

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

AMANDA MENDES DE LIMA CARNEIRO

BIOINDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO EM SISTEMAS
AGROFLORESTAIS, MATA NATIVA E ÁREA DE PASTAGEM

MONTE CARMELO

2022

AMANDA MENDES DE LIMA CARNEIRO

INDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS,
MATA NATIVA E ÁREA DE PASTAGEM

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao curso de Agronomia
da Universidade Federal de
Uberlândia, Campus Monte
Carmelo, como requisito necessário
para a obtenção do grau de
Engenheiro Agrônomo.

Orientadora: Prof^a Dr^a. Ana
Carolina Silva Siqueroli

Monte Carmelo

2022

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

AMANDA MENDES DE LIMA CARNEIRO

INDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS,
MATA NATIVA E ÁREA DE PASTAGEM

Aprovado

Ana Carolina da Silva Siquieroli

Orientadora

Homologado pelo Colegiado do Curso
Supervisionado em: ____/____/20__

Coordenador do Curso

Monte Carmelo

2022

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	5
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	7
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	11
4 CONCLUSÕES.....	19
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	20

RESUMO

A qualidade do solo está vinculada a sua capacidade em funcionar dentro do ecossistema visando sustentar a produtividade biológica, manter a qualidade ambiental e promover a saúde da biota. Para a Indicação da qualidade do solo são utilizadas as determinações físicas, químicas e biológicas. O objetivo deste trabalho foi comparar diferentes indicadores de qualidade de solo em sistemas agroflorestais, mata nativa e área de pastagem. Para isso, amostras de solo foram coletadas a uma profundidade de 0 a 20 cm, no período de início das chuvas, nos municípios de Monte Carmelo e Uberlândia (MG) em quatro áreas diferentes: pastagem, mata nativa e dois sistemas agroflorestais (SAF1 e SAF2). Os indicadores do solo avaliados foram os atributos químicos, população da microbiota, carbono da biomassa microbiana (CBM), respiração basal (RBS) e atividade das enzimas beta-glucosidase, fosfatase e arilsulfatase. Os indicadores que se demonstram mais sensíveis à mudança de manejo foram o P e RBS. A partir da análise dos indicadores foi possível observar que as áreas de SAF possuem, de modo geral, um solo de maior qualidade, seguida pelas áreas de mata nativa. Possivelmente, nessas áreas ocorreu uma maior deposição de material vegetal devido ao aporte contínuo de material orgânico e a ação de sistemas radiculares diversificados, o que indica uma alta eficiência na ciclagem de nutrientes.

PALAVRAS-CHAVE: Agrofloresta; Respiração Basal; Carbono da Biomassa Microbiana; Atividade Enzimática.

1. INTRODUÇÃO

As práticas agroflorestais integram árvores, culturas anuais, produção animal e outras atividades agrícolas, o que pode aumentar a eficiência dos sistemas de produção e apoiar a resiliência ecológica e social (DAWSON et al., 2013). De acordo com Pezarico (2013), os Sistemas Agroflorestais (SAFs) têm como objetivo minimizar o efeito da intervenção humana nos sistemas naturais. A consorciação de várias espécies dentro de uma área aumenta a diversidade do ecossistema, em que as interações benéficas são aproveitadas entre as plantas de diferentes ciclos, portes e funções (PEZARICO, 2013).

Os SAFs podem fornecer serviços ecossistêmicos significativos. Esse tipo de manejo pode abrigar biodiversidade, sequestrar carbono, prevenir a erosão do solo e ajudar no controle de enchentes e recarga de aquíferos (AVALOS-SARTORIO; BLACKMAN, 2010). Além disso, as agroflorestas podem melhorar a conservação da floresta, já que são essenciais na conservação da biodiversidade, na produção de alimentos e os meios de subsistência (ANDREOTTI et al., 2020). Nesses sistemas, a incorporação de árvores em terras agrícolas pode melhorar as propriedades químicas, físicas e biológicas do solo adicionando matéria orgânica, liberando e reciclando nutrientes e assim, melhorando sua fertilidade (TIAN, CAO e WANG, 2013). De acordo com Pezarico (2013), as diferenças na qualidade da serapilheira entre árvores e vegetação consorciada podem levar a diferentes atividades enzimáticas e diversidade funcional microbiana. Pesquisas têm apontado para a redução de estoques de carbono microbiano em sistemas menos estáveis, como pastagem e plantio convencional em comparação com áreas de mata nativa ou ambientes semelhantes, como os sistemas agroflorestais.

O solo é um componente crítico para o desempenho da produção agrícola, agindo também na manutenção da qualidade ambiental local (RECH et al., 2013). Os microrganismos são um dos principais componentes ativos do solo que regulam a ciclagem de nutrientes e assim, afetam a produtividade e estabilidade dos ecossistemas (RAMPELOTTO, 2013), exercendo influência na transformação da matéria orgânica, na estocagem do carbono e nutrientes minerais (MATSUOKA; MENDES; LOUREIRO, 2003), auxiliando assim na manutenção da diversidade de plantas (RAMAKRISHNA; YADAV; LI, 2019). A população microbiana do solo está atrelada à sustentabilidade agrícola e assim, pode ser usada como indicador potencial para a avaliação da qualidade do solo (ALAGELE et al., 2020).

A qualidade do solo consiste em sua capacidade funcionar dentro do ecossistema visando sustentar a produtividade biológica, manter a qualidade ambiental e promover a saúde da fauna e da biota. Esta qualidade pode ser avaliada pelo uso de indicadores físicos, químicos e biológicos (DE ARAÚJO; MONTEIRO, 2007). Entre os principais indicadores microbiológicos estão a biomassa microbiana, a respiração e as atividades enzimáticas do solo. 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, 2019; DE ARAÚJO; MONTEIRO, 2007; RECH et al., 2013).

Segundo Creamer (2014), a definição de respiração basal é a taxa constante de respiração no solo, que se origina da mineralização da matéria orgânica e é estimada com base na evolução de dióxido de carbono ou na absorção de oxigênio. A respiração basal reflete a atividade geral ou energia gasta pelos microrganismos do solo, sendo um parâmetro ideal para observar a decomposição.

