP1.

A aproximação entre o SAF C e o MN (Figura 10) demonstra similaridade entre estes sistemas quanto à sua influência nos atributos do solo. Isso pode ser explicado pela estrutura e composição desses sistemas, que os torna menos complexos quando comparados ao SAF G e a FN. Embora o SAF C seja um sistema misto, o componente arbóreo está presente em baixa densidade e, além disso, apresenta baixa capacidade de acumular serapilheira, conforme discutido anteriormente. Isso se reflete em menor acúmulo e diversidade da serapilheira, que estaria condicionando o estabelecimento da biomassa microbiana e atividade enzimática.

Ainda na ACP, a dissimilaridade da FN e do SAF G em relação aos demais sistemas também deve ter relação com suas características. Ambos apresentam componente arbóreo e grande incremento de resíduos orgânicos, o que estaria proporcionando um ambiente específico que atua como fonte de energia e nutrientes para a comunidade microbiana do solo. Assim, o isolamento da floresta nativa e associação com os atributos microbiológicos CBM e β -glicosidade (Figura 10, Tabela 7) indica que a menor interferência antrópica, a maior diversidade florística e, como conseqüência, a maior quantidade e diversidade da serapilheira depositada nesse sistema propicia um ambiente com microclima mais favorável ao desenvolvimento dos microrganismos.

