

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE AGRONOMIA**

SELIANE OLIVEIRA VIEIRA

**Atividade Microbiana de um Argissolo Vermelho-Amarelo sob
Bosque de Sabiá (*Mimosa caesalpinifolia* Benth)**

**Rio Largo
2021**

SELIANE OLIVEIRA VIEIRA

**Atividade Microbiana de um Argissolo Vermelho-Amarelo sob
Bosque de Sabiá (*Mimosa caesalpinifolia* Benth)**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Agronomia da Universidade Federal de Alagoas - Centro de Ciências Agrárias como requisito parcial para obtenção do título de Engenheira Agrônoma.

Orientador: Prof. Msc. João Manoel da Silva

Rio Largo
2021

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca do Campus de Engenharias e Ciências Agrárias
Bibliotecária Responsável: Myrtes Vieira do Nascimento

V665a Vieira, Seliane Oliveira

Atividade microbiana de um argissolo vermelho – amarelo sob bosque de sabiá (*Mimosa caesalpiniiifolia Benth.*) / Seliane Oliveira Vieira – 2021.
34 f.; il.

Monografia de Graduação em Agronomia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Universidade Federal de Alagoas, Campus de Engenharias e Ciências Agrárias. Rio Largo, 2021.

Orientação: Prof. Me. João Manoel da Silva

Inclui bibliografia

1. Biomassa. 2. Solo - bioquímica. 3. Respiração microbiana. I. Título.

CDU: 631.41

Folha de Aprovação

SELIANE OLIVEIRA VIEIRA

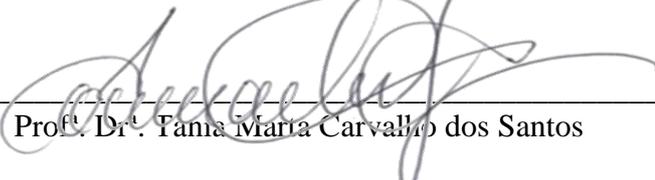
Atividade Microbiana de um Argissolo Vermelho-Amarelo sob um Bosque de Sabiá(*Mimosa caesalpinifolia* Benth)

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao curso de Agronomia da Universidade Federal de Alagoas - Centro de Ciências Agrárias e como requisito parcial para obtenção do título de Engenheira Agrônoma

Aprovada em: 29 de janeiro de 2021

Banca Examinadora:


Prof. Msc. João Manoel da Silva – Orientador (RENORBIO-UFAL)


Prof. Dr.ª Yama Maria Carvalho dos Santos


Prof.ª Dr.ª Yamira Coentro Montaldo (CECA-UFAL)

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus por tudo, pela dádiva da vida.

Agradeço as minhas filhas Alice e Joana por serem o motivo da minha felicidade, me sinto honrada por ser mãe delas, são a luz que iluminam meu viver.

À minha mãe Maria Rosa Oliveira e meu tio Cícero Oliveira da Silva, que foram minhas bases e sempre estiveram ao meu lado me apoiando em todas as decisões.

Ao meu marido Weverton Dênis por todo companheirismo.

Agradeço imensamente ao meu amigo João Manoel que foi fundamental para a conclusão desse trabalho.

À minha prima Juliana Francisca por todo carinho e sempre torcer por mim.

As minhas amigas do ensino fundamental que até hoje se fazem presente, Jennifer, Tarciana, Daniele, e em especial a Sheylla Patrícia por ser tão maravilhosa, por ter esse jeito de ser que sempre pensa no outro, sempre disposta à ajudar da maneira que puder, muito obrigada.

Aos meus amigos da graduação, Jackson, Arthur, Dailson, Danilo e Rayssa por me proporcionarem tantos sorrisos nos intervalos das aulas, foram manhãs cheias de alegria.

Ao laboratório de Microbiologia por me acolher e me oferecer todo conhecimento e ferramentas para a realização desse trabalho.

A minha orientadora e professora Tânia Marta por ter me aceitado no processo de reintegração.

