

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

ANA FLÁVIA BRANDÃO ROCHA

Indicadores de qualidade do solo em sistemas agroecológicos no Cerrado Mineiro

Uberlândia
2021

ANA FLÁVIA BRANDÃO ROCHA

Indicadores de qualidade do solo em sistemas agroecológicos no Cerrado Mineiro

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Uberlândia, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Qualidade Ambiental – Mestrado, área de concentração em Meio Ambiente e Qualidade Ambiental, para a obtenção do título de “Mestre”.

Área de concentração: Qualidade Ambiental

Orientadora: Prof^a Dr^a Ana Carolina Silva Siquieroli

Uberlândia

2021

Ficha Catalográfica Online do Sistema de Bibliotecas da UFU
com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

R672 2021	<p>Rocha, Ana Flávia Brandão, 1992- Indicadores de qualidade do solo em sistemas agroecológicos no cerrado mineiro [recurso eletrônico] / Ana Flávia Brandão Rocha. - 2021.</p> <p>Orientadora: Ana Carolina Silva Siquieroli. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia, Pós-graduação em Qualidade Ambiental. Modo de acesso: Internet. Disponível em: http://doi.org/10.14393/ufu.di.2021.183 Inclui bibliografia. Inclui ilustrações.</p> <p>1. Desenvolvimento sustentável. I. Siquieroli, Ana Carolina Silva, 1982-, (Orient.). II. Universidade Federal de Uberlândia. Pós-graduação em Qualidade Ambiental. III. Título.</p> <p style="text-align: right;">CDU: 502.33</p>
--------------	--

Bibliotecários responsáveis pela estrutura de acordo com o AACR2:

Gizele Cristine Nunes do Couto - CRB6/2091



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
 Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Qualidade Ambiental
 BR 050, Km 78, Bloco 1CCG, Sala 206 - Bairro Glória, Uberlândia-MG, CEP 38400-902
 Telefone: (34) 2512-6717 - www.ppgmq.iciag.ufu.br - ppgmq@iciag.ufu.br



ATA DE DEFESA - POS-GRADUAÇÃO

Programa de Pós-Graduação em:	Qualidade Ambiental (PPGMQ)				
Defesa de:	Dissertação de Mestrado Acadêmico, 01/2021, PPGMQ				
Data:	17 de março de 2021	Hora início:	de 8:30	Hora encerramento:	de 2:0s
Matrícula da Discente:	11912MQA003				
Nome da Discente:	ANA FLAVIA BRANDAO ROCHA				
Título do Trabalho:	INDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO EM SISTEMAS AGROECOLOGICOS DA AGRICULTURA FAMILIAR				
Área de concentração:	Meio Ambiente e Qualidade Ambiental				
Linha de pesquisa:	Processos Ambientais				
Projeto de Pesquisa de vinculação:	Diversidade e Atividade da Microbiota do Solo				
Novo título sugerido pela Banca:	INDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO EM SISTEMAS AGROECOLOGICOS NO CERRADO MINEIRO				

Reuniu-se por meio de web conferência, a Banca Examinadora, designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Qualidade Ambiental (PPGMQ), assim composta: Prof.a Dr.a Ana Carolina Silva Siquieroli (orientadora da candidata); Prof.a Dr.a Adriane de Andrade Silva (UFU); Prof. Dr. Lucas Carvalho Basilio de Azevedo (UFU); e Prof. Dr. Luis Augusto da Silva Domingues (IFTM).

Iniciando os trabalhos a presidente da mesa Prof.a Dr.a Ana Carolina Silva Siquieroli apresentou a Comissão Examinadora e a candidata, agradeceu a presença do público, e concedeu a Discente a palavra para a exposição do seu trabalho. A duração da apresentação da Discente e o tempo de arguição e resposta foram conforme as normas do Programa.

A seguir a senhora presidente concedeu a palavra, pela ordem sucessivamente, aos examinadores, que passaram a arguir a candidata. Ultimeira a arguição, que se desenvolveu dentro dos termos regimentais, a Banca, em sessão secreta, atribuiu o resultado final, considerando a candidata:

Aprovada.

Esta defesa faz parte dos requisitos necessários à obtenção do título descrito na tabela acima. O competente diploma será expedido após cumprimento dos demais requisitos, conforme as normas do Programa, a legislação pertinente e a regulamentação interna da UFU.

Nada mais havendo a tratar foram encerrados os trabalhos. Foi lavrada a presente ata que após lida e achada conforme foi assinada pela Banca Examinadora.



Documento assinado eletronicamente por **Ana Carolina Silva Siquieroli, Professor(a) do Magistério Superior**, em 17/03/2021, as 12:01, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por Lucas Carvalho Basflio de Azevedo, Professor(a) do Magistério Superior, em 17/03/2021, as 12:01, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por Adriane de Andrade Silva, Professor(a) do Magistério Superior, em 17/03/2021, as 12:05, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por Luis Augusto da Silva Domingues, Usuário Externo, em 17/03/2021, as 14:11, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador 2613988 e o código CRC 7F4B5336.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais pelo incentivo nesta jornada. Ao meu namorado pelo companheirismo, paciência e incentivo.

A todas as pessoas que me ajudaram no Laboratório de Genética, Bioquímica e Biotecnologia (LAGEB), Amanda, Danielle e Jéssyca. Também agradeço aos Técnicos de Laboratório que me ajudaram com os experimentos desse trabalho, em especial à Lorraine e Túlio.

Agradeço a minha orientadora, Profa. Dra. Ana Carolina Silva Siquieroli, com o meu muito obrigada pela paciência, atenção, apoio e incentivo durante todo o programa de mestrado. E também às pessoas que me auxiliaram nessa pesquisa: Rafael Pereira Silva, Profa. Adriane de Andrade Silva, Prof. Bruno Nery Fernandes Vasconcelos, Prof. Ednaldo Carvalho Guimarães e Prof. André Luiz Firmino.

Agradeço também aos membros da banca de defesa da dissertação, à Profa. Adriane de Andrade Silva, ao Prof. Lucas Carvalho Basílio de Azevedo e ao Prof. Luis Augusto da Silva Domingues.

Agradeço à CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pelo fomento, apoio financeiro e consolidação do programa de pós-graduação stricto sensu em qualidade Ambiental e demais programas no Brasil.

Agradeço à Universidade Federal de Uberlândia (UFU), à Pró-reitora de Pesquisa e Pós Graduação (PROPP-UFU), ao Instituto de Ciências Agrárias (ICIAG) e ao Programa de Pós Graduação em Qualidade Ambiental – UFU pelo incentivo a pesquisa e ao desenvolvimento sustentável e ambiental.

SUMÁRIO

RESUMO.....	i
ABSTRACT.....	ii
1 INTRODUÇÃO	1
2 REFERENCIAL TEÓRICO	4
2.1 O solo.....	4
2.2 Microrganismos do Solo.....	4
2.3 Indicadores de Qualidade do solo.....	5
2.4 Agroecologia.....	6
2.5 Agroflorestas.....	8
3 MATERIAL E MÉTODOS	10
3.1 Caracterização da área de estudo	10
3.2 Amostragem	13
3.3 Análises Químicas, Bioquímicas e microbianas do solo.....	15
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	18
5 CONCLUSÃO	27
REFERÊNCIAS.....	28

RESUMO

ROCHA, ANA FLÁVIA BRANDÃO. **Indicadores de Qualidade do Solo em Sistemas agroecológicos no Cerrado Mineiro**. 2021. 46p. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Qualidade Ambiental) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia - MG¹

A qualidade do solo é a sua capacidade de funcionar dentro dos limites do ecossistema e do uso da terra para assegurar a produtividade biológica, preservar a qualidade ambiental e promover a saúde dos vegetais e dos animais. Assim, o objetivo deste trabalho foi selecionar indicadores de qualidade de solo sensíveis às diferentes práticas agrícolas adotadas em áreas de sistemas agroecológicos na região do Cerrado Mineiro. As amostras de solos foram coletadas na camada de 0 a 20 cm, no final do período de seca, em três diferentes propriedades agrícolas familiares que se dedicam ao cultivo agroecológico (CA) localizadas nos municípios de Romaria e Uberlândia, Minas Gerais, Brasil. Foram avaliadas 10 amostras de solo sendo cinco áreas com manejo agroecológico e cinco áreas de pasto como referência. Foram avaliados os atributos químicos, população da microbiota, carbono da biomassa microbiana (CBM), respiração basal (RBS) e atividade das enzimas beta-glucosidase, fosfatase e arilsulfatase. As variáveis respiração basal, beta-glucosidase, pH, colônias de bactérias e de actinobactérias foram sensíveis aos diferentes manejos de cultivo agroecológico (CA) e pasto, podendo assim ser utilizadas como indicadores de qualidade de solo. Os valores médios entre a razão de CA e pasto destes indicadores foram 1,69, 1,20, 3,57 e 2,44, respectivamente. As áreas de cultivo agroecológico apresentaram um solo de melhor qualidade e, possivelmente, maior atividade das suas funções básicas.

Palavra-chave: agrofloresta; respiração basal; carbono da biomassa microbiana; atividade enzimática.

¹Orientadora: Ana Carolina Silva Siquieroli - Universidade Federal de Uberlândia

ABSTRACT

ROCHA, ANA FLÁVIA BRANDÃO. **Indicators of Soil Quality in Agroecological Systems in the Cerrado Mineiro**. 2021. 46p. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Qualidade Ambiental) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia -MG²

Soil quality is its ability to function within the limits of ecosystem and land use to ensure biological productivity, preserve environmental quality, and promote plant and animal health. Thus, the objective of this work was to select soil quality indicators sensitive to different agricultural practices adopted in areas of agroecological systems in the Cerrado Mineiro region. Soil samples were collected in the 0 to 20 cm layer, at the end of the dry season, in three different rural properties dedicated to an agroecological system (AS) located in the municipalities of Romaria and Uberlândia, Minas Gerais, Brazil. Ten soil samples were evaluated, five areas with agroecological management and five pasture areas as reference. Chemical attributes, microbiota population, microbial biomass carbon (MBC), basal soil respiration (BSR), and activity of beta-glucosidase, phosphatase, and arylsulfatase enzymes were evaluated. The variables basal respiration, beta-glucosidase, pH, bacterial, and actinobacteria colonies were sensitive to different agroecological (AS) and pasture management, thus these variables can be used as indicators of soil quality. The mean values between the ratio of AS and pasture of these indicators were 1.69, 1.20, 3.57 and 2.44, respectively. The agroecological cultivation areas presented a better-quality soil and, possibly, greater activity of its basic functions.

Keywords: agroforestry; basal soil respiration; microbial biomass carbon; enzymatic activity.

² Supervisor: Ana Carolina Silva Siquieroli - Universidade Federal de Uberlândia

1 INTRODUÇÃO

A agroecologia refere-se a princípios de práticas de produção agrícola que melhoram os sistemas ecológicos. Isso inclui a reciclagem de nutrientes, melhoria dos solos e aumento das interações entre os diferentes componentes. Como exemplo, pode ocorrer a integração de animais e safras, plantio de outras culturas, e também aumento da biodiversidade (WACH, 2021). Fornece os princípios para gerenciar agroecossistemas produtivos e garantir a conservação de recursos naturais, sendo, portanto, culturalmente sensíveis, socialmente justos e economicamente viáveis (ALTIERI et al., 2008). Diferencia-se da agricultura orgânica por ter a agricultura familiar como foco de atuação (AZEVEDO; PELICIONI, 2011) e pelo caráter social.

Modelos agrícolas alternativos e sustentáveis, como a agroecologia, tendem a reduzir os efeitos ambientais ou sociais adversos da agricultura convencional que afetam negativamente as áreas rurais (SKRZYPCZYŃSKI et al., 2021). O movimento agroecológico se desenvolveu em oposição ao uso de insumos agroquímicos como pesticidas e fertilizantes inorgânicos, mecanização e monoculturas, visto que essas práticas esgotam os solos, reduzem a biodiversidade, poluem os cursos d'água e causam outros danos ambientais (WACH, 2021). A adoção de sistemas agroecológicos vem sendo impulsionada, principalmente, pela demanda da sociedade por alimentos mais saudáveis e para que a produção resulte em menores impactos ambientais (FERREIRA, STONE; MARTIN-DIDONET, 2017; LIMA et al., 2020).

Uma abordagem multifuncional para o sistema alimentar são os sistemas agroflorestais (SAFs) que trabalham o solo de forma sustentável, pois esse tipo de manejo pode fornecer simultaneamente benefícios econômicos, ecológicos e culturais (WILSON; LOVELL, 2016). Os sistemas agroflorestais combinam árvores e arbustos com culturas e/ou gado, de maneira a aumentar e diversificar a produção agrícola e florestal, além de conservar os recursos naturais (ARAUJO et al., 2012; WILSON; LOVELL, 2016). Algumas formas de conservação promovidas pela agrofloresta são: a possível redução da perda de fósforo e nitrogênio e a vegetação perene na agrofloresta que aumenta a biomassa acima do solo, o que retarda o escoamento e pode reter até 95% do sedimento evitando sua perda, além de hospedar populações microbianas que podem metabolizar pesticidas. Além disso, nesse tipo de manejo ocorrem maiores índices de sequestro de carbono em relação aos manejos de monocultura e de pastagem. Quando comparada com as monoculturas, a agrofloresta contribui para a conservação da biodiversidade, pois ao adicionar árvores, arbustos e outras vegetações perenes

há o fornecimento de mais habitats para um maior número de populações de vida selvagem. Essa biodiversidade pode fornecer serviços úteis, como mais predadores para ajudar a manter as pragas sob controle e habitat para espécies polinizadoras (WILSON; LOVELL, 2016).

Esse é um sistema que evita a degradação do solo e aumenta o acúmulo de carbono orgânico nos solos pela inclusão da vegetação, o que provavelmente aumenta a biomassa microbiana (ARAUJO et al., 2012). As agroflorestas podem sequestrar mais carbono orgânico do solo do que as lavouras anuais, pois a vegetação perene retorna continuamente as matérias orgânicas vegetais para o solo e a remoção das árvores nos sistemas agroflorestais ocorre com menor frequência do que nas lavouras anuais (LIM et al., 2018).