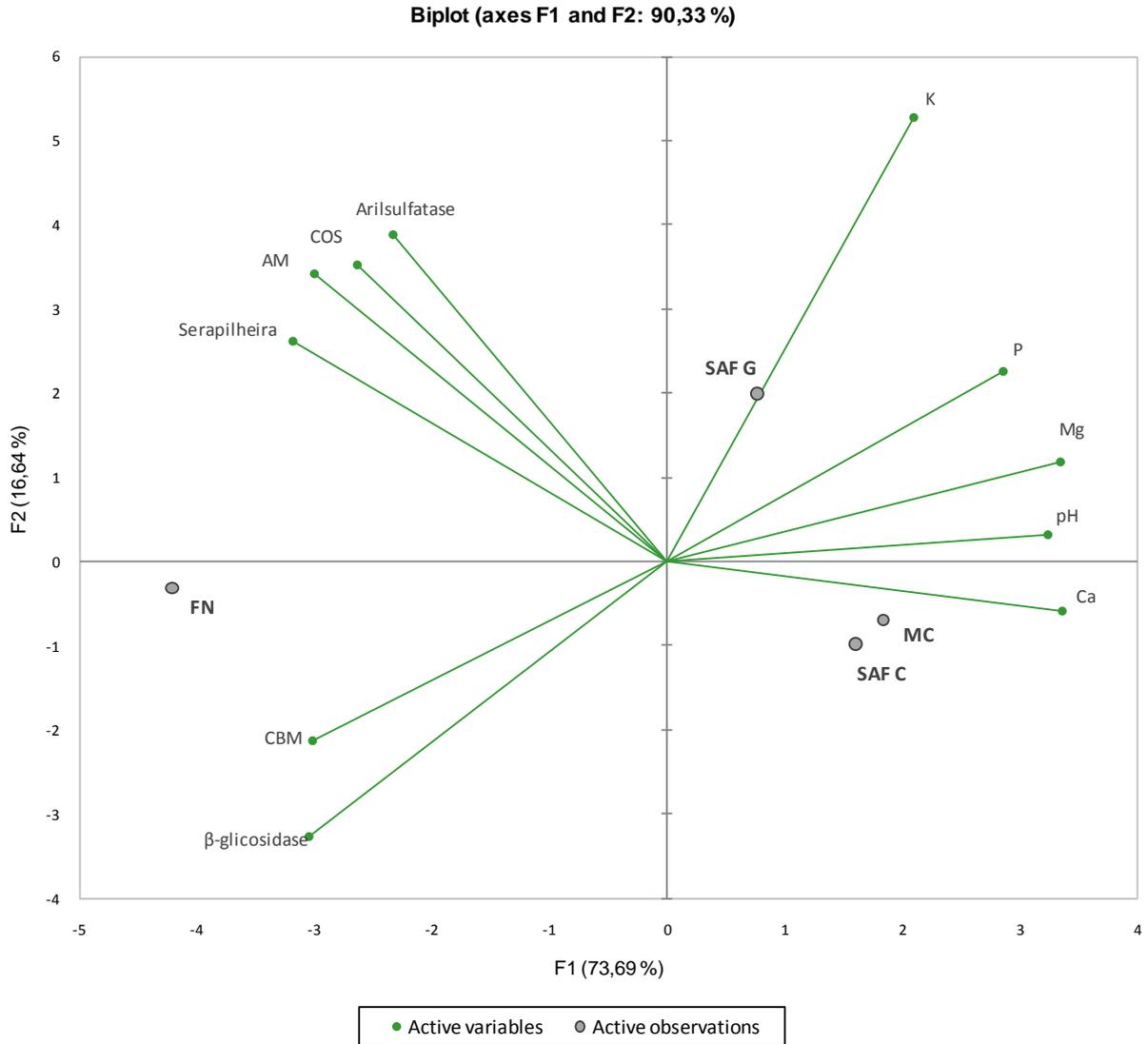


Figura 10 - Diagrama de ordenação resultante da análise de componentes principais dos atributos do solo e serapilheira em sistemas de cultivo de café e floresta nativa. Em que: SAF G: sistema agroflorestal de café com grevilea; SAF C: sistema agroflorestal de café com cedro-australiano; MN: monocultivo de café; FN: floresta nativa; COS: carbono orgânico do solo; CBM: carbono da biomassa microbiana do solo; AM: atividade microbiana; qCO_2 : quociente metabólico; $qMIC$: quociente microbiano; Serap. Total: acúmulo total da serapilheira.

Tabela 7 - Cargas fatoriais e variabilidade explicada pelos eixos na análise de componentes principais (ACP) da serapilheira, atributos microbiológicos e químicos do solos em SAF G (sistema agroflorestal com grevilea), SAF C (sistema agroflorestal com cedro), MN (monocultivo de café), FN (floresta nativa)

Variáveis/ Sistemas	Componente de variação		
	PC1	PC2	PC3
Cargas fatoriais			
Serapilheira	-0.927	0.362	0.100
CBM	-0.878	-0.295	0.376
AM	-0.875	0.471	-0.111
Arilsulfatase	-0.681	0.536	0.500
β -glicosidase	-0.887	-0.451	0.100
COS	-0.766	0.487	-0.419
pH	0.944	0.045	0.327
P	0.833	0.313	-0.456
K	0.610	0.728	0.313
Ca	0.981	-0.082	0.178
Mg	0.976	0.163	0.142
Pontuação fatorial			
SAF G	0.770	1.988	0.141
SAF C	1.605	-0.981	1.223
MC	1.839	-0.694	-1.292
FN	-4.215	-0.313	-0.072
%			
Variability	73.690	16.643	9.667
Cumulative	73.690	90.333	100.000

Serapilheira (serapilheira total), CBM (carbono da biomassa microbiana), AM (atividade microbiana), Arilsulfatase, β -glicosidase, COS (carbono orgânico do solo), pH, P (fósforo), K (potássio), Ca (cálcio), Mg (magnésio).

A separação do SAF G, em associação à quase todos os atributos químicos do solo (K, P, Ca e pH), sugere que esse sistema pode exercer um papel mais efetivo na melhoria ou manutenção da qualidade do solo. Isso deve ter relação com a maior taxa de transformação da serapilheira desse sistema, expressa pela maior proporção de material decomposto (Tabela 4) e pelas características do sistema radicular do componente arbóreo. As raízes da grevilea, que são proteoides (extremamente finas e ramificadas), aumentam a capacidade de captação de água e nutrientes (KALIL FILHO

et al., 2004) e incrementam as entradas de matéria orgânica no solo. Em consonância com essa explicação, Monroe et al. (2021), estudando um sistema agroflorestal de *Grevillea robusta* e *Coffea arábica*, observaram que a concentração de raízes finas influencia positivamente o estoque de carbono orgânico total na camada superficial do solo (0-10 cm). Ainda de acordo com esses autores, a presença das raízes finas na camada superficial é favorecida pela maior disponibilidade de nutrientes provenientes da MOS via serapilheira.