RESUMO

Os atributos bioquímicos do solo tais como: a taxa de respiração, carbono prontamente mineralizável, carbono da biomassa microbiana e sua atividade bem como seu quociente metabólico, relação C microbiano/C orgânico total são indicadores que fornecem informações fundamentais sobre a manutenção e produtividade dos ecossistemas. Objetivou-se por esse estudo avaliar a atividade microbiana do solo de um Argissolo Vermelho-Amarelo sob um bosque de sabiá (*Mimosa caesalpinifolia* Benth) implantado em 1999 ocupando uma área de aproximadamente 5.000m² e o total de 1670 plantas. Foram realizadas quatro coletas ao longo de um ano. A respiração microbiana do solo foi determinada por meio da captura do CO₂ evoluído seguido de titulometria em HCl. A determinação do carbono da biomassa foi realizada por meio do método de fumigação-extração e oxidação do carbono orgânico pelo dicromato de potássio (K₂Cr₂O₇). A partir dos resultados da respiração basal das amostras de solo e do C da biomassa microbiana, foi calculado o quociente metabólico (qCO₂) que representa a quantidade de C-CO₂ evoluída por unidade de C microbiano (µg C-CO₂/hora⁻¹/µgC-biomassa. g⁻¹ solo seco). Por meio da análise de variância para a atividade microbiana do solo, foi possível detectar diferenças estatísticas significativas (Tukey p<0,05). Assim, as análises mostram que há diferenças entre as coletas a partir da coleta 3, sendo esta igual a coleta 4, assim como as coletas 1 e 2 não iguais entre si e diferentes das demais. A análise de variância para os dados de liberação do carbono detectou entre as coletas, média acumulada de CO₂ evoluído foi de aproximadamente 420 a 520 mgCO₂kg⁻¹. Em relação ao CBM foi detectado por meio da ANAVA que não houve diferença significativa (p, 0,05) entre as coletas, mesmo que estas apresentem valores crescentes ao longo do tempo. Assim como o CBM, o C orgânico total não apresentou diferenças estatísticas significativas (p<0,05) por meio da ANAVA. O quociente microbiano e o quociente metabólico apresentaram diferenças estatísticas significativas. Concluiu-se que, nesse trabalho, a atividade metabólica dos micro-organismos indica que o solo está próximo ao estado de equilíbrio.

Palavras-Chave: Respiração microbiana. Carbono da biomassa microbiana. Quociente metabólico.

ABSTRACT

The biochemical attributes of the soil such as: the respiration rate, readily mineralizable carbon, carbon from the microbial biomass and its activity as well as its metabolic quotient, microbial C/total organic C ratio are indicators that provide fundamental information on the maintenance and productivity of ecosystems. The objective of this study was to evaluate the microbial activity of the soil of a Red-Yellow Argisol under a thrush forest (*Mimosa caesalpiniiifolia* Benth) implanted in 1999, occupying an area of approximately 5,000 m² and a total of 1670 plants. Four collections were made over the course of a year. Soil microbial respiration was determined by capturing the evolved CO₂ followed by titration in HCl. The determination of biomass carbon was carried out using the fumigation-extraction and oxidation method of organic carbon by potassium dichromate (K₂Cr₂O₇). From the results of basal respiration of soil samples and the microbial biomass C, the metabolic quotient ($q\text{CO}_2$) that represents the amount of C-CO₂ evolved per unit of microbial C ($\mu\text{gC-CO}_2/\text{hour}^{-1}/\mu\text{gC-biomass.g}^{-1}$ dry soil). Through analysis of variance for soil microbial activity, it was possible to detect statistically significant differences (Tukey $p < 0.05$). Thus, the analyzes show that there are differences between the collections from collection 3, which is the same as collection 4, as well as collections 1 and 2 not the same and different from the others. The analysis of variance for the carbon release data detected, between collections, the accumulated average of evolved CO₂ was approximately 420 to 520 mgCO₂kg⁻¹. Regarding the CMB, it was detected through ANOVA that there was no significant difference ($p < 0.05$) between the collections, even though they show increasing values over time. Like CBM, total organic C did not show statistically significant differences ($p < 0.05$) through ANOVA. The microbial quotient and the metabolic quotient showed statistically significant differences. It was concluded that, In this work, the metabolic activity of microorganisms indicates that the soil is close to the equilibrium state.

Keywords: Microbial respiration. Carbon of microbial biomass. Metabolic Quocient.