O carbono da biomassa microbiana 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). De acordo com Eslaminejad (2020), os indicadores de atividades enzimáticas relacionadas aos ciclos de carbono, nitrogênio ou fósforo e carbono 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).

2. OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho foi avaliar o comportamento de diferentes indicadores de qualidade de solo sensíveis ao manejo agroflorestal, comparado a mata conservada e área antropofizada de pastagem.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Caracterização da área de estudo

O estudo foi realizado em quatro áreas distintas localizadas nos municípios de Monte Carmelo e Uberlândia, Minas Gerais, Brasil (Figura 1).



Figura 1. Área de estudo. Localização da área experimental. A. Área de Sistema Agroflorestal – SAF1 ($18^{\circ}43'36.6''S$ $47^{\circ}31'33.9''W$); B. Área de pasto ($18^{\circ}43'33.5''S$ $47^{\circ}31'33.0''W$); C. Área de mata nativa ($18^{\circ}43'49.9''S$ $47^{\circ}30'13.4''W$), localizados em Monte Carmelo-MG; D. Área de Sistema Agroflorestal – SAF2 ($19^{\circ}04'05.0''S$ $48^{\circ}27'51.6''W$) localizado em Uberlândia-MG.

O SAF1 (Figura 1A), localizado em Monte Carmelo-MG, é constituído pelos consórcios de espécies agrícolas e florestais, tendo como a principal cultura o café, intercalando com mamão, bananeira, mamona, feijão gandú e espécies de árvores nativas e exóticas. Atualmente a adubação é feita com esterco e a cobertura do solo com capim elefante, capim Mombaça e materiais oriundos de podas de plantas do próprio SAF dentro da Universidade.

A área de pastagem (Figura 1B), localizado em Monte Carmelo-MG, é coberta por braquiária, e não é manejada regularmente. Essa área foi escolhida como referência para ausência de um manejo agroflorestal.

A área de mata nativa (Figura 1C), localizado em Monte Carmelo-MG, foi considerada nesse estudo como local de baixa interferência humana, onde há muita umidade e grande diversidade de plantas silvestres de portes diversos.

O SAF2 (Figura 1D) localizada em Uberlândia-MG, é destinado a produção agroecológica. No local, têm-se uma elevada diversidade de espécies agrícolas e florestais, o que permite um bom aproveitamento dos recursos e, principalmente, do solo. A área é cercada por área de preservação permanente e é distante de fontes de contaminações por agrotóxicos. Além disso, o SAF2 é irrigado com efluente aquícola das tilápias, que é rico em nutrientes.

3.2. Amostragem

As quatro amostras compostas de solo (SAF1, SAF2, pasto e mata nativa) foram coletadas em novembro de 2019, em período de estação chuvosa, em pontos georreferenciados. As condições meteorológicas do período em que foram realizadas as coletas estão apresentadas na Figura 2.

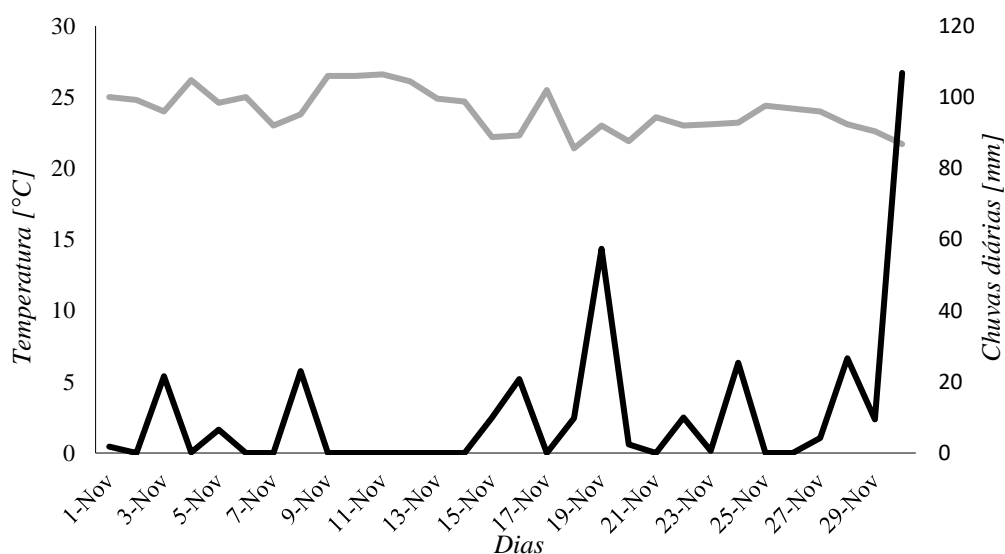


Figura 2. Chuvas diárias (mm) e temperatura (°C) do período em que foram realizadas as coletas de solo avaliadas. Fonte: Sismet Cooxupé, 2020.

As quatro amostras avaliadas nesse trabalho foram coletadas com um trado holandês e divididas em quatro partes, sendo uma destinada para análise química, uma para análise da microbiota, outra para as análises bioquímicas (carbono da biomassa microbiana e respiração basal), e a última para as análises enzimáticas. Todas as amostras foram deixadas em um ambiente refrigerado e, passadas em peneira com malha de 2 mm.

3.3. Análises Químicas, Bioquímicas e da Microbiota

Nesse trabalho foram analisados os principais parâmetros de fertilidade do solo, como: pH, P, K, Ca, Mg, Al, matéria orgânica, soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions (CTC) e saturação por bases (V %), segundo a metodologia de Teixeira (2017).

Para a quantificação da microbiota do solo foram utilizados meios de cultura seletivos para bactérias e actinobactérias, aplicando a metodologia de diluição seriada e espalhamento em placa com meio de cultura. Para o cultivo das actinobactérias, foi utilizado meio SCN (TAVARES, 2019), o qual foi suplementado com antifúngico nistatina e o antibiótico estreptomina. O cultivo de bactérias foi realizado em meio Ágar nutriente (CARDOSO, 2012) suplementado com nistatina. Todas as amostras de solo foram analisadas em triplicata e para as testemunhas, utilizou-se apenas meios de cultura.

Os resultados das análises quantitativas de microrganismos foram expressos em número de colônias em 1g grama de solo.