5. CONCLUSÕES

A presença do componente arbóreo nos sistemas produtivos de café impactaram positivamente os atributos microbiológicos do solo. Os teores de carbono orgânico do solo (COS) e carbono da biomassa microbiana (CBM), respiração acumulada do solo (RAS), atividade das enzimas arilsulfatase e β -glicosidase e acúmulo de serapilheira no solo mostram-se indicadores sensíveis de alterações ocasionadas pelos sistemas de cultivo de café.

Entre os sistemas de cultivo de café estudados, o sistema agroflorestal de café com grevilea mostra-se mais favorável aos atributos microbiológicos do solo, proporcionando maior teor de carbono orgânico, acúmulo de serapilheira e maior atividade das enzimas arilsulfatase e β -glicosidase.

O SAF C também demonstra eficiência em manter os atributos microbiológicos do solo, expressando maiores teores de carbono da biomassa microbiana e respiração acumulada do solo em relação ao monocultivo.

A tendência de melhoria da qualidade do solo em sistemas agroflorestais em relação ao monocultivo é especialmente importante ao avaliar cenários de sistemas de cultivo no Planalto da Conquista, que é bastante diverso e envolve várias práticas que podem impactar severamente a sustentabilidade da cultura.

6. REFERÊNCIAS

- ACOSTA-MARTÍNEZ, V. et al. Long-term soil microbial community and enzyme activity responses to an integrated cropping-livestock system in a semi-arid region. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 137, n. 3-4, p. 231-240, 2010.
- ADDINSOFT (2019). XLSTAT statistical and data analysis solution. Boston, USA. <https://www.xlstat.com>. Version 19.2.2. (2019).
- ALEF, K.; NANNIPIERI, P. Methods in Applied Soil Microbiology and Biochemistry. London, **Academic Press**. 1995.
- ALTIERI, M.A. Agroecologia: bases científicas para uma agricultura sustentável. Rio de Janeiro: **AS-PTA**, 2012.
- ALVARENGA, M.I. N.; MARTINS, M. Fatores edáficos de cafezais arborizados. In: MATSUMOTO, S.N. **Arborização de cafezais no Brasil. Vitória da Conquista: UESB**, 2004.
- ANDERSON, J. P. E.; DOMSCH, K. H. The metabolic quotient of CO₂ (qCO₂) 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**, San Diego, v. 25, n. 3, p. 393-395. 1993.
- ARAGÃO, D.V. et al. Avaliação de indicadores de qualidade do solo sob alternativas de recuperação do solo no Nordeste Paraense. **Acta Amazônica**, vol. 42, 2012.
- ARAÚJO, A.S.F.; MONTEIRO, R. T. R. Microbial biomass and activity in a Brazilian soil plus untreated and composted textile sludge. **Chemosphere**, Oxford, v. 64, 2006.
- ARAÚJO, E.A. et al. Qualidade do solo: conceitos, indicadores e avaliação. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, v. 5, 2012.
- ARAÚJO, A.S.F.; MELO, W. J. Biomassa microbiana do solo. Teresina, **UFPI**, 2012.
- ARRUDA, T.J.M. et al. Elementos de inovação para o desenvolvimento sustentável da cafeicultura indígena na Amazônia. **Gestão & Regionalidade** - Vol. 36, 2020.
- BALOTA, E.L. et al. Microbial biomass in soils under different tillage and crop rotation systems. *Biology and Fertility of Soils*, v.38, 2003.
- BARRETO, P.A.B. Atividade, carbono e nitrogênio da biomassa microbiana em plantações de eucalipto, em uma seqüência de idades. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32 p. 611-619, 2008.
- BARRETO-GARCIA, P.A.B. et al. Short-term effects of forest management on soil microbial biomass and activity in caatinga dry forest, Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 481, 2021.

BŁOŃSKA, E.W.A. LASOTA, J; GRUBA, P. Enzymatic activity and stabilization of organic matter in soil with different detritus inputs, **Soil Science and Plant Nutrition**, 63:3, 242-247, 2017.