De acordo com Bünemann et al. (2018), a qualidade do solo é mensurada pela capacidade do solo de funcionar dentro dos limites do ecossistema e do uso da terra para assegurar a produtividade biológica, preservar a qualidade ambiental e promover a saúde das plantas e animais. A alta qualidade do solo é caracterizada pela manutenção da alta produtividade, sem significativa degradação ambiental (LI et al., 2013).

Alguns exemplos de indicadores de qualidade do solo são o carbono da biomassa microbiana, a respiração basal e as atividades enzimáticas, os quais são importantes para avaliar os efeitos do cultivo e alterações do uso da terra. Em especial, a biomassa microbiana do solo e as enzimas geralmente respondem mais rapidamente à perturbação das práticas agrícolas ou às mudanças nas condições ambientais em relação a outras variáveis do solo (RAIESI; BEHESHTI, 2014).

A biomassa microbiana é a parte viva e mais ativa da matéria orgânica do solo, composta, especialmente, por fungos, bactérias e arqueas (SOUZA et al., 2015). A biomassa microbiana pode refletir alterações na matéria orgânica e no desenvolvimento do solo, visto que a microbiota participa de processos que afetam o ecossistema e estão ligados com a fertilidade do solo, ciclagem de nutrientes, dinâmica da matéria orgânica, degradação de poluentes e mudanças no estoque de carbono (ARAUJO et al., 2012; MENDONÇA, 2005).

A atividade enzimática indica o potencial metabólico relacionado ao substrato e pode fornecer informações de mudanças qualitativas na matéria orgânica do solo e disponibilidade de nutrientes decorrentes das práticas de manejo ou do ambiente (EVANGELISTA et al., 2012; MATSUOKA; MENDES; LOUREIRO, 2003).

A respiração basal do solo é um método utilizado para quantificar a atividade metabólica (FARIAS et al., 2018), correspondendo à soma de todas as funções metabólicas nas quais o dióxido de carbono é produzido no solo. As bactérias e os fungos são os principais responsáveis pela liberação deste composto (DA SILVA; DE AZEVEDO; DE-POLLY, 2007). A

mensuração da respiração basal é conceituada como uma estimativa indireta da velocidade de decomposição da matéria orgânica ou de algum outro material (FARIAS et al., 2018).

O conceito de qualidade do solo foi desenvolvido para poder avaliar a condição de um solo sob um manejo específico (SARMIENTO; FANDINO; GOMEZ, 2018). Estudos revelam que as agroflorestas aumentam muitas das variáveis métricas usadas na medição da qualidade do solo e que, assim, esse tipo de manejo promove a melhoria da saúde do solo (DOLLINGER; JOSE, 2018).

O Cerrado Brasileiro é o segundo maior bioma do Brasil e se estende por uma área que corresponde a 2 milhões de km². Esse bioma ocupa um quarto do Brasil e abriga uma das maiores biodiversidades do mundo. A vegetação desse bioma é caracterizada por um mosaico de diferentes formações que variam de pastagens a florestas e que diferem em estrutura e composição e em níveis de espécies decíduas. Os solos do Cerrado são normalmente ácidos e pobres em nutrientes, com altos níveis de alumínio e baixo teor de cátions trocáveis, como Ca, Mg, K. O solo predominante é o latossolo e o regime de precipitação anual consiste em um período de relativa elevação (1500 mm) e uma estação seca de 4 meses de junho a setembro. A sazonalidade das chuvas contribui para um elevado intemperismo do solo, com baixa disponibilidade de nutrientes (PROCÓPIO; BARRETO, 2021).

Assim, o objetivo deste trabalho foi selecionar indicadores de qualidade de solo para sistemas agroecológicos da agricultura familiar no Cerrado Brasileiro, nos municípios de Uberlândia e Romaria.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 O solo

O solo tem o papel fundamental no desempenho da produção agrícola, agindo também na manutenção da qualidade ambiental (RECH et al., 2013). A qualidade do solo é a sua capacidade em funcionar dentro do ecossistema visando sustentar a produtividade biológica, manter a qualidade ambiental e impulsionar a saúde da fauna e da biota. Esta qualidade pode ser avaliada pelo uso de indicadores físicos, químicos e biológicos (DE ARAÚJO; MONTEIRO, 2007). A relevância da utilização de indicadores está ligada à expressão da funcionalidade do solo, o que evidencia as deficiências das áreas avaliadas e orienta para a recuperação do solo (CAVALCANTE et al., 2020). Um bom indicador do solo deve ter a capacidade de interferir nos processos ecológicos, integrar as propriedades físicas, químicas e biológicas, e também ser facilmente utilizável por pessoas (DE ARAÚJO; MONTEIRO, 2007).

2.2 Microrganismos do Solo

Os microrganismos são um dos principais componentes ativos do solo que regulam a ciclagem de nutrientes, afetando a produtividade e estabilidade dos ecossistemas (RAMPELOTTO et al., 2013). Também influenciam na transformação da matéria orgânica, na estocagem do carbono e nutrientes minerais (MATSUOKA; MENDES; LOUREIRO, 2003), auxiliando na manutenção da diversidade de plantas, uma vez que os microrganismos têm papel fundamental no funcionamento sustentável dos processos naturais do solo (RAMAKRISHNA; YADAV; LI, 2019; SACCÁ et al., 2017).

As alterações da comunidade e atividade microbiana podem acarretar mudanças nas propriedades químicas e físicas, o que pode significar um sinal de melhoria ou degradação do solo (CANEI et al., 2018). É provável que, em solos com maior diversidade da microbiota, a possibilidade de se encontrar microrganismos que operem em processos importantes, como a degradação de agrotóxicos e a manutenção dos processos microbiológicos em condições de estresse ambiental é maior (RECH et al., 2013). Como a comunidade microbiana do solo está atrelada à sustentabilidade agrícola, ela pode ser usada como indicador potencial para a avaliação da qualidade do solo (ALAGELE et al., 2020).

2.3 Indicadores de Qualidade do solo

Um dos principais indicadores microbiológicos são a biomassa microbiana, a respiração basal e as atividades enzimáticas do solo (DE ARAÚJO; MONTEIRO, 2007). A microbiota do solo, por suas características como a abundância e atividade bioquímica e metabólica, proporcionam respostas mais rápidas a mudanças no ambiente, com maior antecedência do que indicadores químicos e físicos (ALVES, 2018; ARAÚJO; MONTEIRO, 2007; RECH et al., 2013). De acordo com Eslaminejad et al. (2020), os indicadores de atividades enzimáticas relacionadas aos ciclos de carbono, nitrogênio ou fósforo da biomassa microbiana e respiração basal são confiáveis para avaliação da qualidade do solo. Estes indicadores são ferramentas que podem direcionar planejamentos e a avaliação de práticas de manejo (MATSUOKA; MENDES; LOUREIRO, 2003). Além desses indicadores, as variáveis químicas são comumente utilizadas para avaliar a qualidade do solo (TEIXEIRA et al., 2021). De acordo com Teixeira et al. (2021), a relação entre as variáveis biológicas, químicas e a físicas também ajudam a compreender melhor as respostas do solo com o manejo.

A respiração basal, é a taxa constante de respiração no solo, que se origina da mineralização da matéria orgânica e é estimada com base na emissão de dióxido de carbono ou na absorção de oxigênio (CREAMER et al., 2014). A respiração basal reflete a atividade geral ou energia gasta pelos microrganismos do solo, sendo um parâmetro ideal para observar a decomposição. A respiração basal pode apresentar uma flutuação natural, o que depende de fatores ambientais, como umidade, temperatura e disponibilidade de substrato (BOLAT, 2014).

O carbono da biomassa microbiana (CBM) também é um indicador de qualidade do solo, o qual é essencial na fração de carbono lábil do solo e desempenha uma função importante na dinâmica do carbono orgânico, servindo como um indicador de mudanças na estabilização do carbono do solo e na dinâmica dos nutrientes após as práticas de manejo (LIU et al., 2016). O CBM é um indicador muito sensível em relação aos ciclos de energia e transferência de nutrientes, o que reflete pequenas alterações na matéria orgânica do solo antes mesmo das mudanças de carbono total (YANG et al., 2016). A biomassa microbiana é influenciada por vários fatores, como pela presença e características da copa das árvores, umidade do solo, temperatura, textura do solo, pH e práticas de manejo (BOLAT, 2014).

Outro bioindicador é a atividade enzimática, a qual pode ser utilizada para avaliar várias situações no solo, incluindo aspectos relacionados à fertilidade, remediação de solos contaminados e para o gerenciamento de impacto e qualidade (CAVALCANTE et al., 2020). A atividade enzimática é um bom indicador, pois a decomposição de compostos orgânicos pelos microrganismos acontece a partir da atividade de enzimas dos grupos das hidrolases e

oxidoredutases, as quais catalisam reações de catabolismo de vários compostos orgânicos complexos, envolvendo grande parte dos ciclos de nutrientes (ALVES, 2018).

Muitas enzimas desempenham funções essenciais no solo, como a de catalisar reações biológicas e químicas e de promover, por exemplo, a mineralização do fósforo orgânico do solo e a decomposição da matéria orgânica e do nitrogênio (ESLAMINEJAD et al., 2020). A arilsulfatase, por exemplo, hidrolisa ésteres de sulfato e é uma enzima essencial para a mineralização de enxofre orgânico do solo. Por esse motivo, é utilizada com frequência como um indicador de fertilidade do solo (BOURANIS et al., 2019).

A intensificação da atividade enzimática pode estar associada com a estabilização do carbono no solo (ALVES, 2018). As enzimas β -glucosidase e fosfatase ácida são sensíveis à mudança do manejo da cultura podendo indicar alterações. Portanto, pesquisas mostram que a atividade das enzimas são bons indicativos de qualidade e sustentabilidade do solo cultivado (EVANGELISTA et al., 2012). Além disso, os microrganismos do solo podem acessar a energia e os nutrientes em substratos complexos por meio da atividade dessas enzimas (ESLAMINEJAD et al., 2020).

Além dos indicadores biológicos e físicos, os indicadores químicos também são utilizados para mensurar a qualidade do solo (DE ARAÚJO et al., 2012). Esses indicadores do solo são utilizados principalmente no contexto das relações de nutrientes no solo (SCHOENHOLTZ; VAN MIEGROET; BURGER, 2020). De acordo com Gomes e Filizola (2006), um dos principais indicadores de qualidade do solo são pH, carbono orgânico, capacidade de troca de cátions, nitrogênio, fósforo e potássio. As concentrações desses elementos podem potencialmente contaminar o solo ou podem ser necessárias para o crescimento e desenvolvimento das plantas (GOMES; FILIZOLA, 2006). Segundo Gomes e Filizola (2006), as condições químicas do solo interferem nas relações solo-planta, na qualidade da água, no poder tampão, na disponibilidade de nutrientes e de água para as plantas e outros organismos vivos e na mobilidade de contaminantes.

2.4 Agroecologia

As abordagens de manejo do solo são importantes para a transição da sustentabilidade, buscando harmonizar os objetivos de conservação e desenvolvimento por meio do manejo conjunto dos meios de subsistência e dos ecossistemas associados (ANDREOTTI et al., 2020).

As práticas agrícolas de conservação desempenham uma função importante na melhoria da biomassa microbiana. Sistemas de manejo sustentáveis como agroflorestas podem ajudar a manter e melhorar a biomassa microbiana do solo, a qualidade do solo e o carbono orgânico do

solo (CO) (ALAGELE et al., 2020). Os manejos sustentáveis podem aumentar o CO a partir das maiores entradas de diferentes raízes de plantas, folhas, galhos e ramos. A matéria orgânica do solo pode aumentar população de microrganismos do solo por ser alimento, fonte de energia e carbono para esses organismos do solo (ALAGELE et al., 2020).

A agroecologia é o estudo integrativo da ecologia do sistema alimentar, o qual abrange dimensões ecológicas, econômicas e sociais (WEZEL et al., 2020). Esse conceito envolve formas alternativas de prática agrícola que funcionam em conjunto com os sistemas naturais e se opõe aos ideais da cadeia alimentar da agricultura industrial. A agroecologia cresceu como um movimento social ao longo da história e está associada aos aspectos socioculturais (RESLER; HAGOLANI-ALBOV, 2020).

A agroecologia visa minimizar os insumos externos sintéticos e tóxicos e promove processos ecológicos e serviços ecossistêmicos para o desenvolvimento e implementação de práticas agrícolas (WEZEL et al., 2020). Essa prática visa redesenhar o sistema alimentar, englobando as dimensões ecológica, econômica e social da sustentabilidade, por meio de pesquisas e ações transdisciplinares e participativas. Esse tipo de manejo pode ser utilizado para a prestação de serviços ecológicos específicos, como para o controle de pragas, controle de plantas daninhas e melhora da fertilidade do solo (CIACCIA et al., 2019; WOOD et al., 2015). A utilização dos sistemas agroecológicos pode reforçar as interações entre plantas, animais, humanos e o meio ambiente para alcançar sistemas agrícolas e alimentares mais sustentáveis. As práticas agroecológicas em sistemas agrícolas podem contribuir para o aumento da produção de alimentos sem comprometer a segurança alimentar das futuras gerações, principalmente em cenários atuais de perda de biodiversidade e mudanças climáticas (GONZÁLEZ-CHANG et al., 2020). Além disso, a agroecologia é uma alternativa para a conservação dos recursos naturais (GONDIM et al., 2020).

De acordo com Wezel et al. (2020), existe um caminho de transição de uma forma de agricultura industrial para sistemas agroecológicos que apresenta cinco níveis. O primeiro visa aumentar a eficiência das práticas industriais e convencionais para reduzir o uso e consumo de insumos caros, escassos ou prejudiciais ao meio ambiente (GLIESSMAN, 2016). O segundo nível de transição prevê a substituição de insumos convencionais que causam impactos negativos ao ambiente, substituindo-os pelo uso de biota coexistente (como predadores naturais de pragas) a fim de melhorar a absorção de nutrientes pelas plantas, e a tolerância ao estresse e defesas contra pragas e doenças. O terceiro nível consiste no redesenho dos sistemas agrícolas para aumentar a diversidade do sistema, melhorar a saúde do solo e dos animais, aumentar a diversificação e a reciclagem, reduzir os insumos e aumentar as sinergias nesses sistemas. Nesse

nível, pode ser utilizado o uso estratégico de resíduos de colheita como cobertura morta e ração animal. O quarto e quinto nível ampliam o foco para abranger todo o sistema alimentar. O quarto nível estabelece uma relação próxima entre os agricultores com as pessoas que consomem os alimentos, em que são desenvolvidas vendas diretas e novas redes alternativas de alimentos e outros acordos de marketing direto que visam ser mais justos. O quinto envolve a construção de um novo sistema alimentar global sustentável que restaura e protege os sistemas de suporte de vida ao planeta (WEZEL et al., 2020).