Os solos que foram submetidos às análises de carbono da biomassa microbiana e de respiração basal tiveram a sua umidade ajustada para 60% da capacidade de campo, segundo o método de Da Silva; De Azevedo; De-Polly (2007).

Para a análise de carbono da biomassa microbiana (CBM) foi adotado o método de fumigação-extração (FE) seguindo a metodologia proposta por Souza et al. (2015), e realizado em triplicata. A quantificação do carbono nos extratos oriundos das amostras foi realizada segundo a metodologia de Mendonça (2005).

A respiração basal (RBS) foi realizada de acordo com o método de Da Silva, De Azevedo e De-Polly (2007). As amostras de solos foram avaliadas em duplicata e divididas em três subamostras de 50g de solo cada, as quais foram dispostas em frascos de vidro de 100mL, sendo uma delas para a determinação do solo seco e as outras duas para a respiração basal.

A atividade da β -glicosidase (GLI) foi realizada segundo Eivazi & Tabatai (1988) e a quantificação da atividade de fosfatase (FOSF) foi executada de acordo com Tabatabai e Bremner (1969), com modificações. A determinação da enzima arilsulfatase (ARIL) foi analisada por meio do método proposto por Tabatabai e Bremner (1970). Nessas análises também foram utilizadas amostras-controle correspondentes, mas sem adicionar substratos. A unidade dos resultados dessas análises foi apresentada em μg produto liberado $\text{g solo seco}^{-1} \text{h}^{-1}$.

3.4. Análises Estatísticas

Foi realizada análise de variância (ANOVA) com os dados obtidos. As comparações entre médias foram efetuadas pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância por meio do programa SISVAR 5.7. Além disso, foi feita a Análise de Componentes Principais (PCA) empregando o software CANOCO.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das análises das propriedades químicas e a atividade enzimática do solo (Tabela 1) demonstram que os maiores valores de pH e de nutrientes foram encontrados nas áreas de SAF (SAF1 e SAF2) e mata nativa.

Tabela 1. Atributos químicos e atividade enzimática em amostras de solo coletadas em diferentes manejos, sistemas agroflorestais (SAF1 e SAF2), área de pastagem (PAS) e mata nativa (MATA). Valores de atividades enzimáticas expressos em μg de produto liberado g dr.^{-1} .

Atributos	SAF1	SAF2	PAS	MATA
pH H ₂ O	7	6,7	5,8	5,8
P meh-1 (mg dm ⁻³)	19	18,4	1,7	3,2
K ⁺ (mg dm ⁻³)	140	74	130	236
K ⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,36	0,19	0,33	0,6
Ca ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	5,5	3,8	1	5,6
Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	2,2	1,4	0,5	2,5
Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0	0	0	0
H + Al (cmol _c dm ⁻³)	1,3	1,2	1,7	2,7
M.O. (dag kg ⁻¹)	2,5	1,9	2,3	2,8
C.O. (dag Kg ⁻¹)	1,4	1,1	1,3	1,6
SB	8,2	5,41	1,87	8,66

CTC	9,32	6,61	3,57	11,36
V%	86	82	52	76
Glicosidase	119	157,3	92,5	87
Fosfatase	354,7	199,4	336,9	289,8
Arilsulfatase	53	66	37	92,4

pH em água, KCl ou CaCl₂, relação 1/2.5; P me^h-1 - Extrator Mehlich⁻¹; P, K = [HCl 0,05 mol L⁻¹ + H₂SO₄ 0,0125 L⁻¹]; Ca²⁺, Mg²⁺ e Al³⁺ (Extrator KCl 1,0 mol/L); H+Al (acidez potencial); MO (Matéria Orgânica) - Método Colorimétrico; SB = Soma de bases trocáveis (Ca, Mg, K e Na); CEC= capacidade de troca catiônica a pH 7,0; V= saturação por bases na CTC potencial (V= 100 SB/T); cmolc dm⁻³ x 10= mmolc dm⁻³ / mg dm⁻³ = ppm/dag kg⁻¹ = %

Os resultados presentes na tabela 1 demonstram que os valores de CO foram maiores nas amostras de SAF1 e de mata nativa. No estudo de Cruz et al. (2019), os maiores valores de CO foram encontrados nos sistemas silvopastoris e em seguida, nas áreas de floresta plantada, com os menores valores para as áreas de pasto. De acordo com Ortiz et al. (2020), os sistemas silvipastoris podem aumentar as concentrações de carbono orgânico do solo por meio do sequestro.

Os maiores valores de matéria orgânica foram encontrados na área de mata nativa, em seguida no SAF1, pasto e SAF2 (Tabela 1). Orefice (2017) realizou um experimento que converteu áreas de florestas em bosques, sistemas agrossilvopastoris e em pastos. Dois anos após a conversão foi observado que os maiores valores de matéria orgânica foram encontrados nas áreas de bosques, e os menores em áreas de pasto. Segundo esse autor o aumento da matéria orgânica do solo nos bosques pode ser resultado de taxas de decomposição mais lentas neste manejo quando comparado aos outros dois.

Esses resultados estão em consonância com o estudo de Chaves et al. (2020), no qual foram encontrados maiores valores de MOS em áreas de florestas do que em área de agroflorestal. Segundo esses autores, apesar das agroflorestas promoverem a conservação do solo, pela proteção direta exercida pelas copas das plantas perenes e pela deposição de matéria orgânica no solo, o teor de carbono e matéria orgânica foram inferiores aos encontrados na floresta. A grande diversidade de espécies presentes na floresta e a maior densidade de vegetação por área, permite uma maior concentração de matéria orgânica no solo e, assim, maior produção de MOS e fixação de carbono.

Vale ressaltar que o teor de matéria orgânica e carbono no solo de sistemas agroflorestais também estará associado à densidade e diversidade de plantas e na intensidade de manejo adotado na área.

A Tabela 1 apresenta maiores valores de pH para solos sob cultivo agroflorestal. Resultados semelhantes foram obtidos em estudo de Chaves et al. (2020), no qual o solo de agroflorestal também obteve um pH maior do que o de florestas. Os autores justificam que o menor pH nas áreas florestais se deve a uma ação mais acentuada dos ácidos orgânicos oriundos da mineralização da MOS e liberação pelas raízes, o que promove a diminuição do pH do solo. Estudo de Iwata et al. (2012) também demonstram que o pH do solo foi superior nas áreas sob os SAF's em relação aos tratamentos sob o manejo de floresta nativa do cerrado e agricultura de corte e queima.