BORGES DOS SANTOS, T.E. et al. Comportamento da comunidade microbiana no sistema silviagrícola na região de cerrado. **Revista Agrotecnologia - Agrotec**, v. 9, 2018.

BUENO, P.A.A. et al. Indicadores microbiológicos de qualidade do solo em recuperação de um sistema agroflorestal. **Acta Brasiliensis, [S.I.]**, v. 2, 2018.

BÜNEMANN, E.K. et al. Qualidade do solo - uma revisão crítica. **Soil Biol. Biochem.** p. 105 -125, 2018.

CARRERO, G. Sistemas Agroflorestais e a produção de café agroflorestal na Amazônia Gestão e Governança Local para a Amazônia Sustentável – **Notas Técnicas**. 2018.

CHAER, G.M. Modelo para a determinação de índice de qualidade do solo baseado em indicadores físicos, químicos e microbiológicos, Viçosa: **UFV**, 2001.

CHAER, G.M. et. al. Caracterização microbiológica do solo. **EMBRAPA Florestas**, cap.9, p. 159-173, 2014.

CLIMATE-DATA.ORG Clima: Barra do Choça - BA. In: <https://pt.climate-data.org/location>. 2020.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Café, Brasília**, DF, v. 8, safra 2021, n. 1, primeiro levantamento, jan. 2021.

COSTA, C.C.A. et al. Análise comparativa da produção de serrapilheira em fragmentos arbóreos e arbustivos em área de caatinga na Flona de Açú - RN. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, n. 34, v. 2, p. 259-265, 2010.

COSTA, M.G. et al. Leguminosas arbóreas para recuperação de áreas degradadas com pastagem em Conceição de Macabu, Rio de Janeiro, Brasil. **Scientia Forestalis**, v.42, p.101-112, 2014.

COSTA, R.S.C. Adequação de sistema de produção de café sombreado em Rondônia e Acre. **Embrapa**, 2019.

DAS, D. et al. Potassium supply capacity of an east Indian red soil after forty-two years of continuous cultivation and fertilization. **Geoderma**, 34, p. 76-92, 2019.

DICK, R.P.; BREACKWELL, D.P.; TURCO, R.F. Soil enzyme activities and biodiversity measurements as integrative microbiological indicators. In: DORAN, J.W.; JONES, A.J. (eds.) **Methods for assessing soil quality**. Madison: SSSA, 1996.

DORAN, J.W., PARKIN, T.B. Quantitative indicators of soil quality: a minimum data set. In: DORAN, J.W., JONES, A.J., EDS. **Methods for assessing soil quality**. Madison, **Soil Science Society of America**. p.25-37, 1996.

DUTRA NETO, C. Café e desenvolvimento sustentável, perspectivas para o desenvolvimento sustentável no Planalto de Vitória da Conquista. ed. 1, Vitória da Conquista, BA, 2004.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa do Solo. **Manual de métodos de análise de solo** / Paulo César Teixeira, et al., editores técnicos. – 3. ed. rev. e ampl. – Brasília, DF: 2017.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Embrapa Cerrados - Circular Técnica (INFOTECA-E)** / Ieda de Carvalho Mendes, et al., editores técnicos. Brasília, DF: 2019.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Estudos socioeconômicos e ambientais. Relatório mensal fevereiro de 2021. Brasília, DF: **EMBRAPA**, 2021.

EPELDE, L. et al. Microbial properties and attributes of ecological relevance for soil quality monitoring during a chemical stabilization field study. **Applied Soil Ecology**, v. 75, 2014.

FERREIRA et al. Deposição, acúmulo e decomposição de serapilheira em área preservada de Caatinga. **Revista Agrarian**. v.12, Dourados, 2019.

FLORESTAS, CENTRO DE INTELIGÊNCIA EM. Sistemas Agroflorestais. CIFlorestas, 2017. Disponível em: <<http://www.ciflorestas.com.br/texto.php?p=sistemas>>.

FREITAS, C.S; SILVA, L. M; AZEVEDO, J. M. Qualidade da Serapilheira em Floresta Tropical com *Bertholletia excelsa*. In: SEMANA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DO IFAC, 5. **Anais da V SIC**, Rio Branco: PROINP/IFAC, 2015.