2.5. Agroflorestas

As agroflorestas são um tipo de manejo para o uso da terra que utilizam práticas sustentáveis. Desta forma, são sistemas de produção e de gestão de recursos naturais de bases ecológicas que, por meio da integração de árvores e paisagem agrícola, diversificam e sustentam a produção com o objetivo de aumentar os benefícios sociais, econômicos e ambientais (ATANGANA et al., 2013; MASCARENHAS et al., 2021; QUANDT; NEUFELDT; MCCABE, 2017). Esse tipo de sistema integra e envolve combinações de árvores, culturas anuais, produção de gado e outras atividades agrícolas em vários arranjos espaciais ou sequências temporais na paisagem, o que pode aumentar a eficiência dos sistemas de produção e apoiar a resiliência ecológica e social (DAWSON et al., 2013; QUANDT; NEUFELDT; MCCABE, 2017). De acordo com Pezarico et al. (2013), os sistemas agroflorestais (SAFs) têm como objetivo minimizar o efeito da intervenção humana nos sistemas naturais. O consórcio de muitas espécies em uma mesma área aumenta a diversidade do ecossistema, em que as interações benéficas são aproveitadas por plantas de diferentes ciclos, portes e funções (PEZARICO et al., 2013).

Para o desenvolvimento das agroflorestas devem ser levados alguns aspectos em consideração, como: (i) nas agroflorestas são utilizadas árvores perenes que devem ser adaptadas à região para trazer benefícios como comida, sombra e refúgio para os seres vivos; (ii) as espécies da agroflorestas devem ser bem conhecidas e nesses locais deve haver culturas que são alimentos básicos para a população, para assim ocorrer uma interação positiva tanto do ponto de vista ecológico como econômico; (iii) os *stakeholders*, como os fazendeiros, pesquisadores, consumidores e políticos, devem se envolver no desenvolvimento da agroflorestal, desde a identificação das espécies até a disseminação desse tipo de manejo. O processo de criação da agroflorestal deve ser participativo (ATANGANA et al., 2013). O SAF

é importante na transformação da agricultura em paisagens sustentáveis e oferece uma ampla gama de benefícios ambientais, sociais e econômicos (ANDREOTTI et al., 2020).

Os sistemas agroflorestais podem fornecer serviços ecossistêmicos significativos. Esse tipo de manejo pode abrigar biodiversidade, melhorar a ciclagem de nutrientes, prevenir a erosão do solo e ajudar no controle de enchentes e recarga de aquíferos (AVALOS-SARTORIO; BLACKMAN, 2010; MASCARENHAS et al., 2021). A disponibilidade de nutrientes nas agroflorestas está relacionada com as diferentes espécies de plantas e árvores presentes nesse sistema. Os processos de decomposição e mineralização da serapilheira fornecem estoque abundante de nutrientes e, como consequência, melhoram a produtividade das culturas. Os principais suprimentos de nutrientes são a decomposição da serapilheira, a lixiviação de nutrientes das folhas e por chuvas enriquecidas com nutriente, sendo que não são todas as formas de nutrientes que podem ser assimiladas diretamente pelas plantas. Assim sendo, a disponibilidade de nutrientes no solo também é diretamente afetada pela atividade microbiana (DOLLINGER; JOSE, 2018). Assim, nesses sistemas, a incorporação de árvores em terras agrícolas pode melhorar as propriedades químicas e biológicas do solo adicionando matéria orgânica, liberando e reciclando nutrientes e assim, melhorando sua fertilidade. Essa melhoria também está associada às propriedades microbianas do solo e à atividade enzimática (TIAN, CAO; WANG, 2013).

De acordo com Béliveau et al (2017), a inclusão de árvores em sistemas agrícolas normalmente contribui para a conservação do solo e fertilidade. A menor erosão nos sistemas agroflorestais pode ocorrer devido aos resíduos vegetativos e a presença de plantas perenes e gramíneas (BÉLIVEAU et al, 2017). Além do mais, algumas das características ecológicas das espécies agroflorestais tornam esse ambiente resiliente a inundações e secas, a exemplo, a inclusão de árvores com raízes profundas é capaz de aumentar o volume de poros do solo destinados à água e nutrientes. As árvores de sombra podem produzir microclimas os que protegem contra as variações de temperatura, as quais podem reduzir a evapotranspiração. Ademais, as árvores têm a capacidade de proteger as culturas das agroflorestas das tempestades (QUANDT; NEUFELDT; MCCABE, 2017).

Além disso, as agroflorestas podem melhorar a conservação da floresta, a produção de alimentos e os meios de subsistência. A diversidade de árvores dentro dos sistemas agroflorestais tem um papel central com a função ecológica, como exemplo os corredores e habitats biológicos, os quais são fundamentais para a conservação da biodiversidade. Esse tipo de manejo ajuda a preservar germoplasma de espécies sensíveis e a reduzir as taxas de conversão do habitat natural. (UDAWATTA; RANKOTH; JOSE, 2019).

3 MATERIAL E MÉTODOS

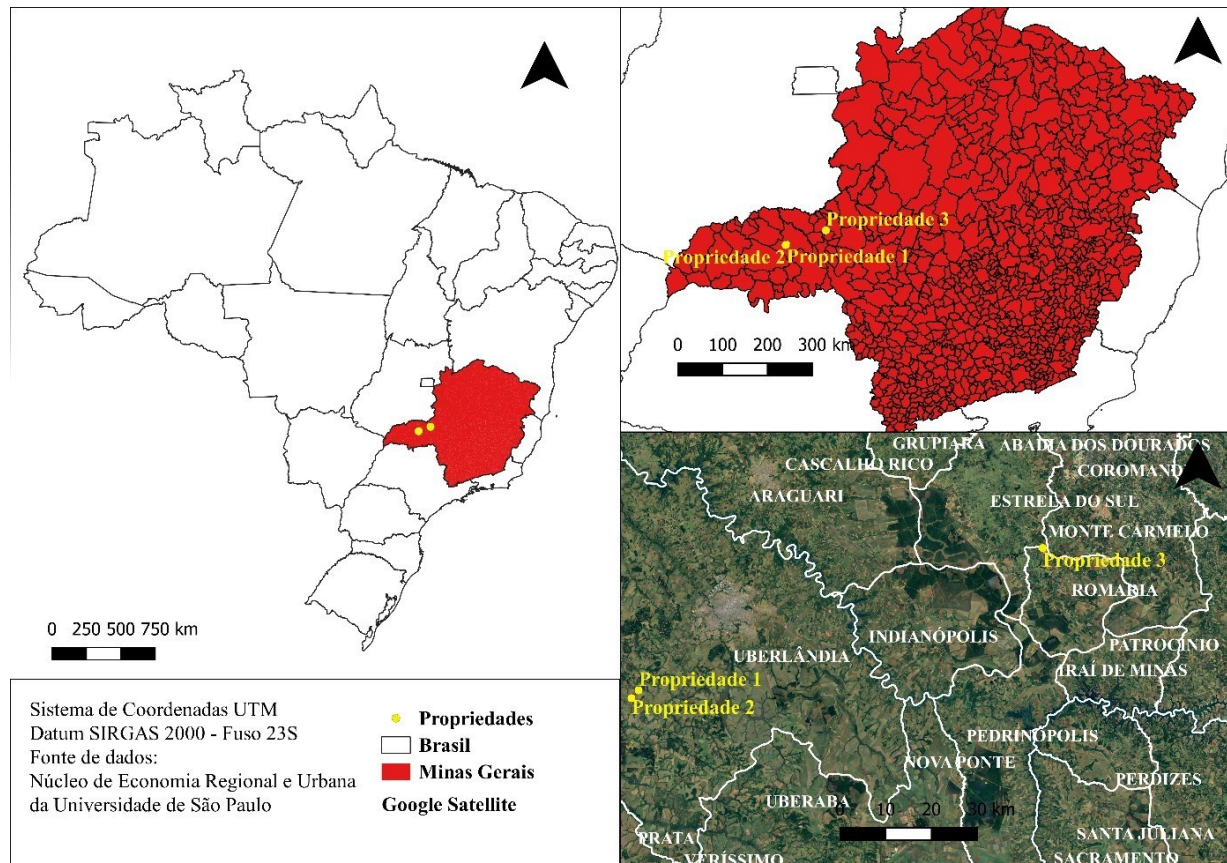
3.1 Caracterização da área de estudo

Sistemas de produção agroecológica dependem de um período mínimo de transição de um ano, e possuem particularidades em suas formas de implantação. Nesse sentido optou-se pela escolha de três propriedades agroecológicas da agricultura familiar, sendo que as propriedades 1 e 2 desenvolvem sistemas agroecológicos dentro de um mesmo assentamento rural na cidade de Uberlândia-MG, os quais foram implantados em 2015 e a transição para a produção agroecológica foi finalizada em 2017. A outra propriedade rural agroecológica está localizada na cidade de Romaria-MG. As propriedades 1 e 3 participam de Organizações de Controle Social (OCS), sendo seus produtores certificados como orgânicos pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA).

A propriedade agrícola familiar 1, localizada em Uberlândia-MG, de coordenadas geográficas 19°04'05.0"S 48°27'51.6"W (Figura 1) tem uma área total de 12,5 ha, sendo 2.493 m² ocupados por um sistema agroecológico e agroflorestal (CA1) e uma área ao lado destinada à produção agroecológica (CA2). As espécies agrícolas e florestais encontradas na área CA1 foram: mamão, manga, angico vermelho, embaúba, jatobá, ipê roxo, mutambo, tamboril, guariroba, eucalipto, mamona, feijão guandu, capim elefante, margaridão, gliricídia, feijão de porco, mucuna e capim brachiaria. Já na área CA2 foram encontrados: alho, capim limão, cebolinha, coentro, erva cidreira, hortelã, pimenta, salsa, cebola, acerola banana, limão, maracujá, goiaba, amora, caju, feijão macaço; milho; abobrinha, berinjela, jiló, tomate cereja, maxixe, morango, alface, alho poró, almeirão, beldroega, brócolis, couve espinafre, mostarda, repolho, rúcula, batata doce, beterraba, araruta, cenoura, rabanete, inhame, mandioca, batata yacon, e girassol. O principal aspecto que diferencia a área de CA1 e de CA2 dessa propriedade é que no CA2 há uma predominância de hortaliças e o CA1 é constituído em sua maior parte por espécies arbóreas. O produtor rural dessa propriedade, por questões ambientais, deixou uma área para recomposição agroflorestal (área de CA1), com exploração dos cultivos que já haviam sido implantados antes de 2015, mas sem a reintrodução de hortaliças, as quais dependeriam de adubação constantemente. Além disso, o CA2 possui uma maior diversidade e quantidade de espécies vegetais. As áreas de CA1 e CA2 dessa propriedade são irrigadas com efluente aquícola das tilápias, que é rico em nutrientes. (SILVA et al., 2019). Além disso, essas duas áreas recebem aportes de Yoorin, que também contém fósforo, cálcio, magnésio, silício e outros

nutrientes, e Fosfato Bicálcico. A adição desses insumos agrícolas é permitida pelas normativas de cultivos agroecológicos/orgânicos. Além disso, também foram incorporados compostos orgânicos no solo dessas áreas, que são fontes de macro e micronutrientes.

Figura 1 - Localização das propriedades agrícolas familiares. Propriedades 1 e 2: manejadas com cultivo agroecológico localizadas no Município de Uberlândia, MG; Propriedade 3: cultivo agroecológico, localizado no Município de Romaria, MG.



Fonte: A autora (2021)

Na propriedade 1 foram coletadas duas amostras por se tratar de áreas com práticas agrícolas distintas: CA1 corresponde ao manejo agroecológico e agroflorestal implantado em 2015; e CA2 que corresponde ao manejo agroecológico com a predominância de hortaliças, implantado em 2017 (Tabela 1), além das duas amostras de pasto utilizadas como referência.

Tabela 1 - Características das amostras coletadas nas propriedades sob cultivo agroecológico (CA).

Propriedade	Amostra	Solo ¹	Município
1	CA1	Neossolo Quartzarênico hidromórfico	Uberlândia
	CA 2	Latossolo Vermelho Distrófico, textura média, extrato inferior da paisagem	
2	CA 3	Latossolo Vermelho Distrófico, textura média, extrato superior da paisagem	Uberlândia
3	CA 4	Latossolo Vermelho Distrófico – dividir com traço como foi feito em CA1 e CA2 textura argilosa, extrato inferior da paisagem	Romaria
	CA 5		

Fonte: Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Referência da Embrapa).

Antes da intervenção agroecológica, a principal atividade que era exercida no lote das propriedades 1 e 2, pelo antigo proprietário da fazenda, era a criação de gado de corte e, por isso, a maior parte da paisagem do sítio é caracterizada atualmente por pastagem degradada. Hoje em dia, há criação de alguns suínos em chiqueiro, de vaca, de boi e de galinhas na área de pasto nas propriedades do Assentamento Celso Lúcio. As áreas de Pasto 1 e Pasto 2 correspondem a essas áreas de pastagem que não sofrem interferência por um tempo.

A propriedade agrícola familiar 2, com coordenadas 19°04'59.5"S 48°28'46.0"W, localizada no município de Uberlândia, MG (Figura 1), possui área total de 13,2 ha, sendo destinados 1.018 m² ao cultivo agroecológico e agroflorestal desde 2015. Nessa área são encontradas hortaliças e espécies arbóreas. As espécies vegetais encontradas nessa propriedade são: coentro, erva cidreira, gengibre, hortelã, manjericão, pimenta, salsa, arruda, açafrão, boldo, funcho, cebola, abacate, acerola, banana, limão, mamão, manga, goiaba, caju, laranja, mexerica, feijão macaço, milho, abobrinha, jiló, pimentão, quiabo, maxixe, morango, agrião, alface, almeirão, beldroega, chicória, couve, mostarda, rúcula, taioba, batata doce, araruta, inhame, mandioca, guariroba, faveiro-do-cerrado, eucalipto, mamona, feijão guandu, capim elefante, magaridão, gliricídia, feijão de porco, mucuna e capim brachiaria (SILVA et al., 2019). Além disso, o produtor agrícola dessa área realiza incorporação da matéria orgânica no solo dos canteiros.