Os maiores valores de P encontrados nesse trabalho foram nos manejos de SAF, chegando a ser 5,9 vezes superior aos valores para mata nativa. De acordo com a pesquisa de Chaves et al. (2020), também foram encontrados maiores valores de P nos sistemas agroflorestais do que em florestas. A maior presença do P sob os tratamentos de SAF's pode ser justificada pelo aporte contínuo de resíduos orgânicos devido a ação de sistemas radiculares diversificados, o que indica uma alta eficiência na ciclagem de nutrientes.

De acordo com a tabela 1, os maiores valores de K foram encontrados nas amostras de mata nativa. De acordo com Ramakrishnan (2020), maiores valores de K disponível podem ocorrer devido à decomposição mais lenta dos resíduos, a maior produção de biomassa, liberação de ácidos orgânicos pela biomassa e raízes e liberação mais elevada de nutrientes para o solo. No estudo de Miguel et al. (2020), também foi analisada a concentração de K em diferentes manejos, confirmando que as áreas de agroflorestal com 5 anos de cultivo possuíam maiores concentrações de K em relação às áreas de monocultura e de caatinga nativa.

Neste trabalho, os cultivos agroflorestais e as matas tiveram uma maior concentração de Ca no solo (tabela 1). Resultado semelhante foi apresentado por Maia et al. (2006) com maiores concentração de Ca em áreas de SAF do que os solos que estavam em pousio. No estudo de Teixeira et al. (2021), as áreas de pasto agroecológicas possuíam maiores quantidade de Ca do que áreas de pasto convencional.

A maior concentração de Mg foi encontrada nas áreas de mata nativa e SAF1, sendo cerca de 5 vezes superior ao do pasto (tabela 1). Resultados semelhantes foram encontrados na pesquisa de Orefice (2017), em que as áreas após dois anos de conversão obtiveram maiores valores de Mg em áreas de bosques, seguidas das áreas de manejo silvopastoris e áreas de pasto.

Na pesquisa de Iwata et al. (2012), os teores de Ca, Mg e K foram, no período chuvoso a profundidade de 0 a 5cm, mais elevados nos solos sob os SAF's e de floresta

nativa em relação a agricultura de corte e queima. De acordo com os autores, os maiores valores desses nutrientes nos solos sob os SAF's e mata podem estar associados à alta atividade de decomposição realizada pela biota do solo que este ambiente proporciona. No presente trabalho, tanto nos SAFs e mata nativa há a ocorrência de árvores. Segundo Iwata et al. (2012), as árvores promovem maior deposição de material vegetal, o qual é mineralizado e induz as reações químicas no solo, o que contribui para a melhoria dos parâmetros de fertilidade.

Em relação aos valores de saturação de bases, os resultados obtidos nesse trabalho demonstram um maior valor nas amostras de solo oriundas de SAF, seguidos de mata e menores valores nas áreas de pasto. Segundo Chaves et al. (2020), a elevada saturação por bases do solo é importante para a disponibilidade de nutrientes. Na pesquisa de Teixeira et al. (2021), as áreas de pasto agroecológicas obtiveram um maior valor de saturação de bases do que as áreas de pasto convencionais. No trabalho de Chaves et al. (2020), também foi encontrado que o solo das áreas de SAF possuem uma maior saturação de bases do que em áreas florestais.

Em relação às atividades enzimáticas, o maior valor da fosfatase foi encontrado no SAF1, seguidos pela amostra de pasto, mata nativa e SAF2. Segundo os experimentos realizados por Cardozo Junior et al. (2016), os valores da fosfatase nas áreas de agroflorestas foram maiores do que nas áreas de floresta nativa e de pastos. De acordo com o estudo de Ramakrishnan et al. (2020), foram encontrados maiores valores de fosfatase nos manejos silvopastoris do que nas áreas de pasto (monocultura) e solo estéril com 0-15cm de profundidade. Na pesquisa realizada por Bhowmik (2019), a atividade enzimática foi maior nas agroflorestas em comparação aos tratamentos de pastagem, agricultura e de solos erodidos. De acordo com o autor, as fosfatases são enzimas cuja atividade está relacionada à síntese de células microbianas e à mineralização do P orgânico. Essas enzimas são conhecidas como um indicador da disponibilidade de P (BHOWMIK, 2019). Neste trabalho, ocorreu um aumento das atividades de fosfatase ácida no pasto aliado a uma baixa disponibilidade de P. Sugere-se que o SAF2 apresente um menor valor de fosfatase ácida pelo fato da expressão da fosfatase não depender somente da disponibilidade de P no solo, mas também da demanda da planta e dos microrganismos, da disponibilidade de água, do carbono e do nitrogênio (ZAGO, RAMALHO E CARAMORI, 2019).

Em relação à Glucosidase, os maiores valores foram encontrados nas áreas de SAF, seguidas por pasto e mata nativa. No experimento de Weerasekara et al. (2016), a

atividade da glicosidase foi maior no tratamento de agroflorestal do que no tratamento de gramíneas e de rotação de cultura. No estudo realizado por Zago, Ramalho e Caramori (2019), foram encontrados maiores valores dessa enzima nas áreas de sistema integrado de lavoura, pecuária e floresta do que nas áreas de pasto. O SAF apresentou maior atividade de glucosidase possivelmente devido à MO proveniente da queda de folhas e dos componentes arbóreos, os quais permitem maior deposição de MO rico em celulose, o qual é utilizado como substrato para a atividade da β -glicosidase (ZAGO, RAMALHO E CARAMORI, 2019).