GAMA-RODRIGUES, E.F. Biomassa microbiana e ciclagem de nutrientes. In: SANTOS, G. A. & CAMARGO, F. A. O. Ed. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre, Gênese, 1999.

GAMA-RODRIGUES, E.F. et al. Nitrogênio, carbono e atividade da biomassa microbiana do solo em plantações de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, 2005.

GAMA-RODRIGUES, E.F.; GAMA-RODRIGUES, A. C. Biomassa microbiana e ciclagem de nutrientes. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L.; CANELLAS, L.P.; CAMARGO, F. A. O. (Ed.) **Fundamentos da matéria orgânica no solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2. ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008.

GAMA-RODRIGUES, E.F. et al. Atributos químicos e microbianos de solos sob diferentes coberturas vegetais no norte do estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, 2008.

GONÇALVES, V. A. et al. Biomassa e atividade microbiana de solo sob diferentes sistemas de plantio e sucessões de culturas. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 62, 2019.

GUIMARÃES, N.D.F. et al. Biomassa e atividade microbiana do solo em diferentes sistemas de cultivo do cafeeiro. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 40, 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Censo Agropecuário 2017**. Rio de Janeiro: IBGE, 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola** - Área plantada, área colhida e produção, por ano da safra e produto das lavouras, Junho, 2021.

ISLAM, K. R.; WEIL, R. R. Soil quality indicator properties in mid-Atlantic soils as influenced by conservation management. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 55, 2000.

IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **Carta de Conjuntura | 46 | 1º trimestre de 2020**, sessão VI- Economia Agrícola, 2020.

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**, Goiânia, v.38, 2008.

JENKINSON, D.S.; POWLSON, D.S. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil. V. Method for measuring soil biomass. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v.8, 1976.

KALIL FILHO, A.N.; MARTINS, E.G.; HOFFMANN, H.A. Propagação Vegetativa da *Grevillea robusta* A. Cunn. por Enxertia. Comunicado Técnico n.113. **Embrapa Florestas**. Outubro, 2004.

KÖPPEN W. **Climatologia: com um estúdio de los climas de la tierra**. New Gersey: Laboratory of Climatology. 1948.

KUNDE, R.J. et al. Carbono da biomassa microbiana e respiração basal do solo em sistemas de integração lavoura pecuária no bioma Pampa. **Revista da jornada de pós-graduação e pesquisa**. 2016.

LARSON, W.E.; PIERCE, F.J. The Dyanamics of soil quality as a measure of sustainable management. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; 1994.

LI, Y. et al. Conservation agriculture practices increase soil microbial biomass carbon and nitrogen in agricultural soils: A global meta-analysis. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 121, 2018.

LIU, X.M. et al. Distribuição das atividades de enzimas do solo e biomassa microbiana ao longo de um gradiente latitudinal em fazendas da planície de Songliao, nordeste da China, *Pedofera* , v. 18, p. 431 – 440, 2008.

LISBÔA, F.M. et al. Indicadores de qualidade de Latossolo relacionados à degradação de pastagens. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 51, 2016.

LOPES, A.A.D.C. et al. Interpretation of Microbial Soil Indicators as a Function of Crop Yield and Organic Carbon. **Soil Science Society of American Journal**, 2013.

MANHAES, C.M.C.; FRANCELINO, F. M. A. Estudo da inter-relação da qualidade do solo e da serapilheira com a fauna edáfica utilizando análise multivariada. **Nucleus**, v. 9, 2012.

MATIELLO, J.B. et al. Cultura do café no Brasil: novo manual de recomendações. Varginha: **Fundação Procafé**, 2005.

MATSUMOTO, S.N. Arborização de Cafezais no Brasil. **Editora Uesb**, Salvador-BA, 2004.

MATSUOKA, M.; MENDES, I.C.; LOUREIRO, M.F. Biomassa microbiana e atividade enzimática em solos sob vegetação nativa e sistemas agrícolas anuais e perenes na região de Primavera do Leste (MT). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, 2003.

MBOW, C. et al. Soluções agroflorestais para enfrentar os desafios da segurança alimentar e das mudanças climáticas na África. **Curr. Opiniões Environ. Sustentar**, 2014.