Por fim, tem-se a propriedade agrícola familiar com coordenadas 18°48'3.02"S 47°37'13.10" (Figura 1), localizada no município de Romaria, MG. Esse produtor realiza cultivo agroecológico nas duas áreas de sua propriedade (CA4 e CA5) mantendo as práticas agroecológicas de reciclagem de biomassa oriunda de podas de árvores, capineiras e restos de cultura, uso da cobertura morta formada por palhada e serapilheira de mata nativa (cerrado), rotação de culturas, adubação verde e outras práticas que promovem a reciclagem de nutrientes. Nessa propriedade são cultivadas plantas diversas em pleno sol como: mamão, capim limão, cebolinha, coentro, erva cidreira, hortelã, pimenta, salsa, cebola, acerola, banana, limão, berinjela, jiló, tomate, alface, alho poró, almeirão, brócolis, couve, espinafre, mostarda, repolho, rúcula, batata doce, beterraba, cenoura, mandioca e batata yacon.

3.2 Amostragem

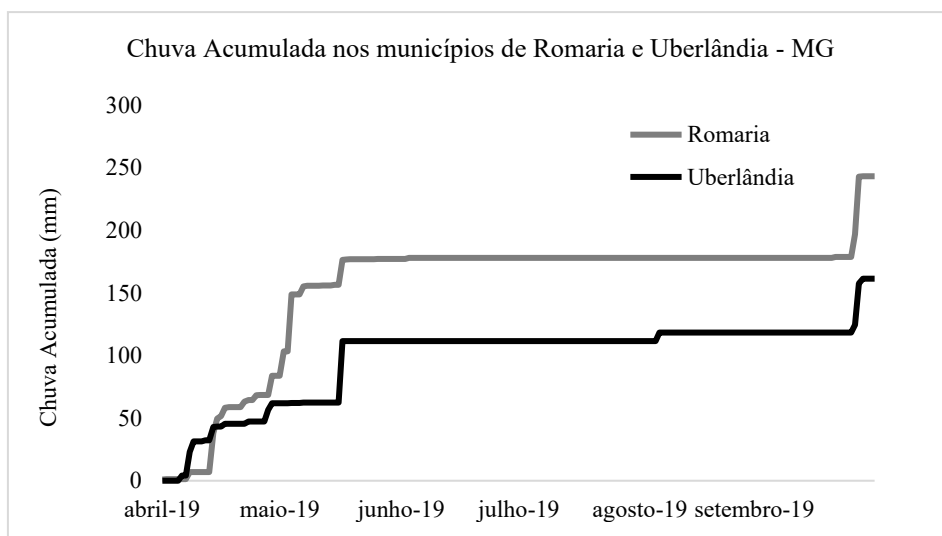
As amostras de solos foram coletadas fazendo-se um furo no solo a 20 cm de profundidade utilizando-se um enxadão. As amostras foram coletadas à uma largura de 20 a 25 cm, de forma aleatória dentro dos sistemas de cultivo dos agricultores. Em adição, as amostras foram compostas por cinco pontos por área, sendo removida a serrapilheira e evitando locais próximos às árvores.

As coletas foram realizadas entre os meses de setembro e outubro de 2019 (final do período de seca), em pontos georreferenciados. Também foram coletadas amostras de solo de áreas destinadas à pastagem muito próximas aos pontos de coleta para servirem como referência de ausência de um manejo agroecológico, representando áreas vizinhas, em mesmo clima e possivelmente em solos semelhantes, com outro sistema de cultivo, que não recebem intervenção pelos agricultores. As amostras de pasto desse trabalho constituem um tratamento comparativo ao sistema agroecológico e agroflorestal.

Posteriormente, as amostras foram levadas ao Laboratório de Genética, Bioquímica e Biotecnologia (LAGEB) da Universidade Federal de Uberlândia (UFU) onde foram condicionadas dentro de um recipiente à temperatura ambiente, na ausência de luminosidade.

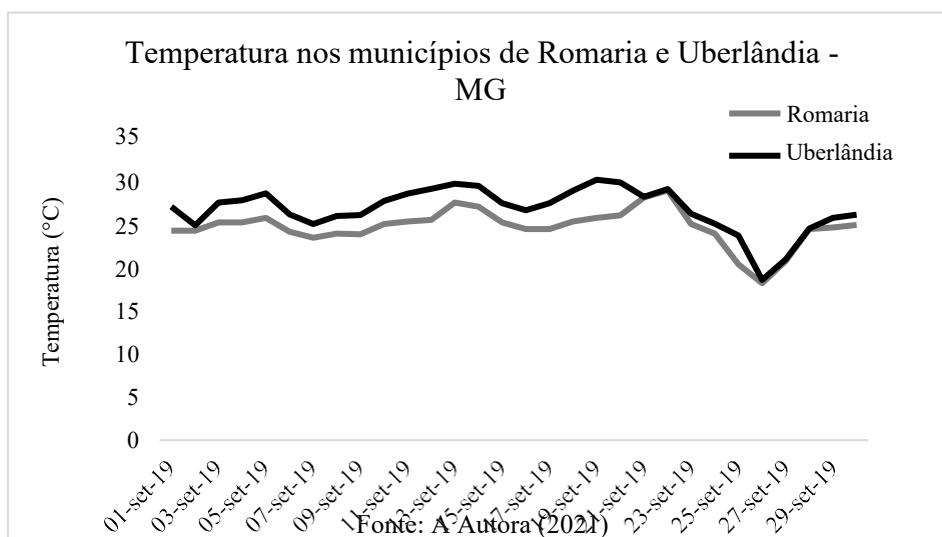
A Figura 2 apresenta a precipitação acumulada dos seis meses anteriores ao dia de coleta das amostras de solo nos municípios de Uberlândia e Romaria e a Figura 3 apresenta a temperatura no mês em que foram coletadas as amostras nessas cidades.

Figura 2 - Chuva diária acumulada (mm) nos seis meses anteriores à coleta das amostras de solos nos municípios de Uberlândia e Romaria, MG. Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia e Sismet Cooxupé, 2019.



Fonte: A Autora (2021)

Figura 3 - Temperatura (°C) no mês da coleta das amostras de solos nos municípios de Uberlândia e Romaria, MG. Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia e Sismet Cooxupé, 2019.



As 10 amostras avaliadas nesse trabalho (Tabela 1) foram peneiradas em malha de 2mm e utilizadas para análises químicas, microbianas (unidades formadoras de colônia) e bioquímicas (atividade enzimática, carbono da biomassa e respiração basal).

3.3 . Análises químicas, bioquímicas e microbianas do solo

3.3.1. Fertilidade do solo

Os parâmetros de fertilidade: pH, Fósforo (P), Potássio (K), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), matéria orgânica, capacidade de troca de cátions efetiva (CTC) e saturação por bases (V %) foram analisados de acordo com Teixeira (2017). Esses parâmetros foram avaliados no Laboratório de Solos (LABAS) da UFU.

3.3.2 Crescimento de microrganismos em meio de cultura

O número de unidades formadoras de colônia (UFC) foi determinado em triplicata em meios de cultura seletivos para bactérias, actinobactérias e fungos. Utilizou-se o método de diluição seriada e espalhamento em placa com meio de cultura sólido. Para o cultivo das actinobactérias utilizou-se meio SCN (amido - 10 g; caseína - 0,3 g; KNO₃ - 2 g; NaCl - 2 g; K₂HPO₄ - 2 g; MgSO₄.7H₂O - 0,05 g; CaCO₃ - 0,02 g; FeSO₄.7H₂O - 0,01 g; ágar - 15 g água destilada - 1 L) suplementado com antifúngico nistatina (50 µg mL⁻¹) e o antibiótico estreptomicina (30 µg mL⁻¹). Para o cultivo de bactérias utilizou-se meio Ágar nutriente (extrato de carne - 3 g; peptona - 5 g; NaCl - 3 g; ágar - 15 g; água destilada - 1 L) suplementado com nistatina (50 µg mL⁻¹). Os fungos foram cultivados em meio Martin (glicose -10 g; peptona - 5 g; K₂HPO₄ -1 g; MgSO₄.7H₂O 0,5 - g; rosa bengala - 0,03 g; ágar- 15 g; água destilada - 1 L) suplementado com estreptomicina (30 µg mL⁻¹). As placas foram mantidas em temperatura de 25±2°C, sob fotoperíodo de 12 horas, durante três dias para actinobactérias e bactérias e por dez dias para fungos. Os resultados foram expressos em número de unidades formadoras de colônias por 1g grama de solo. Os isolados de fungos obtidos foram submetidos ao microcultivo em lâminas e identificados de acordo com suas características morfológicas.

3.3.3 Carbono da biomassa microbiana

Os solos destinados à avaliação do carbono da biomassa microbiana e respiração basal tiveram a sua umidade ajustada a 60% da capacidade de retenção de água pelo método gravimétrico de acordo com a metodologia de Da Silva; De Azevedo; De-Polly (2007). Para a análise de carbono da biomassa microbiano (CBM) foi utilizado o método de fumigação-extração (FE), que seguiu a metodologia descrita por Souza et al. (2015). Cada amostra de solo foi subdividida entre amostras fumigadas e não fumigadas com três repetições de 20 g cada. Todas as repetições foram pré-incubadas, no escuro, à temperatura ambiente durante sete dias. Posteriormente, as amostras foram fumigadas por 48 horas em um dessecador que continha

uma placa de Petri com 15 mL de clorofórmio a vácuo. Durante esse período, as amostras não fumigadas foram mantidas em condição de temperatura ambiente. O CBM foi extraído pela adição de 50 mL de K_2SO_4 a $0,5 \text{ mol L}^{-1}$. Seguidamente, as amostras de solo foram submetidas à agitação horizontal à 150 rpm por 40 min e filtradas em papel filtro Whatman nº2.

A quantificação do carbono nos extratos oriundos da amostra de solo foi realizada de acordo com a metodologia de Mendonça (2005), com algumas alterações. Primeiramente, foi pipetado 5 ml do extrato filtrado obtido da extração das amostras de carbono da biomassa microbiana para elenmeyers de 125 mL. Em seguida, foram adicionados 1 mL da solução de $0,066 \text{ mol L}^{-1} K_2Cr_2O_7$ e acrescentando 5 mL de H_2SO_4 e 25 mL de água deionizada. Logo após, foi adicionado 2 gotas do indicador ferroin. O excesso de dicromato foi titulado com sulfato ferroso amoniacal $0,03 \text{ mol L}^{-1}$ (MENDONÇA, 2005).

De acordo com Mendonça (2005), a CBM é calculada por meio da diferença dos teores de carbono das amostras fumigadas e não fumigadas pelo fator Kc (Equação 2):

$$C_{mic} = (C_F - C_{NF}) / Kc = \text{mg kg}^{-1} \text{ de carbono no solo} \quad \text{Eq. 2}$$

Onde: C_{mic} : Carbono da biomassa microbiana; C_F : amostra fumigada; C_{NF} : amostra não fumigada; Kc: 0,33 – fator de correção referente a fração de carbono extraído pelo K_2SO_4 .

3.3.4. Respiração basal do solo

A respiração basal (RBS) foi realizada segundo o procedimento de Da Silva, De Azevedo e De-Polly (2007). As amostras foram analisadas em duplicata e a amostra inicial foi dividida em 3 subamostras de 50g cada, as quais foram colocadas em frascos de vidro de 100mL, sendo uma delas para a determinação do solo seco e as outras duas para a respiração basal. Transferiram-se dois frascos de 100mL, um contendo a subamostra do solo e o outro contendo 10 mL de NaOH, para um frasco de 2L, hermeticamente fechado. Além disso, para a solução controle foi colocado apenas o frasco de 100mL com 10mL NaOH no frasco de 2L. As subamostras foram mantidas em local sem luminosidade e com temperatura ambiente durante um período de 7 dias. Após a incubação, retirou-se do frasco de 2L o frasco contendo NaOH e adicionou-se 2 mL de $BaCl_2$ 10%. A subamostra precipitada foi titulada adicionando 2 gotas de fenolftaleia 1% sob agitação magnética com uma solução de 0,5 M de ácido clorídrico. No final da titulação a cor da solução foi de rosa a incolor.

Para o cálculo da respiração basal do solo foi utilizado a Equação 3:

$$RBS (\text{mg de C-CO}_2 \text{ KG}^{-1} \text{ solo hora}^{-1}) = (((V_b - V_a) * M * 6 * 1000) / P_s) / T \quad \text{Eq. 3}$$

Em que: RBS = carbono proveniente da respiração basal do solo; V_b (mL) = volume de ácido clorídrico utilizado na titulação da solução controle; V_a (mL) = volume utilizado na titulação

da amostra; M = molaridade do HCl; Ps (g) = massa de solo seco e T = tempo de incubação da amostra (horas).

3.3.5. Atividades enzimáticas

A atividade da β -glicosidase (GLI) foi determinada de acordo com a metodologia de Eivazi & Tabatai (1988) incubando-se 1g de solo com 4 mL de tampão modificado universal a pH 6,0 e 1 mL do substrato 4- nitrophenyl glucopyranoside a 37°C por 3 hs. Posteriormente, 1mL de CaCl₂ com 0,5 M e 4 mL de NaOH a 0,5 M foram adicionados e a concentração de p-nitrophenol medida em espectrofotômetro a 464 nm.

A determinação da fosfatase (FOSF) foi realizada de acordo com Tabatabai e Bremner (1969) com modificações. Em 1 g de solo foram adicionados 4 mL de tampão acetato com 0,5 M a pH 6,5 e o substrato p-nitrophenyl phosphate, que logo após foram incubados a 37 °C. Após 1 h, foi adicionado 1mL de CaCl₂ com 0,5 M e 4 mL de NaOH a 0,5 M e a concentração de p-nitrophenol (PNF) foi medida em espectrofotômetro a 410 nm. Para a enzima arilsulfatase (ARIL) utilizou-se o p-nitrophenylsulphate como substrato em pH de 5,8 (TABATABAI; BREMNER, 1970). A metodologia para cada enzima também foi utilizada em amostras-controle correspondentes, mas sem adicionar substratos. Os resultados dessa análise foram expressos em μg produto liberado g solo seco⁻¹ h⁻¹.