Lista de figuras

Figura 1: Respiração microbiana do solo em bosque de sabiá (<i>Mimosa caesalpinifolia</i> Benth). Barras seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).	21
Figura 2: C da biomassa microbiana do solo em bosque de sabiá (<i>Mimosa caesalpinifolia</i> Benth). Barras seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).	23
Figura 3: C orgânico do solo em bosque de sabiá (<i>Mimosa caesalpinifolia</i> Benth). Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).	25
Figura 4: Quociente microbiano do solo em bosque de sabiá (<i>Mimosa caesalpinifolia</i> Benth). Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).	26
Figura 5: Quociente metabólico do solo em bosque de sabiá (<i>Mimosa caesalpinifolia</i> Benth). Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).	27

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
2	REVISÃO DE BIBLIOGRÁFICA	11
	2.1 Respiração microbiana	12
	2.2 Carbono da biomassa microbiana.....	14
	2.3 Quociente microbiano e metabólico do solo.....	16
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	18
	3.1. Local de Investigação e coleta de solo	18
	3.2 Análises biológicas.....	18
	3.3 Análises estatísticas	20
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	21
	CONCLUSÃO.....	29
	REFERÊNCIAS	30

1 INTRODUÇÃO

A adição de materiais orgânicos é fundamental à qualidade do solo, caracterizando-se pela liberação gradativa de nutrientes, que reduz processos como lixiviação, fixação e volatilização. A produção e decomposição da serrapilheira é um processo dinâmico e contínuo com a consequente transferência destes para o ambiente, é essencial para a caracterização dos padrões de ciclagem, pois representa a principal via de retorno de nutrientes e matéria orgânica à superfície do solo.

A decomposição da matéria orgânica, proveniente principalmente das folhas, permite o retorno ao solo dos nutrientes absorvidos pela planta e que não sofreram lixiviação, mantendo a funcionalidade do ecossistema. O processo de decomposição da matéria orgânica possibilita que parte do carbono incorporado na biomassa vegetal retorne à atmosfera como CO₂ e outra parte, juntamente com os elementos minerais, seja incorporada ao solo. Estes mesmos minerais, posteriormente, após o processo de mineralização, poderão ser reabsorvidos pelas raízes do vegetal, e também protege o solo dos agentes erosivos e propicia condições para o restabelecimento de suas propriedades físicas, químicas e biológicas.

No estudo da ciclagem de nutrientes em diversos ecossistemas, um dos métodos utilizados para estimar a decomposição da camada de serrapilheira é a determinação do valor K, que é a relação entre a quantidade de material que cai do dossel e a que está depositada sobre o solo (ANDRADE et al., 1999; SILVA et al., 2020).

O processo de decomposição dentro dos ecossistemas varia de acordo com as condições microambientais, com as condições microclimáticas e as características da comunidade decompositora. Os micro-organismos estão diretamente envolvidos nos ciclos dos nutrientes no solo sendo os principais responsáveis pela decomposição dos resíduos orgânicos, pela ciclagem de nutrientes e pelo fluxo de energia dentro do solo, exercendo influência tanto na transformação da matéria orgânica, quanto na estocagem do carbono e nutrientes minerais.

A biomassa microbiana é ponto central do fluxo de carbono no solo, a quantidade de biomassa encontrada no solo está relacionada à quantidade de carbono que este recebe

sendo, portanto, um ótimo indicador para prover informações rápidas sobre mudanças na propriedade orgânicas de solo, detectar mudanças causadas por cultivos ou devastação de florestas, ou determinar a regeneração de solos após a remoção da camada superficial.

O quociente metabólico refere-se à relação entre o carbono da biomassa microbiana e o carbono orgânico total do solo e é um índice bastante utilizado para fornecer indicações sobre a dinâmica da matéria orgânica, expressando a eficiência da biomassa microbiana em utilizar o carbono orgânico do solo. As mudanças no quociente metabólico refletem o padrão de entrada da matéria orgânica no solo, a eficiência da conversão do C microbiano, as perdas do C do solo e a estabilização do C orgânico pela fração mineral do solo.

A respiração basal é o caminho de saída do carbono do ecossistema terrestre e tem um grande potencial como indicador do seu metabolismo. O entendimento do fluxo de CO₂ do solo é a chave para entender a troca do fluxo solo planta-atmosfera. O conhecimento da respiração total do solo em função de variáveis como temperatura e umidade de solo, pode esclarecer e quantificar melhor este gás e assim poderá também melhorar modelos de interações.

Diante do exposto, objetivou-se por meio desse estudo determinar a atividade microbiana do solo em um bosque de sabiá (*Mimosa caesalpinifolia* Benth.) por meio dos métodos clássicos de avaliação.