MEIRELES, I.D.S. et al. Respiração basal do solo em consórcio de cafeeiro com grevília. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 10., 2019, Vitória. Anais. Brasília, DF: **Embrapa Café**, 2019.

MELO, W.J.D.E. Enzimas no solo. **Sociedade Brasileira de ciência do solo**, 1988.

MELLO, F.A.F.; BRASIL SOBRINHO, M. de O.C.; AZZOLLA, S. et al., Fertilidade do solo, São Paulo: **Nobel**, 1984.

MENDES, I.C.; REIS JÚNIOR, F.B. Microrganismos e disponibilidade de fósforo (P) nos solos: uma análise crítica. **Embrapa Cerrados**, Planaltina, DF, 2003.

MENDES, I.C. et al. Indicadores de qualidade biológica para manejo sustentável de solos arenosos. Viçosa, MG: **Boletim Informativo Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 2018.

MENDES, I.C. et al. Bioanálise de solo: a mais nova aliada para a produtividade agrícola. **Informações agronômicas NPCT – Nutrição de Plantas Ciência e Tecnologia**, Piracicaba-SP, n. 8, ed. dezembro, 2020.

MENDES, I. C. et al. Tecnologia BioAS : uma maneira simples e eficiente de avaliar a saúde do solo. **Embrapa Cerrados**, et al. Planaltina, DF, 2021.

MINASNY, B., et al.. Soil carbon 4 per mille. **Geoderma**, ed. 292, p. 59–86, 2017.

MONROE, P.H.M. Fine root contribution to the soil carbon stock of an agroforestry system in a Caatinga-Atlantic Forest transition zone. **RBCIAMB**, v.56, n.1, Mar, 2021.

MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. Microbiologia e bioquímica do solo – 2.ed. atual. e

ampl. - **Lavras**: UFLA, 2006.

NGUYEN, T.T.; MARSCHNER, P. Soil Respiration, Microbial Biomass and Nutrient Availability in Soil After Addition of Residues with Adjusted N and P Concentrations, **Pedosphere**, v.2, p 76-85, 2017.

NUNES, L.A.P.L. et al. Impacto da queimada e de enleiramento de resíduos orgânicos em atributos biológicos de solo sob caatinga no semi-árido nordestino. **Revista Caatinga**, v.22, p.131-140, 2006.

ORGANIZAÇÃO INTERNACIONAL DO CAFÉ - OIC. **Produção total no ano-safra pelos países exportadores**, 2021.

ORGANIZAÇÃO INTERNACIONAL DO CAFÉ - OIC. **Consumo mundial de café, 2021**.

ORGANIZAÇÃO PARA A ALIMENTAÇÃO E AGRICULTURA – FAO. Avanço da agrossilvicultura na agenda política: um guia para tomadores de decisão. **Documento de Trabalho da Agrossilvicultura Nº. 1**. Roma, 2013.

PAUL, E.A.; CLARK, F.E. Soil microbiology and biochemistry. **Academic Press**, San Diego, 1996.

PAZUTTI, L.V.B.; CHAER, G.M. Desenvolvimento de metodologia de baixo custo para análise de beta glicosidase em solos. Seropédica: **Embrapa Agrobiologia**, 2012.

PRAGANA, R.B. et al. Atributos biológicos e dinâmica da matéria orgânica em Latossolos Amarelos na região do Cerrado piauiense sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, vol. 36, 2012.

RADOMSKI, M. I.; RIBASKI, J. Fertilidade do solo e produtividade da pastagem em sistema silvipastoril com *Grevillea robusta*. **Pesquisa Florestal Brasileira (Impresso)** , v. 32, p. 53-62, 2012.2012.

SAATH, K.C.O; FACHINELLO, A. L. Crescimento da demanda mundial de alimentos e restrições do fator terra no Brasil. **Rev. Econ. Sociol. Rural**, Brasília , v. 56, 2018.

SALES, E. F. Cafezais sombreados : experiências com o manejo do sistema no Estado do Espírito Santo / Eduardo Ferreira Sales ; Adriana Baldi. – Vitória, ES: **Incaper**, 2020.