3.3.6. Análises estatísticas

Os dados de fertilidade do solo, CBM, RBS, atividade das enzimas e população de bactérias e actinobactérias foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as comparações entre médias foram realizadas pelo teste de Skott-Knott a 5% de significância com auxílio do programa SISVAR 5.7. Em adição, foi realizada a Análise de Componentes Principais (PCA), que é uma técnica de ordenação linear, utilizando o software CANOCO versão 4.5 (Biometris, Holanda).

Para a interpretação dos resultados dos bioindicadores utilizados neste trabalho utilizou-se o modelo Fertbio elaborado por Mendes et al. (2018). Por este modelo é possível interpretar indicadores β -Glicosidade e Arilsulfatase para Latossolos Vermelhos argilosos de cerrado, sob cultivos anuais para amostras de solo secas ao ar. Apesar de apenas a propriedade 3 possuir o tipo de solo acima, esse modelo de interpretação foi utilizado para todas as propriedades desse estudo. Os indicadores foram comparados pela razão de seus valores para cada sistema. Quanto maior for o resultado, maior é a sensibilidade do bioindicador para as mudanças nos sistemas de manejo (MENDES et al, 2018).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com a análise dos atributos químicos do solo (Tabela 2), as variáveis pH, Ca, Mg, M.O, CTC efetiva e V% mostraram-se significativamente superiores nos sistemas de manejo agroecológico do que nas áreas de pasto.

Tabela 2 - Atributos químicos nas amostras de solo coletadas nas áreas de cultivo agroecológico (CA) e de pasto.

<u>Variáveis Químicas</u>	<u>CA</u>	<u>Pasto</u>
pH H ₂ O	6,99*	5,84*
P meh-1 (mg dm ⁻³)	99,49	10,52
K (mg dm ⁻³)	726,60	70,58
Ca (cmolc dm ⁻³)	6,14*	1,62*
Mg (cmolc dm ⁻³)	3*	0,64*
M.O. (dag Kg ⁻¹)	3,09	1,53
CTC efetiva	11,02*	2,47*
V%	87,59*	54,03*

pH em água, KCl ou CaCl₂, relação 1/2.5; P meh⁻¹- Extrator Mehlich⁻¹; P, K = [HCl 0,05 mol L⁻¹ + H₂SO₄ 0,0125 L⁻¹]; Ca: Cálcio; Mg: Magnésio; MO (Matéria Orgânica) - Método Colorimétrico; CTC= capacidade de troca catiônica efetiva (CTC=SB+Al); V= saturação por bases na CTC potencial (V= 100 SB/T); Fonte: A autora (2021). Números seguidos com asterisco (*) representam diferença significativa entre os dois tratamentos pelo teste de Scott-Knott à 5% de significância.

As maiores concentrações dos atributos pH, Ca, Mg, M.O, CTC efetiva e V% nas áreas de CA se devem possivelmente à incorporação de matéria orgânica e pela diversidade de espécies nessas áreas de cultivo. Provavelmente a MO não se mostrou significativa por ter sido retirada a serrapilheira antes da coleta da amostra. É importante salientar que os atributos químicos podem ter sofrido alteração devido a adição de insumos agrícolas nas propriedades 1 e 3.

Resultados semelhantes foram relatados por Theodoro et al. (2003), ao avaliar alterações químicas de um Latossolo Vermelho cultivado com café e submetido a manejo orgânico. Os autores observaram valores de pH em torno de 6,78. No trabalho de Santiago et al 2018, observou-se que o pH na camada de 0-20 em sistemas agroecológicos apresentou correlação positiva com os anos, comprovando-se que quando os anos passam os valores de pH tendem a aumentar.

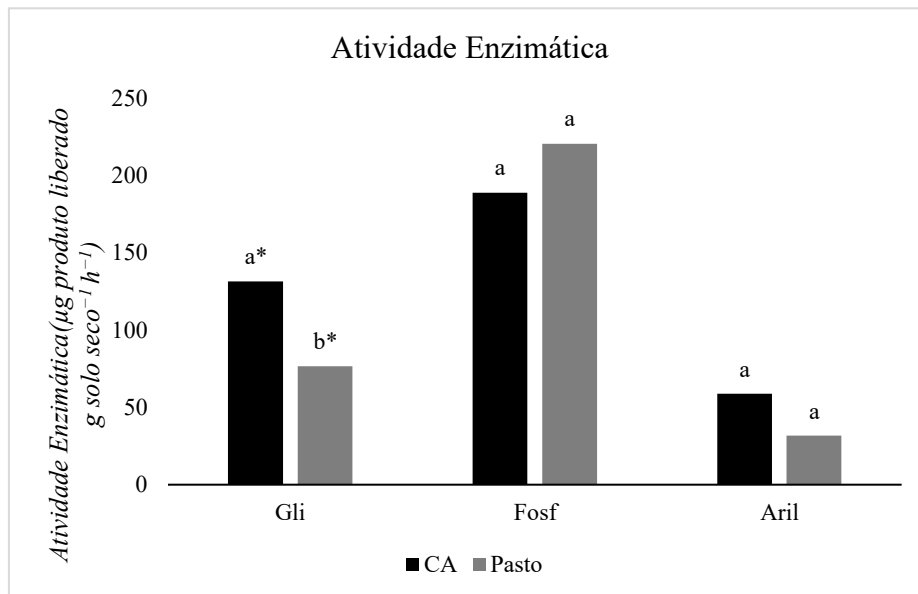
Foi possível demonstrar uma maior concentração de Ca, Mg e uma maior capacidade de troca de cátions (CTC) e troca de bases (V) nas áreas de cultivo agroecológico do que nas respectivas áreas de pasto. No estudo de Chen et al. (2019) foram avaliadas amostras de solo de floresta tropical, monocultura de borracha e de sistemas agroflorestais. Os resultados demonstraram que os sistemas agroflorestais baseados na cultura da borracha aumentaram a concentração dos elementos Ca e Mg em média de 47,9% e 31,4%, respectivamente, após a transformação da monocultura de borracha em sistemas agroflorestais. O presente trabalho também obteve resultados congruentes com o estudo Obeng & Aguilar (2015), em que os solos das agroflorestas de cacau apresentaram uma maior concentração de Ca e Mg que em relação as áreas de florestas nativas da região.

Na pesquisa de Gazdag et al. (2019), a avaliação do solo em manejo orgânico demonstrou uma maior concentração de Mg do que no manejo convencional. Corroborando com estes dados, Samani et al. (2020) obtiveram-se maiores teores de Mg no solo de sistemas agroflorestais do que nas amostras de solo de outros sistemas de cultivo. Segundo o autor, isso pode ter ocorrido devido às copas das árvores que criaram condições adequadas para intemperismo mineral com temperatura e umidade ideais e, assim, maiores quantidades de Mg são liberadas. Este motivo explica as menores concentrações de Mg nas áreas de pasto.

De acordo com Kassa (2018), a quantidade mais elevada de pH e CTC em sistemas agroflorestais em relação às áreas de monocultura está provavelmente relacionada a altos teores de matéria orgânica, ligados à queda de folhas das árvores e à proteção contra a erosão do solo fornecida pelas mesmas. Segundo o autor, a maior CTC do solo está relacionada com os altos teores de argila e com a matéria orgânica. Isso está condizente com esse trabalho, pois as áreas de CA obtiveram uma maior CTC do que as áreas de pasto, provavelmente devido à maior quantidade de resíduos vegetais presentes nas áreas de CA. De acordo com Teixeira (2013), o V% é indicativo das condições gerais de fertilidade do solo, sendo que o V% é um reflexo da soma de bases (K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) e da CTC efetiva. Desse modo, é possível notar que as áreas sob manejo agroecológico possuem uma maior fertilidade em relação às áreas de pasto.

Em relação às análises enzimáticas foi constatado que a concentração da enzima β -glicosidase foi significativamente superior nas amostras cultivo agroecológico em relação às amostras de solo de pasto (Figura 4). A maior concentração dessa enzima nas áreas de CA se deve possivelmente à maior quantidade de resíduos vegetais no solo que são provenientes da grande diversidade de vegetação perenes desse cultivo e também pelas práticas de reciclagem de biomassa utilizada pelos produtores rurais.

Figura 4 - Concentração de enzimas β -glicosidase, Fosfatase e Arilsulfatase nos manejos de Cultivo Agroecológico e de Pasto. Os Valores das atividades enzimáticas foram expressos em μg produto liberado g solo $\text{seco}^{-1} \text{h}^{-1}$. [ARIL: Arilsulfatase; FOSF: Fosfatase, GLI: β -glicosidase]

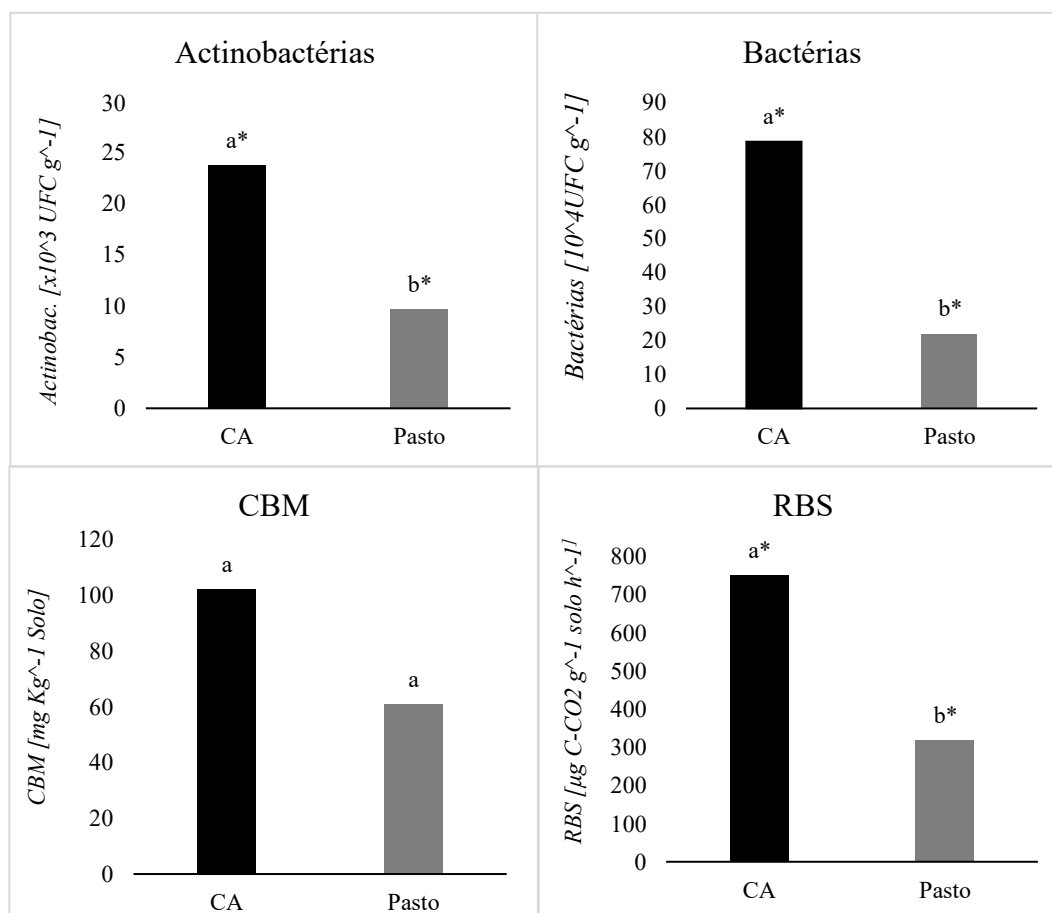


Segundo Paudel, Udawatta & Anderson (2011), a maior atividade de certas enzimas do solo é aprimorada por práticas de conservação, como a agrofloresta e o cultivo agroecológico, que podem elevar outros parâmetros de qualidade do solo, como conteúdo de matéria orgânica, agregação e infiltração de água no solo, sustentabilidade e produtividade do mesmo.

No estudo realizado por Vallejo, Roldan e Dick (2010) foi analisada a atividade enzimática da β -Glicosidase e observou-se uma maior concentração dessas enzimas no sistema agroflorestais de 12 anos idade em relação à área de pastagem convencional. De acordo com o estudo de Paudel, Udawatta e Anderson (2011) foi constatado que a atividade da enzima β -glucosidase foi duas vezes mais altas em solos de vegetação perene, incluindo área agroflorestal, do que em solos de colheita de linha. A maior atividade da enzima β -glucosidase em tratamentos de vegetação perene pode ser explicada pelo acúmulo de biomassa da vegetação perene no solo.

Houve um aumento significativo na quantidade de actinobactérias das amostras de CA em relação às respectivas áreas de pasto (Figura 5). Em adição, as colônias de actinobactérias encontradas no pasto apresentaram-se muitas pequenas e de cor branca, enquanto aquelas encontradas nas áreas CA apresentaram-se com tonalidade amarela.

Figura 5 - Quantidade dos indicadores de qualidade do solo (RBS, CBM, actinobactérias e bactérias) encontrados nas amostras de solo coletadas nas propriedades de cultivo agroecológico (CA) e pasto.



Fonte: A autora (2021). Médias seguidas por letras similares não diferem significativamente pelo teste Scott-Knott a 5% de significância.

Para os valores de RBS observou-se que as áreas cultivo agroecológico apresentaram valores significativamente superiores às áreas de pastagens tidas como referência para cada propriedade (Figura 5). Esse resultado representa uma maior atividade dos microrganismos nas áreas CA, o que pode ter ocorrido por conta da maior quantidade de unidades formadoras de colônias de bactérias e actinobactérias nesse solo, além da maior quantidade de resíduos orgânicos depositada no solo.

No estudo realizado por Tian, Cao e Wang (2013), constatou-se que a respiração basal foi significativamente maior para os sistemas agroflorestais do que para o sistema de monocultura. Uma taxa mais alta de respiração basal nas agroflorestas pode ser devida à existência de uma grande disponibilidade de substratos de carbono lábeis. Corroboram com

esses dados os estudos de Gazdag et al. (2019) ao afirmarem que as áreas de manejo orgânico obtiveram uma maior respiração basal que as áreas de manejo convencional.