2 REVISÃO DE BIBLIOGRÁFICA

A serrapilheira é a principal via de transferência no fluxo de nutrientes e fundamental para a sustentabilidade de uma floresta, pois permite que, pelo menos em parte, ocorra o retorno ao solo de uma significativa quantidade de nutrientes absorvida pelas plantas. Isso tem impacto positivo no balanço de nutrientes no sítio, diminuindo os impactos que a colheita pode causar (MARTIUS et al., 2004). A camada de serapilheira, juntamente com a parte aérea e radicular das plantas, também protege o solo dos agentes erosivos e propicia condições para o restabelecimento de suas propriedades físicas, químicas e biológicas (IKPE et al., 2003).

Os estoques de matéria orgânica do solo em qualquer ecossistema são obtidos pela interação dos fatores que determinam sua formação e aqueles que promovem sua decomposição. A decomposição dos resíduos orgânicos que formam a serapilheira é o principal processo de ciclagem de nutrientes em ecossistema florestal (MONTAGNINI; JORDAN, 2002). Estes resíduos, ao serem depositados, sofrem inicialmente decomposição parcial pela mesofauna e, posteriormente, ação decompositora dos micro-organismos. Parte do carbono presente nos resíduos é liberado para a atmosfera como CO₂ e o restante passa a fazer parte da matéria orgânica como componente do solo.

A decomposição da matéria orgânica, proveniente principalmente das folhas, permite o retorno ao solo dos nutrientes absorvidos pela planta e que não sofreram lixiviação, mantendo a funcionalidade do ecossistema (GAMA-RODRIGUES et al., 2003). Estes mesmos minerais, posteriormente, após o processo de mineralização, poderão ser reabsorvidos pelas raízes do vegetal. O processo de decomposição dentro dos ecossistemas varia de acordo com as condições microambientais, com as condições microclimáticas e as características da comunidade decompositora (GAMA-RODRIGUES et al, 2003).

Além das condições (físicas e químicas) do ambiente e da atividade heterotrófica dos decompositores, a qualidade e a quantidade dos recursos vegetais condicionarão a velocidade do processo de decomposição. A dinâmica da serapilheira e de seus nutrientes, representada pela entrada via deposição e saída via decomposição/mineralização, é essencial à manutenção de florestas nativas ou plantios florestais (FERREIRA et al., 2007).

O solo pode ser considerado um incinerador biológico, operado pelos organismos que nele se proliferam, tornando-se, dessa maneira, um importante regulador de processos globais, como trocas gasosas e fluxos de nutrientes nos sistemas solo-vegetação-atmosfera (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). Por estas características, têm sido verificadas correlações entre os teores de carbono orgânico e diferentes atributos biológicos do solo, inclusive em ambientes.

A qualidade do solo, esta pode ser inferida a partir das mudanças nos atributos edáficos ou do ecossistema (SILVA et al., 2019). As variáveis capazes de inferir sobre a qualidade destes ambientes são conhecidas como indicadores. Os indicadores devem fornecer algumas medidas da capacidade do solo funcionar respeitando a vegetação e a produtividade, a qualidade ambiental e a saúde humana e animal. Eles também devem ser usados para medir mudanças no funcionamento ou limitações do ecossistema.

Os indicadores ideais devem apresentar as características de boa correlação com processos do ecossistema, integrar propriedades e processos físicos, químicos e biológicos do solo, ter boa acessibilidade, ser sensível ao clima e manejo, estar presente nas bases de dados existentes, ser inconfundível e interpretável (FREITAS, 2014).

A escolha de indicadores microbiológicos para definir a qualidade do solo tem sido adotada na literatura uma vez que os organismos edáficos apresentam a capacidade de resposta rápida a mudanças no ambiente, principalmente as alterações antrópicas derivadas do manejo de culturas vegetais (ELEFTHERIADIS; TURRION, 2014). A utilização de todos os indicadores microbiológicos disponíveis em um programa de monitoramento da qualidade de um solo sob cultivo seria inviável devido a gama de atributos atualmente relatados na literatura.

2.1 Respiração microbiana

A respiração microbiana do solo, também denominada C prontamente mineralizável, pode ser compreendida como a soma de todas as funções metabólicas nas quais o dióxido de carbono (CO_2) é produzido (SILVA et al., 2007), sendo um dos métodos mais utilizados para avaliar a atividade metabólica da população microbiana que vive no solo. Pelo fato de a microbiota edáfica ser capaz de oxidar vários tipos de compostos orgânicos para a síntese de novas células, a mensuração da respiração microbiana reflete diretamente a atividade dos

micro-organismos heterótrofos e informa acerca da bioatividade do solo (SILVA et al., 2021).