SANTOS, L.L. Carbono orgânico do solo: efeito da posição na paisagem e do reflorestamento em sucessão ao cafeeiro no oeste de Minas Gerais. 2012. 116 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012.

SANTOS, M.O.D.; BARRETO-GARCIA, P.A.B.; GAMA-RODRIGUES, E.F. Soil Microbial Biomass as an Edge Effect Indicator in Semi-Deciduous Seasonal Forest Fragments. **Floresta e Ambiente**, v. 26, 2019.

SEAGRI. Secretaria da Agricultura, Irrigação e Reforma Agrária. Diagnóstico e propostas para a cadeia produtiva do café da Bahia. **Agricultura - Planejamento – Bahia**, 2011.

SHARMA, S.B. et al. Phosphate solubilizing microbes: sustainable approach for managing phosphorus deficiency in agricultural soils. **Singer Plus**, Gujarat v. 2, 2013.

SILVA, C.P. et al. Carbono orgânico total, biomassa microbiana e atividade enzimática do solo de áreas agrícolas, florestais e pastagem no médio Vale do Paraíba do Sul (RJ). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36. 1680-1689, 2012.

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

SINGH, J.S.; GUPTA, V.K. Soil microbial biomass: A key soil driver in management of ecosystem functioning. **Science of the Total Environment**, v. 634, 2018.

SMITH, L.S. et al. Bioquímica: Aspectos gerais. Rio de Janeiro: 7. ed. **Guanabara Koogan**, 1985.

SOARES, B.S. Práticas de manejo e conservação do solo da cultura cafeeira na bacia hidrográfica do Riacho Água Fria, Barra do Choça – Bahia. **Revista de Geociências do Nordeste**, v. 2, 2016.

SOUZA, L.M.D.E; CHAER, G.M. Bioanálise de solo : aspectos. **Tópicos em Ciências do Solo**, 2019.

SOUZA, M.P.D.E et al. Qualidade da serapilheira em área de caatinga submetida a plano de manejo florestal Quality of litter in Caatinga area submitted to forest management plan. **Anais 5o Semana de Iniciação Científica do IFAC**, Dezembro, v. 12, 2017.

SWIFT, M.J.; HEAL, O.W.; ANDERSON, J.M. Decomposition in terrestrial ecosystems. (Studies in Ecology, 5). **Oxford: Blackwell**, 1979.

TABATABAI, M.A; BREMNER, J.M. Arylsulphatase activity in soils. **Soil Science Society**. America Proceeding, v.34, 225-229, 1970.

TABATABAI, M.A. Enzymes. In: WEAVER, R. W.; AUGLE, S.; BOTTOMLY, P. J.; BERDICEK, Q.; SMITH, S.; TABATABAI, M. A.; WOLLUM, A. (Ed.) Methods of soil analysis: microbiological and biochemical properties. Madison: **Soil Science Society of America**, 1994.

TATE, K.R.; ROSS, D.J.; FELTHAM, C.W. A direct extraction method to estimate soil microbial C: effects of experimental variables and some different calibration procedures. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v.20, 1988.

THOMAZINI, A. et al. SOC dynamics and soil quality index of agroforestry systems in the Atlantic rainforest of Brazil, **Geoderma Regional**, v. 5, p. 15-24, 2015.

VANCE, E.D.; BROOKES, P.C.; JENKINSON, D.S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v.19, 1987.

VIEIRA, M.V.M. et al. Indicadores de sustentabilidade e influência de sistemas agroflorestal e convencional sobre a qualidade do solo e do café arábica em Piumhi-MG. **Revista Verde**, v. 10, 2015.

WALKLEY, A.; BLACK, I. A. An examination of the degtjareff method for determining soil organic matter, and proposed modification of the chromic acid titration method. **Soil Science**, Baltimore, v. 37, 1934.

WITT, C. et al. A rapid chloform-fumigation extraction method for measuring soil microbial biomass carbon and nitrogen in flooded rice soils. **Biology and Fertility of Soils**, v. 30, mar. 2000.

ZHAO, Q. et al. Monocultura do café a longo prazo altera as propriedades químicas do solo e as comunidades microbianas. **Sci. Rep**, 2018.