De acordo com Araujo et al. (2012), as propriedades biológicas podem ser otimizadas no solo sob manejo agroflorestal. Muitos autores relataram que a diversidade microbiana do solo é maior nesse tipo de manejo em consequência dos efeitos de melhoria das plantas e dos insumos de matéria orgânica e às diferenças na qualidade e quantidade e exsudatos das raízes. No presente trabalho constatou-se que as bactérias se apresentaram em quantidade superior nas áreas de CA do que nas respectivas áreas de pasto. As amostras com unidades formadoras de colônias de bactérias, provenientes das áreas de pasto, possuíam coloração branca. Já as colônias de bactérias encontradas nas áreas CA eram predominantes de coloração amarelo/laranja.

Os resultados aqui apresentados estão de acordo com o estudo de Henneron et al. (2015), e afirmaram que a quantidade de bactérias presentes no solo de sistema orgânico é significativamente maior que nos solos de manejo convencional. Além disso, a abundância de certos genes bacterianos foi positivamente correlacionada com o C orgânico do solo, o N total, o P disponível na planta e o K e Mg trocáveis (BEULE et al., 2019). Os dados populacionais de actinobactérias também estão de acordo com o estudo de Beule et al. (2020) em que esses microrganismos demonstraram, de forma geral, estarem em maior abundância nas amostras de solo de CA do que nos solos de monoculturas. Isso ocorreu devido ao aumento da biomassa vegetal e da diversidade acima do solo, o que aumentou a entrada de serapilheira e o aumento da quantidade e diversidade de exsudatos radiculares. Além disso, na pesquisa de Banerjee et al. (2016), um dos filos mais abundantes nos sistemas agroflorestais foram as actinobactérias, sendo superiores nesses sistemas do que nos solos agrícolas e de pastagem.

Em relação aos fungos foi possível a identificação morfológica dos gêneros mais frequentes encontrados em cada amostra de solo (Tabela 3).

Tabela 3 - Gêneros dos fungos identificados de acordo com suas características morfológicas nas amostras de solo coletadas nas propriedades de cultivo agroecológico (CA).

Amostras	Fungo	Frequência
CA	<i>Trichoderma</i> sp.	37,15%
	<i>Fusarium</i> sp.	25,71%
	<i>Cladosporium</i> sp.	5,71%
	<i>Humunicola</i> sp.	5,71%
	<i>Aspergillus</i> sp.	8,57%
	Não Identificado	17,15%
Pasto	<i>Trichoderma</i> sp.	4,35%
	<i>Cladosporium</i> sp.	13,04%
	<i>Penicillium</i> sp.	4,35%
	<i>Aspergillus</i> sp.	4,35%
	Não Identificado	73,91%

Fonte: A autora (2021)

Uma maior população de microrganismos no solo de sistemas agroecológicos também foi relatada em outras pesquisas, como a realizada por Notaro et al. (2014), que constaram que o solo coletado na área agroflorestal com cultivo de café teve uma maior quantidade de fungos do que os solos de sistema biodinâmico e controle. De acordo com Beule et al. (2019), nas áreas de monocultura ou de pastagem que foram convertidas em sistemas agroflorestais houve um aumento na abundância relativa dos fungos.

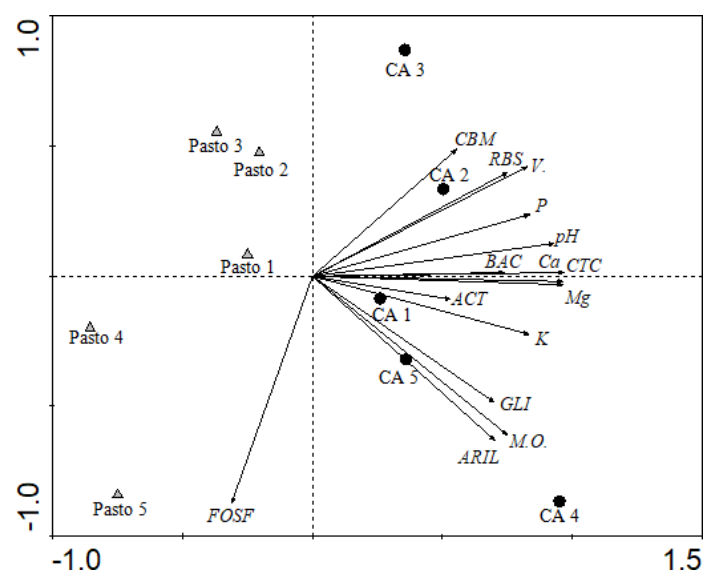
A pesquisa de Wang et al. (2017) demonstrou que foi encontrada maior quantidade de fungos micorrízicos arbusculares em agroflorestas que em áreas de monocultura de borracha. Conforme Zhang et al. (2019), a concentração de K e pH no solo são significativamente correlacionados com as composições da comunidade de fungos. Estes microrganismos são importantes pela atividade heterotrófica na decomposição da matéria orgânica e pelo potencial como agentes de controle biológico de nematoides e artrópodes (JOSE, 2012), além de estarem associados à maioria das espécies de plantas nas relações simbiótica (micorriza) ou parasitária (doenças).

Neste estudo foi observada uma predominância do fungo *Trichoderma* sp. nos solos de cultivos agroecológicos, esses fungos produzem metabólitos que inibem diretamente os patógenos e aumentam a resistência às doenças (PASCALE et al., 2017). Além do mais, algumas espécies desse gênero de fungo são promotores de crescimento vegetal, isso porque esse fungo proporciona uma maior disponibilidade de nutrientes devido à solubilização de nutrientes necessários às espécies vegetais (MACHADO et al., 2012; PASCALE et al., 2017). Devido aos benefícios desses fungos provocados ao ambiente, presume-se a importância da

utilização do manejo agroecológico para aumentar a quantidade de *Trichoderma* sp no solo.

A pesquisa de Utomo et al. (2016) avaliou o desempenho ambiental da produção de cacau em sistemas de monocultura e agrossilvicultura, demonstrou que neste último houve uma maior quantidade de *Trichoderma* sp. devido aos maiores níveis de carbono orgânico e matéria orgânica do solo, condições que sustentam o crescimento e a atividade de microrganismos benéficos do solo. O biplot resultante da análise de componentes principais (ACP), com base nos indicadores de qualidade do solo e subáreas de amostragem, expressa claramente a relação existente entre algumas atividades enzimáticas e os dois tipos de manejo: cultivo agroecológico (CA) e pasto. De acordo com a análise, o eixo 1 explicou 60,8% a relação bioindicadores-ambiente e, juntamente com o eixo 2, explicou 16,5% da variação dos dados (Figura 6).

Figura 6 - Biplot das diferentes áreas de manejo e dos indicadores de qualidade do solo - ACT: actinobactérias, ARIL: Arilsulfatase; BAC: Bactérias; Ca: Cálcio; CBM: Carbono da Biomassa Microbiana; FOSF: Fosfatase, GLI: β -glicosidase; K: Potássio; Mg: Magnésio; M.O.: Matéria Orgânica; P: Fósforo; RBS: Respiração Basal do Solo; V%: Saturação por Bases na CTC potencial



Fonte: A autora (2021)

Foi possível observar que as áreas de CA estão mais relacionadas com os maiores valores das variáveis de qualidade do solo, com exceção da FOSF, o que é um indicativo que essas áreas possuem qualidade superior. Em contrapartida, as áreas de pasto estão inversamente relacionadas com os indicadores de qualidade do solo. O eixo 1 é o eixo que mais separa os tipos de manejo, assim, as variáveis que mais diferenciam os CAs das pastagens são o Mg, Ca, bactérias, pH, CTC e actinobactérias. Possivelmente, a maior relação das variáveis de qualidade do solo com o CA se deve por esse manejo aumentar a quantidade de resíduos vegetais de diversas espécies agrícolas e por aumentar a cobertura vegetal, evitando a lixiviação dos

nutrientes.

As amostras de solo do CA4 e CA5 apresentaram uma maior relação com a concentração de MO e com as atividades de arilsulfatase e β -glicosidase. A atividade enzimática dessas enzimas está positivamente relacionada com a concentração de MO no solo (WALMSLEY; SKLENIČKA, 2017; PAUDEL, UDAWATTA; ANDERSON, 2011). A maior relação dessas amostras com a matéria orgânica, pode ser explicada pelas práticas que promovem a reciclagem de nutrientes realizadas pelo produtor rural da propriedade 3.

Os solos avaliados neste trabalho possuem tipologias diferentes de Latossolos Vermelhos (Tabela 1). Mesmo havendo essa distinção entre a classificação dos solos, comparando os valores obtidos de β -Glicosidade e de Arilsulfatase com os dados da tabela de interpretação de bioindicadores de Mendes et al. (2018) foi possível demonstrar que as amostras coletas nas áreas de SAF e cultivo agroecológico apresentaram uma melhor classe de interpretação do que as amostras de solo de pasto (Tabela 4). Segundo os autores, a atividade da β -Glicosidade ≤ 66 é considerada baixa; entre 67-115 é considerada moderada; e >116 considerada adequada. Para a enzima arilsulfatase valores ≤ 30 são considerados baixos; entre 31-70 considerados moderados; e >71 adequados.

Tabela 4. Interpretação de bioindicadores para a atividade das enzimas de β -Glicosidade e de Arilsulfatase nas amostras de solo coletadas nas propriedades com sistemas agroflorestais (SAF) de cultivo agroecológico (CA).

Amostras	β -Glicosidade	Arilsulfatase
CA	Adequado	Moderado
Pasto	Moderado	Moderado

Fonte: Mendes et al. (2018)

De acordo com Mendes et al. (2018) é possível interpretar indicadores β -Glicosidade e Arilsulfatase para Latossolos Vermelhos argilosos de cerrado, sob cultivos anuais para amostras de solo secas ao ar. Segundo o autor, um valor baixo dos indicadores pode indicar que práticas de manejo inadequadas estejam sendo utilizadas na área. Já os maiores valores destes bioindicadores podem ser entendidos como valores desejáveis que devem ser preservados para o bom funcionamento do solo. De acordo com o bioindicador β -Glicosidade a qualidade do solo nas áreas cultivo agroecológico são melhores do que nas áreas de pasto, já para Arilsulfatase não houve diferença.

Na tabela 5 estão apresentadas as comparações dos diversos indicadores de qualidade do solo entre as diferentes áreas de estudo (SAF, cultivo agroecológico e pasto).

TABELA 5. Razão entre as variáveis de solo coletadas nas áreas de cultivo agroecológico (CA), e nas áreas de pasto das áreas subjacentes.

Tratamentos / Amostras	CA1 / Pasto 1	CA2 / Pasto2	CA3 / Pasto3	CA4 / Pasto4	CA5 / Pasto 5	Média CA / Média Pasto
CBM	3,00	1,22	4,75	1,33	1,13	1,68
RBS	1,75	1,34	12,27	2,82	3,17	2,35
β -Glicosidade	2,22	2,03	1,35	2,58	0,86	1,69
Arilsulfatase	1,89	1,42	1,56	3,96	1,09	1,85
Fosfatase ácida	0,98	0,85	0,45	1,68	0,71	0,86
Colônias de Actinobactérias	2,04	7,55	1,00	12,38	6,58	2,44
Colônias de Bactérias	5,81	4,36	17,50	2,24	1,94	3,57
pH	1,16	1,08	1,35	1,22	1,20	1,20
M.O.	1,12	1,60	1,64	5,45	1,51	2,03
P	0,72	38,50	14,62	10,25	16,10	9,46
K ⁺	0,82	2,50	4,25	17,36	44,95	10,30
Ca ²⁺	1,58	1,79	5,90	6,20	9,97	3,78
Mg ²⁺	1,40	2,73	6,67	7,98	113,50	4,67
CTC	1,50	2,12	5,58	7,85	15,51	4,46
V%	1,19	1,25	2,28	1,34	3,78	1,62

Fonte: A autora (2021)

Todas as variáveis, com exceção da atividade da enzima fosfatase ácida, foram maiores nas áreas de CA em relação à área de pasto, já que foram obtidos valores maiores que 1. As variáveis que obtiveram diferenças mais acentuadas foram o K, P, Mg²⁺, Ca²⁺, CTC e colônias de bactérias demonstrando que estas variáveis são mais sensíveis às mudanças de acordo com o sistema de manejo. As variáveis K, P, Mg²⁺, Ca²⁺, CTC dos CA possivelmente deram valores mais elevados devido ao acréscimo de insumos externos, os quais são permitidos pelo órgão que realiza a certificação dos produtos orgânicos, durante o manejo. Os indicadores RBS, colônias de actinobactérias, CBM, Arilsulfatase, pH, MO e V% também se destacaram e se mostraram sensíveis à mudança de manejo.

Assim, as variáveis colônias de bactérias, colônias de actinobactérias, β -Glicosidade, pH se mostram como possíveis indicadores de qualidade do solo, por terem se mostrado sensíveis como mostra a tabela 5, por mostrarem diferença significativa entre as amostras de CA e Pasto no teste de média (Tabela 2, Figura 4 e Figura 5) e também pela maior relação desses indicadores com as áreas de CA, como mostrado na PCA (Figura 6)

5 CONCLUSÃO

As seguintes variáveis de qualidade do solo demonstraram ser sensíveis à diferença de manejo entre o cultivo agroecológica e às áreas de pasto: respiração basal, β -glucosidase, colônias de bactérias e de actinobactérias e pH, sendo possível utilizar essas variáveis como indicadores de qualidade do solo. Outras variáveis como K, P, Mg^{2+} , Ca^{2+} , CTC, não serão consideradas como bons indicadores nesse trabalho por, possivelmente, terem sofrido alteração em seus valores devido ao acréscimo de insumos externos pelos agricultores, insumos que são permitidos pelo órgão que realiza a certificação dos produtos orgânicos durante o manejo

Os indicadores respiração basal, β -glucosidase, pH, colônias de bactérias e de actinobactérias apresentaram ser capazes de identificar alterações do funcionamento do solo nas áreas de agricultura familiar. A maior qualidade do solo das áreas de cultivo agroecológico resultou em maiores valores dessas variáveis. Possivelmente esses manejos apresentam maiores atividades das suas funções básicas, como movimentação e fornecimento de água ao solo e às plantas, ciclagem de nutrientes, resistência a poluentes orgânicos e inorgânicos e alta produtividade.