Neste trabalho os maiores valores da atividade enzimática da arilsulfatase foram encontrados na mata nativa, seguido pelos sistemas agroflorestais, com menores valores para a área de pasto. Resultados semelhantes foram encontradas na pesquisa de Miguel et al. (2020), em que os maiores valores dessa enzima foram encontrados no manejo de caatinga nativa, seguido por uma área de SAF de 5 anos, que apresentou valor intermediário, e o tratamento de monocultura que apresentou uma menor concentração enzimática. De acordo com esse autor, a arilfulfatase está positivamente correlacionada com o CO do solo. A matéria orgânica é a principal fonte de ésteres de sulfato, que são substratos dessa enzima. Em condições normais, a presença da arilsulfatase no solo está associada à biomassa microbiana e ao nível de imobilização (MIGUEL et al., 2020).

Tabela 2. Indicadores de qualidade do solo – carbono de biomassa microbiana (CBM), respiração basal do solo (RBS), actinobactéria (ACT) e bactérias (BAC). As amostras de solo foram coletadas em áreas com sistemas agroflorestais (SAF), mata nativa (MATA) e áreas de pastagem (PAS).

	CBM	RBS	BAC	ACT
Amostras	(mg Kg-1 Solo)	($\mu\text{g C-CO}_2 \text{ g-1 solo h-1}$)	(10^4UFC/g)	($\times 10^3 \text{UFC/g}$)
SAF 1	81,82 a	428,57 b	60 a	25 a
SAF 2	34,09 a	1125,00 a	89 a	23 a
MATA	47,72 a	287,86 b	35 b	22 a
PAS	34,09 a	35,71 b	17 c	13 b

Médias seguidas por letras semelhantes na coluna não diferem significativamente pelo teste Scott-Knott a 5% de significância.

Os resultados da tabela 2 demonstram que a área de pasto e SAF2 apresentaram valores para CBM 2,4 vezes inferior a área de SAF1, apesar de não diferirem significativamente ($p > 0.05$). De acordo com Teixeira et al. (2021), as áreas de pasto

agroecológicas obtiveram maior CBM que áreas de pasto convencional. Segundo os estudos de Cruz et al. (2019), os valores de CBM encontrados foram maiores nos sistemas silvipastoris do que em áreas de pasto. O estudo de Ramakrishnan (2021) também apresentou resultados semelhantes tendo os sistemas silvipastoris uma maior CBM em relação as áreas de pasto (monocultura) e os solos estéreis com 0-15cm de profundidade. De acordo Cruz et al. (2019), o alto teor de CBM está relacionado ao sistema radicular de plantas. Os solos que possuem manejo que garantem a entrada contínua de resíduos orgânicos terão uma maior CBM (CRUZ et al., 2019). De acordo com Ramakrishnan (2021), a maior quantidade de CO₂, quantidade de bactérias e fungos nos manejos estão relacionados com maiores valores de CBM.

Os maiores valores de respiração basal foram encontrados no SAF2 (1125 $\mu\text{g C-CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ soil h}^{-1}$) ($p < 0.05$). Em pesquisa de Bhattacharjya et al. (2017) as agroflorestas também apresentaram maiores concentrações de respiração basal em relação a outros manejos. Já no estudo de Tian, Cao e Wang (2013), foi relatado que os tratamentos de Ginkgo sob os manejos agroflorestais possuíam uma maior respiração basal que o tratamento de Ginkgo sob monocultura a profundidade de 0 a 10 cm. Segundo o autor, a respiração basal é utilizada para medir a atividade microbiológica. Uma taxa mais alta de respiração basal pode estar relacionada à presença de uma grande quantidade de substratos C lábeis.

Neste trabalho, os dados de microrganismos no geral demonstram que o manejo do solo influencia na quantidade de microrganismos ali presentes. Em relação às bactérias houve diferença significativa ($p < 0.05$) entre os três tipos de manejo. Os maiores valores foram encontrados na área de SAF1 e SAF2. No experimento de Vallejo et al. (2012), foi analisado que os manejos silvipastoris de 12 anos possuíam maiores quantidade de bactérias que os tratamentos de floresta e pasto. Em outros trabalhos foram encontrados resultados semelhantes, como na pesquisa realizada por Ramakrishnan et al. (2020), em que foi constatado que os sistemas silvipastoris possuíam uma maior quantidade de bactérias do que as áreas de pasto (monocultura) e os solos estéreis com 0-15cm de profundidade. De acordo com o autor, a predominância de bactérias em diferentes tipos de manejos é justificada essencialmente pela quantidade de nutrientes, pH do solo e exsudatos radiculares.

De acordo Cruz et al. (2019), o crescimento microbiano está relacionado principalmente com a maior disponibilidade de carbono no solo, pois esse parâmetro

regula o fluxo de energia e o ciclo de nutrientes. Segundo Alagele (2020), a matéria orgânica pode aumentar a quantidade e a atividade dos organismos do solo.

Em relação actinobactérias não houve diferença significativa ($p < 0.05$) entre as áreas. Segundo Gao et al. (2019), as actinobactérias desempenham um papel essencial na decomposição dos materiais orgânicos do solo e esses microrganismos podem melhorar a ciclagem de nutrientes em sistemas agroflorestais. De acordo com Beule et al. (2020), a maior presença das actinobactérias nos solos está relacionada com o aumento da biomassa vegetal e da diversidade do solo. Além disso, segundo Zhang et al. (2019), a concentração de P e de matéria orgânica no solo está correlacionada com a abundância relativa de actinobactéria. Esse argumento possivelmente é válido para esse trabalho, já que os manejos que apresentaram os maiores valores de P, também apresentaram mais colônias de actinobactérias. Em oposição, o pasto sendo a área com menor concentração de P ($1,7 \text{ mg dm}^{-3}$), apresentou menor quantidade de actinobactérias ($13 \times 10^3 \text{ UFC/g}$).

O biplot decorrente da análise de componentes principais (ACP), com base nos indicadores de qualidade do solo e nos tratamentos, expressa a relação entre os indicadores de qualidade do solo e os manejos agroflorestais, mata nativa e pasto.