REFERÊNCIAS

- ALAGELE, S. M. *et al.* Long-term perennial management and cropping effects on soil microbial biomass for claypan watersheds. **Agronomy Journal**, [s.l.], v. 112, n. 2, p. 815-827, 01 janeiro 2020. DOI: <https://doi.org/10.1002/agj2.20116>. Disponível em: <https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/agj2.20116>. Acesso em: 19 ago. 2020.
- ALTIERI, M.A.; KOOHAFKAN, P. **Enduring Farms: climate change, Smallholders and Traditional Farming Communities**. Penang: Third World Network, 2008.
- ALVES, A. L. Atividade enzimática de fosfatase e b-glicosidase em solo de diferentes culturas. In: Encontro Anual da Biofísica, 2018, **Anais [...]** Recife: UFPE, 2018. p. 58-59. DOI: <https://doi.org/10.5151/biofisica2018-020>. Disponível em: <https://www.proceedings.blucher.com.br/article-details/atividade-enzimtica-de-fosfatase-e-b-glicosidase-em-solo-de-diferentes-culturas-27797>> Acesso em: 15 de jul. 2019.
- ANDREOTTI, F. *et al.* Combining participatory games and back casting to support collective scenario evaluation: an action research approach for sustainable agroforestry landscape management. **Sustainability Science**, [s.l.], v. 15, n. 5, p. 1383-1399, 16 jun. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11625-020-00829-3>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11625-020-00829-3>. Acesso em: 19 ago. 2020.
- ARAUJO, A. S. F. *et al.* Microbiological process in agroforestry systems. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, [s.l.], v. 32, n. 1, p. 215-226, 18 mar. 2012. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13593-011-0026-0>. Disponível em: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s13593-011-0026-0.pdf>. Acesso em: 23 de jun. de 2020.
- ATANGANA, A. *et al.* **Tropical agroforestry**. Springer Science & Business Media, 2013.
- AVALOS-SARTORIO, B.; BLACKMAN, A. Agroforestry price supports as a conservation tool: Mexican shade coffee. **Agroforestry systems**, [s.l.], v. 78, n. 2, p. 169-183, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10457-009-9248-4>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10457-009-9248-4>. Acesso em: 19 ago. 2020.
- AZEVEDO, E.; PELICIONI, M.C.F. Promoção da Saúde, Sustentabilidade e Agroecologia: uma discussão intersectorial. **Saúde Sociedade**, São Paulo, v.20, n.3, p.715-729, 2011. Disponível em: <https://www.scielo.org/article/sausoc/2011.v20n3/715-729/>. Acesso em: 19 ago. 2020.
- BANERJEE, S. *et al.* Determinants of bacterial communities in Canadian agroforestry systems. **Environmental microbiology**, Copenhagen, v. 18, n. 6, p. 1805-1816, 16 jul. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1111/1462-2920.12986>. Disponível em: <https://www-sciencedirect.ez34.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0925857417301325?via%3Dihub>. Acesso em: 28 de jul. de 2020.

BEULE, L. *et al.* Conversion of monoculture cropland and open grassland to agroforestry alters the abundance of soil bacteria, fungi and soil-N-cycling genes. **PloS one**, San Francisco, v. 14, n. 6, p. e0218779, 27 jun. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0218779>. Disponível em: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0218779>.. Acesso em: 29 de jul. de 2020.

BEULE, L. *et al.* Poplar rows in temperate agroforestry croplands promote bacteria, fungi, and denitrification genes in soils. **Frontiers in Microbiology**, Lausanne, v. 10, p. 3108, 22 jan. 2020. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.03108>. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmicb.2019.03108/full?report=reader>. Acesso em: 25 de jun. de 2020.

BÉLIVEAU, A. *et al.* Reduction of soil erosion and mercury losses in agroforestry systems compared to forests and cultivated fields in the Brazilian Amazon. **Journal of environmental management**, [s.l.], v. 203, p. 522-532, 01 dez. 2017. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.07.037>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479717307144?via%3Dihub>. Acesso em: 19 ago. 2020.

BOLAT, I. The effect of thinning on microbial biomass C, N and basal respiration in black pine forest soils in Mudurnu, Turkey. **European Journal of Forest Research**, Alemanha, v. 133, n. 1, p. 131-139, 29 nov. 2014. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10342-013-0752-8>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10342-013-0752-8>. Acesso em: 19 ago. 2020.

BOURANIS, D. L. *et al.* Impact of Elemental Sulfur on the Rhizospheric Bacteria of Durum Wheat Crop Cultivated on a Calcareous Soil. **Plants**, [s.l.], v. 8, n. 10, p. 379, 27 set. 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants8100379>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2223-7747/8/10/379>. Acesso em: 19 ago. 2020.

CANEI, A. D. *et al.* Atributos Microbiológicos e Estrutura de Comunidades Bacterianas como Indicadores da Qualidade do Solo em Plantios Florestais na Mata Atlântica. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 28, n. 4, p. 1405-1417, 2018. DOI: <https://doi.org/10.5902/1980509835049>. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/cienciaflorestal/article/view/35049>. Acesso em: 19 ago. 2020.

CAVALCANTE, W. F. *et al.* Enzymatic activity of caatinga biome with and without anthropic action. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 33, n. 1, p. 142-150, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/1983-21252020v33n116rc>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rcaat/a/rX4VLQ45xwPnYmgFnqcqYYz/?lang=en>. Acesso em: 19 ago. 2020.

CIACCIA, C. *et al.* Agroecological Practices and Agrobiodiversity: A Case Study on Organic Orange in Southern Italy. **Agronomy**, [s.l.], v. 9, n. 2, p. 85, 14 fev. 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy9020085>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4395/9/2/85>. Acesso em: 19 ago. 2020.

CHEN, C. *et al.* Can intercropping with the cash crop help improve the soil physicochemical properties of rubber plantations? **Geoderma**, [s.l.], v. 335, p. 149-160, 1 fev. 2019. DOI: DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.08.023>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0016706118307250>. Acesso em: 25 de jun. de 2020.

CREAMER, R. E. *et al.* Measuring basal soil respiration across Europe: Do incubation temperature and incubation period matter?. *Ecological indicators*, [s.l.], v. 36, p. 409-418, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2013.08.015>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1470160X13003142?via%3Dihub>. Acesso em: 19 ago. 2020.

DA SILVA, E. E.; DE AZEVEDO, P. H. S.; DE-POLLY, H. Determinação da respiração basal (RBS) e quociente metabólico do solo (qCO₂). **Embrapa Agrobiologia-Comunicado Técnico (INFOTECA-E)**, Seropédica, 2007. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/627577/1/cot099.pdf>. Acesso em: 15 de jul. 2019.

DAWSON, I. K. *et al.* What is the relevance of smallholders' agroforestry systems for conserving tropical tree species and genetic diversity in circa situm, in situ and ex situ settings? A review. **Biodiversity and Conservation**, [s.l.], v. 22, n. 2, p. 301-324, 09 jan. 2013. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10531-012-0429-5>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10531-012-0429-5>. Acesso em: 19 ago. 2020.

DE ARAÚJO, A. S. F.; MONTEIRO, R. T. R. Indicadores biológicos de qualidade do solo. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 23, n. 3, 18 set. 2007. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/6684>. Acesso em: 19 ago. 2020.

DE ARAÚJO, E. A. *et al.* Qualidade do solo: conceitos, indicadores e avaliação. **Applied Research & Agrotechnology**, Guarapuava, v. 5, n. 1, p. 187-206, 2012. DOI: <https://doi.org/10.5777/PAeT.V5.N1.12>. Disponível em: <https://revistas.unicentro.br/index.php/repaa/index>. Acesso em: 19 ago. 2020.

DE ECONOMIA REGIONAL, NEREUS–Núcleo. Urbana da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2021. Disponível em: <http://www.usp.br/nereus/?dados=brasil>. Acesso em: 12 jun. 2021.

DOLLINGER, J.; JOSE, S. Agroforestry for soil health. *Agroforestry Systems*, [s.l.], v. 92, n. 2, p. 213-219, 23 mar. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10457-018-0223-9>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10457-018-0223-9>. Acesso em: 19 ago. 2020.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **EMBRAPA**. Brasília, DF, 2014. Portal. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/2075161/agroecologia-beneficia-consumidores-agricultores-e-meio-ambiente>. Acesso em 28 agosto 2020.

ESLAMINEJAD, P. *et al.* Plant species and season influence soil physicochemical properties and microbial function in a semi-arid woodland ecosystem. **Plant and Soil**, [s.l.], p. 1-17, 02

set. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11104-020-04691-1>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11104-020-04691-1>. Acesso em: 19 dez. 2020.

EIVAZI, F.; TABATABAI, M. A. Glucosidases and galactosidases in soils. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v. 20, p. 601–606, 1988. DOI: [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(88\)90141-1](https://doi.org/10.1016/0038-0717(88)90141-1). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0038071788901411?via%3Dihub>. Acesso em: 19 ago. 2020.

EVANGELISTA, C. R. *et al.* Atividade enzimática do solo sob sistema de produção orgânica e convencional na cultura da cana-de-açúcar em Goiás. **Embrapa Arroz e Feijão-Artigo** em periódico indexado (ALICE), [S.l.], v. 33, n. 4, p. 1251, jul./ago. 2012. DOI: <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2012v33n4p1251>. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/932367>. Acesso em: 15 de jul. 2019.

FARIAS, F. J. *et al.* Qualidade microbiológica do solo em sistema agroecológico de produção. **Cadernos de Agroecologia**, Recife, v. 13, n. 1, 2018.

FERREIRA, E. P. B.; STONE, L. F.; MARTIN-DIDONET, C. C. G. População e atividade microbiana do solo em sistema agroecológico de produção. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 48, n. 1, p. 22-31, 2017. DOI: <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20170003>. Disponível em: <http://ccarevista.ufc.br/seer/index.php/ccarevista/article/view/4183>. Acesso em: 19 ago. 2020.

GAZDAG, O. *et al.* Density and diversity of microbial symbionts under organic and conventional agricultural management. **Microbes and environments**, [s.l.], p. ME18138, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1264/jsme2.ME18138>. https://www.jstage.jst.go.jp/article/jsme2/34/3/34_ME18138/_article Acesso em: 28 de jul. de 2020. Acesso em: 19 ago. 2020.

GLIESSMAN, S. Transforming food systems with agroecology. 2016. v. 40:3, p. 187-189 DOI: <https://doi.org/10.1080/21683565.2015.1130765>. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/21683565.2015.1130765>. Acesso em: 19 ago. 2020.

GOMES, M. A. F.; FILIZOLA, H. F. Indicadores físicos e químicos de qualidade de solo de interesse agrícola. **Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente**, Jaguariúna, p. 6, 2006. Disponível em: https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/recursos/Gomes_Filizola_indicadoresID-ulkeja1HAN.pdf. Acesso em: 12 fev. 2021.

GONDIM, E. X. *et al.* Growth, flowering and fruiting of *Campomanesia adamantium* (Cambess) O. Berg intercropped with green manure species in Agroforestry Systems. **Agroforestry Systems**, [s.l.], p. 1-13, 04 set. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10457-020-00533-2>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10457-020-00533-2>. Acesso em: Acesso em: 12 fev. 2021.

GONZÁLEZ-CHANG, M. *et al.* Understanding the pathways from biodiversity to agroecological outcomes: A new, interactive approach. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, [s.l.], v. 301, p. 107053, 01 out. 2020. DOI:

<https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.107053>. Disponível em:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167880920302383?via%3Dihub>
b. Acesso em: Acesso em: 12 fev. 2021.

HENNERON, L. *et al.* Fourteen years of evidence for positive effects of conservation agriculture and organic farming on soil life. **Agronomy for Sustainable Development**, [s.l.], v. 35, n. 1, p. 169-181, 08 abril 2015. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13593-014-0215-8>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13593-014-0215-8%20>. Disponível em: 25 de jun. de 2020.

JOSE, S. Agroforestry for conserving and enhancing biodiversity. **Agroforestry Systems**, [s.l.], v. 85, n. 1, p. 1-8, 26 abril 2012. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10457-012-9517-5>. Disponível em: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s10457-012-9517-5.pdf>. Acesso em: 25 de jun. de 2020.

KASSA, H. *et al.* Agro-ecological implications of forest and agroforestry systems conversion to cereal-based farming systems in the White Nile Basin, Ethiopia. **Agroecology and Sustainable Food Systems**, Philadelphia, v. 42, n. 2, p. 149-168, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1080/21683565.2017.1382425>. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/21683565.2017.1382425>. Acesso em: 12 fev. 2021.

LI, P. *et al.* Development of biological soil quality indicator system for subtropical China. **Soil and tillage research**, [s.l.], v. 126, p. 112-118, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2012.07.011>. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Xing-xiang_Wang/publication/271610025_Development_of_biological_soil_quality_indicator_system_for_subtropical_China/links/5b7148f6299bf14c6d9b3302/Development-of-biological-soil-quality-indicator-system-for-subtropical-China.pdf. Acesso em: 22 de jun de 2020.

LIM, S. *et al.* Soil organic carbon stocks in three Canadian agroforestry systems: From surface organic to deeper mineral soils. **Forest ecology and management**, [s.l.], v. 417, p. 103-109, 15 maio 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.02.050>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378112718300021>. Acesso em: 12 fev. 2021.

LIMA, S.K. *et al.* Produção e consumo de produtos orgânicos no mundo e no Brasil. Texto para discussão / **Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada**, Brasília, Ipea, 2020. Disponível em: http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/9678/1/TD_2538.pdf. Acesso em: 12 fev. 2021.

LIU, S. *et al.* Response of soil carbon dioxide fluxes, soil organic carbon and microbial biomass carbon to biochar amendment: a meta-analysis. **Gcb Bioenergy**, v. 8, n. 2, p. 392- 406, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1111/gcbb.12265>. Disponível vem: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/gcbb.12265>. Acesso em: 12 fev. 2021.

MACHADO, D. F. M. *et al.* Trichoderma no Brasil: o fungo e o bioagente. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, v. 35, n. 1, p. 274-288, 2012. DOI: <https://doi.org/10.19084/rca.16182>. Disponível em: <https://revistas.rcaap.pt/index.php/rca/article/view/16182>. Acesso em: 12 fev. 2021.

LOSS, A. *et al.* Atributos químicos e físicos de um Argissolo Vermelho-Amarelo em sistema integrado de produção agroecológica. **Pesquisa agropecuária. brasileira.**, Brasília, v. 44, n. 1, p. 68-75, 2009. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2009000100010>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pab/a/ykYsyjL6p7ZtNfywY3nfsJ/?lang=pt>. Acesso em: 12 fev. 2021.

MASCARENHAS, A. R. P. *et al.* Characterization of wood from *Schizolobium parahyba* var. *a mazonicum* Huber× *Ducke* trees from a multi-stratified agroforestry system established in the Amazon rainforest. **Agroforestry Systems**, v. 95, n. 3, p. 475-486, 21 fev. 2021. DOI: <https://doi-org.ez34.periodicos.capes.gov.br/10.1007/s10457-020-00576-5>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10457-020-00576-5>. Acesso em: 12 mar. 2021.

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**, Viçosa, v. 27, n. 3, p. 425-433, 2003. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832003000300004>. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/%0D/rbcs/v27n3/16660.pdf>. Acesso em: 15 de jul. 2019.

MENDONÇA, E. S. **Matéria orgânica do solo: métodos de análises**. Viçosa: UFV, 2005.

MENDES, I. C. *et al.* Bioanálise de solo: como acessar e interpretar a saúde do solo. **Embrapa Cerrados-Circular Técnica** (INFOTECA-E), Planaltina, 2018. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/199833/1/CircTec-38-Ieda-Mendes.pdf>. Acesso em: 12 fev. 2021.

NOTARO, K. A. *et al.* Agroforestry systems, nutrients in litter and microbial activity in soils cultivated with coffee at high altitude. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 71, n. 2, p. 87-95, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-90162014000200001>. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-90162014000200001. Acesso em: 25 de jun de 2020.

OBENG, E. A.; AGUILAR, F. X. Marginal effects on biodiversity, carbon sequestration and nutrient cycling of transitions from tropical forests to cacao farming systems. **Agroforestry Systems**, [s.l.], v. 89, n. 1, p. 19-35, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10457-014-9739-9>. Disponível em: <https://link-springer-com.ez34.periodicos.capes.gov.br/article/10.1007/s10457-014-9739-9>. Acesso em: 29 de jul. de 2020.

PASCALE, A. *et al.* Trichoderma and its secondary metabolites improve yield and quality of grapes. **Crop protection**, [s.l.], v. 92, p. 176-181, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2016.11.010>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0261219416303234?via%3Dihub>. Acesso em: 12 fev. 2021.

PAUDEL, B. R.; UDAWATTA, R. P.; ANDERSON, S. H. Agroforestry and grass buffer effects on soil quality parameters for grazed pasture and row-crop systems. **Applied Soil Ecology**, [s.l.], v. 48, n. 2, p. 125-132, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2011.04.004>. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/251619710_Agroforestry_and_grass_buffer_effects

[_on_soil_quality_parameters_for_grazed_pasture_and_row-crop_systems](#). Acesso em: 27 de jul. de 2020.

PEZARICO, C. R. *et al.* Indicadores de qualidade do solo em sistemas agroflorestais. **Revista de Ciências Agrárias Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, Belém, v. 56, n.1 p. 40-47, 2013. DOI: <https://doi.org/10.4322/rca.2013.004>. Disponível em: <http://doi.editoracubo.com.br/10.4322/rca.2013.004>. Acesso em: 12 fev. 2021.

PROCÓPIO, L.; BARRETO, C. The soil microbiomes of the Brazilian Cerrado. **Journal of Soils and Sediments**, [s.l.], p. 1-16, 2021. DOI: <https://doi-org.ez34.periodicos.capes.gov.br/10.1007/s11368-021-02936-9>. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/350343619_The_soil_microbiomes_of_the_Brazilian_Cerrado. Acesso em: 12 fev. 2021.

QUANDT, A.; NEUFELDT, H.; MCCABE, J. T. The role of agroforestry in building livelihood resilience to floods and drought in semiarid Kenya. **Ecology and Society**, Wolfville, v. 22, n. 3, 2017. DOI: <https://doi.org/10.5751/ES-09461-220310>. Disponível em: <http://www.ecologyandsociety.org/vol22/iss3/art10/>. Acesso em: 12 fev. 2021.

RAIESI, F.; BEHESHTI, A. Soil C turnover, microbial biomass and respiration, and enzymatic activities following rangeland conversion to wheat–alfalfa cropping in a semi-arid climate. **Environmental earth sciences**, Alemanha, v. 72, n. 12, p. 5073-5088, 06 jun. 2014. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12665-014-3376-5>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12665-014-3376-5>. Acesso em: 22 de jun de 2020.

RAMAKRISHNA, W.; YADAV, R.; LI, K. Plant growth promoting bacteria in agriculture: Two sides of a coin. **Applied Soil Ecology**, [s.l.], 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2019.02.019>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0929139318312150?via%3Dihub>. Acesso em: 12 fev. 2021.

RAMPELOTTO, P. H. *et al.* Changes in diversity, abundance, and structure of soil bacterial communities in Brazilian Savanna under different land use systems. **Microbial ecology**, [s.l.], v. 66, n. 3, p. 593-607, 27 abril 2013. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00248-013-0235-y>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs00248-013-0235-y>. Acesso em: 12 fev. 2021.

RECH, M. *et al.* Microbiota do solo em vinhedos agroecológico e convencional e sob vegetação nativa em Caxias do Sul, RS. **Revista Brasileira de Agroecologia**, Dois Vizinhos, v. 8, n. 3, 2013. Disponível em: <http://revistas.aba-agroecologia.org.br/index.php/rbagroecologia/article/view/13264/0>. Acesso em: 01 de dez. 2019.

RESLER, M. L.; HAGOLANI-ALBOV, S. E. Augmenting agroecological urbanism: the intersection of food sovereignty and food democracy. **Agroecology and Sustainable Food Systems**, Philadelphia, p. 1-24, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1080/21683565.2020.1811829>. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/21683565.2020.1811829>. Acesso em: 12 fev. 2021.

SACCÁ, M. L. *et al.* Ecosystem services provided by soil microorganisms. *In: Soil biological communities and ecosystem resilience*. Springer: Cham, 14 set. 2017. p. 9-24. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-63336-7_2. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-319-63336-7_2. Acesso em: 12 fev. 2021.

SAMANI, K. M. *et al.* Effect of land-use changes on chemical and physical properties of soil in western Iran (Zagros oak forests). **Journal of Forestry Research**, [s.l.], v. 31, n. 2, p. 637-647, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11676-018-0799-y>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11676-018-0799-y>. Acesso em: 28 de jul. de 2020.

SARMIENTO, E.; FANDINO, S.; GOMEZ, L. Indexes of soil quality. A systematic review. **ECOSISTEMAS**, Móstoles, v. 27, n. 3, p. 130-139, 2018. DOI: <https://doi.org/10.7818/ECOS.1598>. Disponível em: <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/1598>. Acesso em: 12 fev. 2021.

SCHOENHOLTZ, S. H.; VAN MIEGROET, H.; BURGER, J. A. A review of chemical and physical properties as indicators of forest soil quality: challenges and opportunities. **Forest ecology and management**, [s.l.], v. 138, n. 1-3, p. 335-356, 2000. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(00\)00423-0](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(00)00423-0). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378112700004230?via%3Dihub>. Acesso em: 12 fev. 2021.

SILVA, R. P. *et al.* **Análise integrada em sistemas agroflorestais de agricultores do assentamento Celso Lúcio**, 2019. 84 f. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental), Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2019.

SKRZYPCZYŃSKI, R. *et al.* Beyond Supporting Access to Land in Socio-Technical Transitions. How Polish Grassroots Initiatives Help Farmers and New Entrants in Transitioning to Sustainable Models of Agriculture. **Land**, [s.l.], v. 10, n. 2, p. 214, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/land10020214>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-445X/10/2/214>. Acesso em: 12 fev. 2021.

SOUZA, L. M. *et al.* Carbono da biomassa microbiana em Latossolos determinado por oxidação úmida e combustão a temperatura elevada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 50, n. 11, p. 1061-1070, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2015001100009>. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/handle/10482/29560>. Acesso em: 30 de nov. 2019.

TABATABAI, M. A.; BREMNER, J. M. Arylsulfatase activity of soils. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v. 34, p. 225–229, 1969. DOI: <https://doi.org/10.2136/sssaj1970.03615995003400020016x>. Disponível em: <https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2136/sssaj1970.03615995003400020016x>. Acesso em: 12 fev. 2021.

TABATABAI, M. A.; BREMNER, J. M. Use of p-nitrophenyl phosphate for assay of soil phosphatase activity. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v. 1, p. 301–307, 1970. DOI: [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(69\)90012-1](https://doi.org/10.1016/0038-0717(69)90012-1). Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0038071769900121?via%3Dihub>. Acesso em: 12 fev. 2021.

TEIXEIRA, H. M. *et al.* Impact of agroecological management on plant diversity and soil-based ecosystem services in pasture and coffee systems in the Atlantic forest of Brazil. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, [s.l.], v. 305, p. 107171, 01 jan. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.107171>. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167880920303571?via%3Dihub>>. Acesso em: 12 fev. 2021.

TEIXEIRA, P. C. *et al.* Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro:Embrapa, 2017.

TEIXEIRA, V. G. **Atribuição de tributos do solo e vegetação em sistema agroecológico**. Trabalho de conclusão de curso (Ecologia) – Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências de Rio Claro. UNESP, Rio Claro – SP, 2013.

THEODORO, V.C.A.; ALVARENGA, M.I.N.; GUIMARÃES, R.J.; SOUZA, C.A.S. Alterações químicas em solo submetido a diferentes formas de manejo do cafeeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, p.1039-1047, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832003000600008>. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbcs/a/dG5XT9BBfds6ZxW6pgSQF6v/?lang=pt>>. Acesso em: 12 fev. 2021.

TIAN, Y.; CAO, F.; WANG, G. Soil microbiological properties and enzyme activity in Ginkgo–tea agroforestry compared with monoculture. **Agroforestry systems**, [s.l.], v. 87, n. 5, p. 1201-1210, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10457-013-9630-0>. Disponível em: <<https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s10457-013-9630-0.pdf>>. Acesso em 24 de jun. de 2020.

UTOMO, B. *et al.* Environmental performance of cocoa production from monoculture and agroforestry systems in Indonesia. **Journal of Cleaner Production**, [s.l.], v. 134, p. 583-591, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.08.102>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652615012032?via%3Dihub>. Acesso em 24 de jun. de 2020.

UDAWATTA, R.; RANKOTH, L.; JOSE, S. Agroforestry and biodiversity. **Sustainability**, Basel, v. 11, n. 10, p. 2879, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/su11102879>. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2071-1050/11/10/2879>>. Acesso em 24 de jun. de 2020.

VALLEJO, V. E.; ROLDAN, F.; DICK, R. P. Soil enzymatic activities and microbial biomass in an integrated agroforestry chronosequence compared to monoculture and a native forest of Colombia. **Biology and Fertility of Soils**, Florença, v. 46, n. 6, p. 577-587, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00374-010-0466-8>. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s00374-010-0466-8>>. Acesso em 23 de jun. de 2020.

WACH, E. M Dependency as Prohibitive of Agroecology and Food Sovereignty—A Case Study of the Agrarian Transition in the Scottish Highlands. **Sustainability**, Basel, v. 13, n. 4,

p. 1927, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/su13041927>. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2071-1050/13/4/1927>>. Acesso em: 12 fev. 2021.

WALMSLEY, A.; SKLENIČKA, P. Various effects of land tenure on soil biochemical parameters under organic and conventional farming— Implications for soil quality restoration. **Ecological Engineering**, [s.l.], v. 107, p. 137-143, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.07.006>. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Petr_Sklenicka/publication/318528602_Various_effects_of_land_tenure_on_soil_biochemical_parameters_under_organic_and_conventional_farming_-_Implications_for_soil_quality_restoration/links/5a3bbe8b0f7e9ba14e48a5e6/Various-effects-of-land-tenure-on-soil-biochemical-parameters-under-organic-and-conventional-farming-Implications-for-soil-quality-restoration.pdf>. Acesso em: 25 de jun. de 2020.

WANG, J. *et al.* Conversion of rainforest into agroforestry and monoculture plantation in China: Consequences for soil phosphorus forms and microbial community. **Science of the Total Environment**, [s.l.], v. 595, p. 769-778, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.04.012>. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969717308392>>. Acesso em: 27 de jul. de 2020.

WEZEL, A. *et al.* Agroecological principles and elements and their implications for transitioning to sustainable food systems. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, [s.l.], v. 40, n. 6, p. 1-13, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13593-020-00646-z>. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s13593-020-00646-z>>. Acesso em: 12 fev. 2021.

WILSON, M. H.; LOVELL, S. T. Agroforestry—The next step in sustainable and resilient agriculture. **Sustainability**, Basel, v. 8, n. 6, p. 574, 2016. DOI: <https://doi.org/10.3390/su8060574>. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2071-1050/8/6/574>>. Acesso em: 12 fev. 2021.

WOOD, S. A. *et al.* Functional traits in agriculture: agrobiodiversity and ecosystem services. **Trends in ecology & evolution**, Cambridge, v. 30, n. 9, p. 531-539, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tree.2015.06.013>. Disponível em: <[https://www.cell.com/trends/ecology-evolution/fulltext/S0169-5347\(15\)00165-2?_returnURL=https%3A%2F%2Flinkinghub.elsevier.com%2Fretrieve%2Fpii%2FS0169534715001652%3Fshowall%3Dtrue](https://www.cell.com/trends/ecology-evolution/fulltext/S0169-5347(15)00165-2?_returnURL=https%3A%2F%2Flinkinghub.elsevier.com%2Fretrieve%2Fpii%2FS0169534715001652%3Fshowall%3Dtrue)>. Acesso em: 12 fev. 2021.

YANG, N. *et al.* Variations in soil microbial biomass carbon and soil dissolved organic carbon in the re-vegetation of hilly slopes with purple soil. **PLoS One**, San Francisco, v. 11, n. 12, p. e0166536, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0166536>. Disponível em: <<https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0166536>>. Acesso em: 29 de jul. de 2020.

ZHANG, X. *et al.* Agroforestry alters the rhizosphere soil bacterial and fungal communities of moso bamboo plantations in subtropical China. **Applied Soil Ecology**, [s.l.], v. 143, p. 192-200, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2019.07.019>. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0929139319303178?via%3Dihub>>. Acesso em: 29 de jul. de 2020.