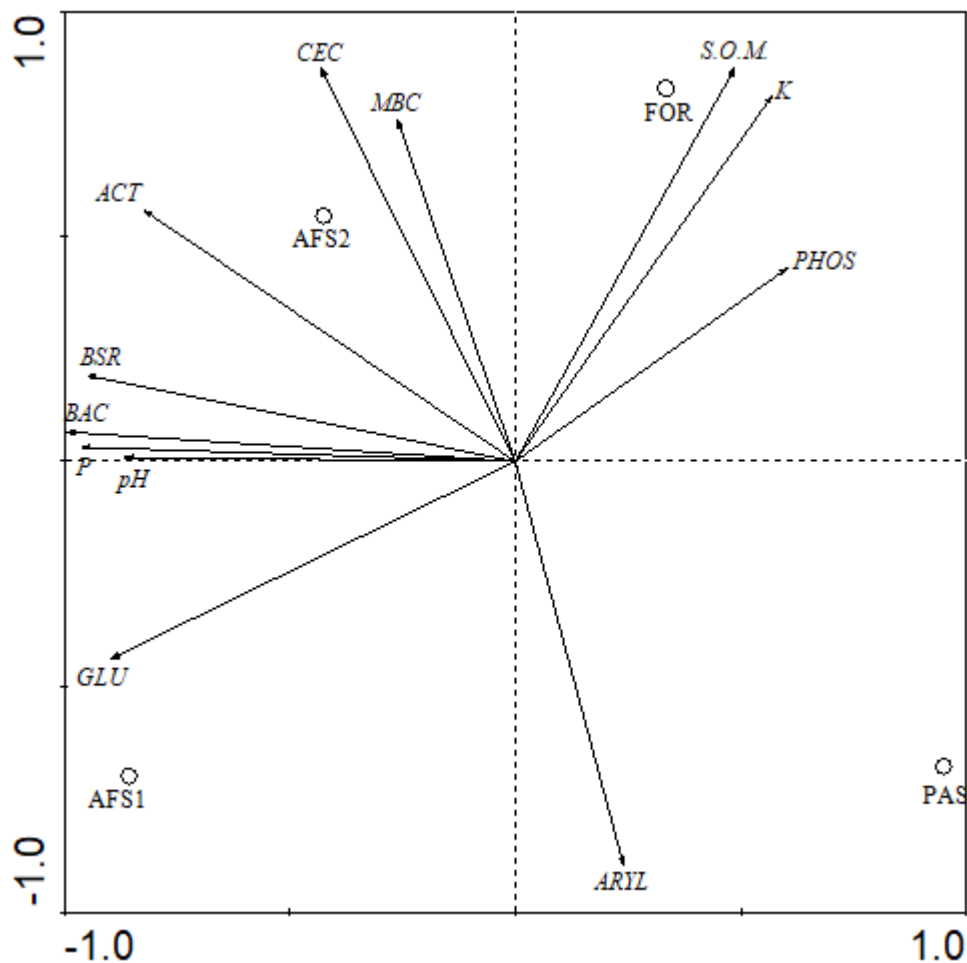


Figura 3. Análise de Componentes Principais (ACP): biplot de diferentes usos da terra (AFS1: SAF1; AFS2: SAF2; FOR: Mata nativa; PAS: Pastagem) e indicadores de qualidade do solo (ACT: actinobactéria, ARYL: arilsulfatase, BAC: bactéria, PHOS: fosfatase, GLU: β -glucosidase).

A partir da análise do Biplot (Figura 3) é possível notar que os indicadores de qualidade do solo estão mais relacionados positivamente com os manejos de SAFs. O pasto por sua vez tem uma relação negativa a esses indicadores. Em especial, a amostra de solo proveniente de mata atlântica está mais relacionada a MOS (SOM), K e fosfatase. A maior relação com a matéria orgânica pode ter ocorrido devido à taxa de decomposição mais lenta na mata, a grande diversidade de espécies presentes na floresta e a maior densidade de vegetação por área (CHAVES et al. 2020). O K disponível também ocorre devido à decomposição mais lenta dos resíduos e a maior produção de biomassa (RAMAKRISHNAN, 2020).

Já as áreas agroflorestais estão mais relacionadas às bactérias, actinobactérias, P, pH, RBS (BSR) e glicosidade (Figura 3). A maior presença do P sob os tratamentos de

SAFs pode ser justificada pelo aporte contínuo de resíduos orgânicos nessas áreas. A elevada quantidade de matéria orgânica nos SAFs pode justificar a maior quantidade de microrganismos nesse tratamento, em especial a grande quantidade de bactérias. Esses dois parâmetros (MO e bactérias) também justificam a maior relação entre SAF e RBS, já que esse indicador mede a atividade microbiológica.

Por meio da análise da figura 3 foi possível notar que a CBM está mais relacionada aos manejos de mata nativa e SAF 2. Essa relação pode ter ocorrido devido a maior entrada contínua de resíduos orgânicos e a consequente maior concentração de CO nesses tratamentos.

Mendes et al. (2018) criaram uma classificação para interpretar indicadores β -glicosidade, e arilsulfatase para Latossolos Vermelhos Argilosos do cerrado, sob cultivos anuais para amostras de solo secas ao ar, como mostra a tabela 3. Deste modo, um valor baixo da classe de interpretação pode apontar que as práticas de manejo utilizadas na área são inadequadas. Em contrapartida, os valores mais altos destes indicadores indicam valores adequados e desejáveis que devem ser preservados para o bom funcionamento do solo.

Tabela 3. Classe de interpretação dos bioindicadores β -glicosidase e arilsulfatase para Latossolos Vermelhos no Cerrado.

Bioindicador	Classe de Interpretação		
	Baixa	Moderado	Adequado
β -Glucosidade	≤ 66	67-115	> 116
Arylsulphatase	≤ 30	31-70	> 71

Fonte: Mendes et al. (2018).

Os valores obtidos de β -glicosidade e arilsulfatase obtidos nesse trabalho foram comparados com as classes de interpretação de bioindicadores de Mendes et al. (2018) (Tabela 3). Por meio dessa comparação foi construída a tabela 4, na qual foi possível observar que as amostras coletas nas áreas de SAFs e mata nativa apresentaram em geral uma melhor classe de interpretação do que as amostras de solo de pasto. Assim, com uma qualidade de solo superior.

Table 4. Interpretação de bioindicadores para a atividade das enzimas β -Glicosidade, Arilsulfatase e Fosfatase nas áreas de SAFs (SAF1 e SAF2), Mata nativa (MATA) e Pastagem (PAS).

Samples	β -Glicosidade	Arylsulfatase
SAF 1	Adequate	Moderate
SAF	Adequate	Moderate
PAS	Moderate	Moderate
FOR	Moderate	Adequate

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

Tabela 5. Comparação entre os diferentes manejos: produto dos indicadores de qualidade de solo entre os SAFs (SAF1 e SAF2), Mata nativa (MATA) e Pasto (PAS).

Amostras	SAF1/PAS	SAF2/PAS	SAF1/MATA	SAF1/SAF2
CBM	2,40	1,00	1,71	2,40
RBS	12,00	31,50	1,60	0,38
β -Glicosidade	1,29	1,70	1,37	0,76
Arylsulfatase	1,43	0,71	0,57	0,80
Phosphatase	1,05	0,59	1,22	1,78
N° Actinobacterias	1,92	1,84	1,14	1,09
N° Bacterias	3,53	5,24	1,71	0,67
pH	1,21	1,16	1,21	1,04
S.O.M. (dag Kg ⁻¹)	1,09	0,83	0,89	1,32
P me ^h -1 (mg dm ⁻³)	11,18	10,82	5,94	1,03
K+ (mg dm ⁻³)	1,08	0,57	0,59	1,89

A maioria dos indicadores foram superiores nas áreas de SAFs em relação à área de pasto, já que foram obtidos valores maiores que 1. O indicador que obteve uma diferença mais acentuada entre as comparações foi o P seguido pela RBS, demonstrando que estes indicadores são mais sensíveis às mudanças e aos diferentes tipos manejos.

5. CONCLUSÕES

Os SAF's e as áreas de mata nativa apresentaram maiores valores de respiração basal, população de bactérias, P e β -glucosidase em relação à área de pastagem.

Os indicadores de respiração basal, actinobactérias, β -glucosidase, arilsulfatase, P, pH, população de bactérias e actinobactérias são adequados para identificar alterações do manejo do solo. Os indicadores com maior sensibilidade foram P e RBS. As áreas de SAFs e mata nativa possuem um solo de maior qualidade,

REFERÊNCIAS

- ALAGELE, Salah M. et al. Long-term perennial management and cropping effects on soil microbial biomass for claypan watersheds. **Agronomy Journal**, v. 112, n. 2, p. 815-827, 2020.
- ALVES, A. L. Atividade enzimática de fosfatase e b-glicosidase em solo de diferentes culturas. in: encontro anual da biofísica, 2018, Recife. **Anais...** Recife: UFPE, 2018, p. 58-59.
- ANDREOTTI, Federico et al. Combining participatory games and backcasting to support collective scenario evaluation: an action research approach for sustainable agroforestry landscape management. **Sustainability Science**, v. 15, n. 5, p. 1383-1399, 2020.
- AVALOS-SARTORIO, B.; BLACKMAN, A. Agroforestry price supports as a conservation tool: Mexican shade coffee. **Agroforestry systems**, v. 78, n. 2, p. 169-183, 2010.
- BEULE, L. et al., 2020. Poplar rows in temperate agroforestry croplands promote bacteria, fungi, and denitrification genes in soils. *Frontiers in Microbiology*. 10, 3108. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.03108>
- BHATTACHARJYA, Sudeshna et al. Comparative evaluation of three contrasting land use systems for soil carbon, microbial and biochemical indicators in North-Western Himalaya. **Ecological Engineering**, v. 103, p. 21-30, 2017. <https://www-sciencedirect.ez34.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0925857417301325?via%3Dihub>
- BHOWMIK, Arnab et al. Potential Indicators of Soil Health Degradation in Different Land Use-Based Ecosystems in the Shiwaliks of Northwestern India. **Sustainability**, v. 11, n. 14, p. 3908, 2019. <file:///C:/Users/Windows%2010/Downloads/sustainability-11-03908.pdf>
- CARDOZO JUNIOR, Francisco Marques et al. The impact of pasture systems on soil microbial biomass and community-level physiological profiles. **Land degradation & development**, v. 29, n. 2, p. 284-291, 2018. <https://onlinelibrary-wiley.ez34.periodicos.capes.gov.br/doi/full/10.1002/ldr.2565>
- CARDOSO, E. B.; LUQUINE, L. S.; SILVA, H. S. A. Aplicação conjunta de rizobactérias e bactérias endofíticas para o biocontrole do Fusarium

oxysporum f. sp. Cubense. **In: Embrapa Mandioca e Fruticultura-Resumo em anais de congresso**, Cruz das Almas. Anais... Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2012., 2012.

CHAVES, Saulo Fabrício Da Silva et al. Evaluation of physicochemical attributes of a yellow latosol under agroforestry system as compared to secondary forest in the Eastern Amazon. **Agroforestry Systems**, v. 94, n. 5, p. 1903-1912, 2020.

CREAMER, R. E. et al. Measuring basal soil respiration across Europe: Do incubation temperature and incubation period matter?. **Ecological indicators**, v. 36, p. 409-418, 2014.

CRUZ, Lised Guaca et al. Microbial properties of soil in different coverages in the Colombian Amazon. **Floresta e Ambiente**, v. 26, n. 4, 2019.
<https://www.scielo.br/pdf/floram/v26n4/2179-8087-floram-26-04-e20171051.pdf>

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**, v. 22, n. 2, p. 301-324, 2013.

DA SILVA, E. E.; DE AZEVEDO, P. H. S.; DE-POLLY, H, 2007. Determinação da respiração basal (RBS) e quociente metabólico do solo (qCO₂). Embrapa Agrobiologia- Comunicado Técnico (INFOTECA-E).
<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/627577/1/cot099.pdf> (accessed 27 October 2020).

DE ARAÚJO, A. S. F.; MONTEIRO, R. T. R. Indicadores biológicos de qualidade do solo. **Bioscience Journal**, v. 23, n. 3, 2007.

EIVAZI, F.; TABATABAI, M. A., 1988. Glucosidases and galactosidases in soils. *Soil Biology and Biochemistry*.20, 601–606. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(88\)90141-1](https://doi.org/10.1016/0038-0717(88)90141-1)

ESLAMINEJAD, P et al. Plant species and season influence soil physicochemical properties and microbial function in a semi-arid woodland ecosystem. **Plant and Soil**, p. 1-17, 2020.

GAO, Pengxiang et al. Changes in the soil bacterial community in a chronosequence of temperate walnut-based intercropping systems. **Forests**, v. 10, n. 4, p. 299, 2019.

IWATA, Bruna de F. et al. Sistemas agroflorestais e seus efeitos sobre os atributos químicos em Argissolo Vermelho-Amarelo do Cerrado piauiense. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 7, p. 730-738, 2012.
https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662012000700005&lng=pt&tlng=pt

MAIA, Stoécio Malta Ferreira et al. Impactos de sistemas agroflorestais e convencional sobre a qualidade do solo no semi-árido cearense. *Revista Árvore*, v. 30, n. 5, p. 837-848, 2006.

MATSUOKA, M.; MENDES, I. C.; LOUREIRO, M. F, 2003. 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*.27, 425-433. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832003000300004>

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: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/199833/1/CircTec-38-Ieda-Mendes.pdf>. Acessado em: 12 fev. 2021.

MENDONÇA, E. de S, 2005. Matéria orgânica do solo: métodos de análises, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

MIGUEL, Divino Levi et al. Soil microbiological properties and enzyme activity in agroforestry systems compared with monoculture, natural regeneration, and native Caatinga. **Embrapa Agrobiologia-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2020. file:///C:/Users/Windows%2010/Downloads/42704-Article%20Text-215840-1-10-20191210%20(2).pdf

OREFICE, Joseph et al. Soil and understory plant dynamics during conversion of forest to silvopasture, open pasture, and woodlot. **Agroforestry Systems**, v. 91, n. 4, p. 729-739, 2017. <https://link-springer-com.ez34.periodicos.capes.gov.br/article/10.1007%2Fs10457-016-0040-y>

ORTIZ, Juan et al. Soil quality changes within a (*Nothofagus obliqua*) forest under silvopastoral management in the Andes Mountain Range, South Central Chile. **Sustainability**, v. 12, n. 17, p. 6815, 2020.

PEZARICO, C. R. et al. Indicadores de qualidade do solo em sistemas agroflorestais. **Embrapa Agropecuária Oeste-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2013.

RAMAKRISHNAN, Srinivasan et al. Silvopastoral system for resilience of key soil health indicators in semi-arid environment. **Archives of Agronomy and Soil Science**, p. 1-14, 2020. <https://www-tandfonline.ez34.periodicos.capes.gov.br/doi/full/10.1080/03650340.2020.1814954>

RAMAKRISHNA, W.; YADAV, R.; LI, K. Plant growth promoting bacteria in agriculture: Two sides of a coin. **Applied Soil Ecology**, 2019.

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**, v. 66, n. 3, p. 593-607, 2013.

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**, v. 8, n. 3, 2013.

- SOUZA, L. M. de et al., 2015. Carbono da biomassa microbiana em Latossolos determinado por oxidação úmida e combustão a temperatura elevada. **Pesqui. Agropecuária Brasileira**. 50, 1061-1070. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2015001100009>
- TABATABAI, M. A.; BREMNER, J. M., 1969. Arylsulfatase activity of soils. *Soil Science Society of Am. Proc.* 34, 225–229.. <https://doi.org/10.2136/sssaj1970.03615995003400020016x>
- TABATABAI, M. A.; BREMNER, J. M., 1970. Use of p-nitrophenyl phosphate for assay of soil phosphatase activity. *Soil Biology and Biochemistry*. 1, 301–307. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(69\)90012-1](https://doi.org/10.1016/0038-0717(69)90012-1)
- TAVARES, Dérica Gonçalves et al. Controle biológico de *Meloidogyne incognita* por isolados de actinomicetos. In: *Colloquium Agrariae*. ISSN: 1809-8215. 2019. p. 29-36.
- TEIXEIRA, Heitor Mancini et al., 2021. 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**, v. 305, p. 107171. <https://www-sciencedirect.ez34.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0167880920303571?via%3Dihub>
- TEIXEIRA, P. C. et al., 2017. Manual de métodos de análise de solo. Embrapa. 573. <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/194786/1/Pt-5-Cap-1-Micromorfologia-do-solo.pdf> (accessed 27 October 2020).
- TIAN, Y.; CAO, F.; WANG, G., 2013. Soil microbiological properties and enzyme activity in Ginkgo–tea agroforestry compared with monoculture. *Agrofor. systems*. 87, 1201-1210. <https://doi.org/10.1007/s10457-013-9630-0>
- VALLEJO, Victoria E. et al. Effect of land management and *Prosopis juliflora* (Sw.) DC trees on soil microbial community and enzymatic activities in intensive silvopastoral systems of Colombia. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 150, p. 139-148, 2012. <https://www-sciencedirect.ez34.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0167880912000370?via%3Dihub>
- YANG, N. et al., 2016. Variations in soil microbial biomass carbon and soil dissolved organic carbon in the re-vegetation of hilly slopes with purple soil. *PLoS One*. 11, e0166536. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0166536>
- WEERASEKARA, Chathuri et al. Soil quality differences in a row-crop watershed with agroforestry and grass buffers. **Agroforestry Systems**, v. 90, n. 5, p. 829-838, 2016. <https://link-springer-com.ez34.periodicos.capes.gov.br/article/10.1007/s10457-016-9903-5#Fig2>
- ZAGO, Leciana Menezes Souza; RAMALHO, Werther Pereira; CARAMORI, Samantha. Does Crop-Livestock-Forest Systems Contribute to Soil Quality in Brazilian

Savannas?. **Floresta e Ambiente**, v. 26, n. 3, 2019.

<https://www.scielo.br/pdf/floram/v26n3/2179-8087-floram-26-3-e20180343.pdf>

ZHANG, X. et al., 2019. Agroforestry alters the rhizosphere soil bacterial and fungal communities of moso bamboo plantations in subtropical China. *Appl. Soil Ecology*. 143, 192-200. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2019.07.019>.

ZHU, Xiai et al. Reductions in water, soil and nutrient losses and pesticide pollution in agroforestry practices: a review of evidence and processes. **Plant and Soil**, v. 453, n. 1, p. 45-86, 2020. <https://link-springer-com.ez34.periodicos.capes.gov.br/article/10.1007%2Fs11104-019-04377-3>