A respiração microbiana pode ser quantificada de forma basal ou de forma induzida (ALEF; NANNIPIERI, 1995). A respiração basal quantifica simplesmente o CO₂ evoluído durante a incubação do solo, sendo possível estimar a atividade heterotrófica sobre os substratos presentes no sistema (solo), à induzida é adicionada uma fonte de carbono prontamente disponível, de forma a quantificar a máxima atividade heterotrófica de um sistema edáfico (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

A respiração basal é definida como a respiração na qual não há adição de substratos orgânicos ao solo e pode ser avaliada por meio da produção de CO₂ ou consumo de O₂ (ALEF; NANNIPIERI, 1995; SILVA et al., 2019). É um dos parâmetros mais antigos e assertivos utilizados na quantificação da atividade metabólica nos solos (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006; BARROSO et al., 2012). Assim como outras atividades metabólicas, é dependente do estágio fisiológico da célula e é influenciada por diversos fatores no solo, tais como umidade, temperatura, estrutura do solo e disponibilidade de nutrientes (RENELLA et al., 2005).

Nas reações de oxidação, enquanto parte do carbono do substrato é utilizada na construção de um novo protoplasma celular, parte é liberada na forma de CO₂, a qual poderá ser quantificada. Medidas de respiração microbiana refletem diretamente a atividade de micro-organismos heterótrofos e informam quanto à bioatividade do solo (PAUL, 2014). A biomassa microbiana do solo também pode ser medida indiretamente por meio da respiração do solo (NIELSEN; WINDING, 2002).

Os variados resíduos no solo, em diferentes quantidades, alteram o comportamento e composição da microbiota, podendo estimular ou inibir a sua atividade, principalmente em relação aos processos de transformação da matéria orgânica e à ciclagem de nutrientes e às interações de troca com a maioria das espécies de plantas, especialmente as de importância agrícola (MOURA et al., 2015), como também o manejo adotado (MONTALDO et al., 2018; SILVA et al., 2019). Kummer et al. (2008), ao estudarem a influência de quatro sistemas de uso do solo sobre a biota, constataram uma elevação da respiração basal do solo devido a adição de resíduos de cana-de-açúcar e milho, sendo o aumento obtido pelos resíduos de milho mais expressivos.

Em sistemas de plantio direto, cultivos perenes e área de vegetação nativa, onde não há revolvimento da camada arável do solo, a deposição de serrapilheira ocorre na superfície e em função disso, muitos atributos do solo são submetidos à estratificação em profundidade, com maior acúmulo na camada superficial (FRANZLUEBBERS et al., 2007), o que torna melhor a qualidade do solo através da maior formação de agregados e aeração, o que influencia significativamente a atividade microbiana.

Entretanto, a interpretação dos dados de respiração deve ser cautelosa, uma vez que o incremento na atividade respiratória pode ser desencadeado, tanto pela alta produtividade de um ecossistema, quanto por possíveis estresses advindos de distúrbios ambientais (SILVA et al., 2007) ou mesmo pela ação antropogênica.

2.2 Carbono da biomassa microbiana

A biomassa microbiana do solo desempenha papel fundamental na manutenção dos ecossistemas, pois atua como um catalisador das importantes transformações químicas e físicas no solo, além de atuar como um reservatório de nutrientes disponíveis às plantas. O seu acompanhamento reflete possíveis modificações no solo, sendo considerada uma boa indicadora das alterações resultantes do manejo (SOUZA et al., 2006).

O C da biomassa microbiana compreende a fração viva da matéria orgânica do solo, composta por bactérias, fungos, actinomicetos, protozoários e algas. Ela é um importante componente na avaliação da qualidade do solo porque atua nos processos de decomposição natural interagindo na dinâmica dos nutrientes e regeneração da estabilidade dos agregados (SILVA et al., 2019). A biomassa microbiana está relacionada com o conteúdo de matéria orgânica no solo e, em solos cultivados, por exemplo, de 2-3% do carbono orgânico total pertence ao carbono da biomassa microbiana (ARAÚJO et al., 2019).

É a principal fonte enzimática no solo, responsável pela quase totalidade da atividade biológica desse ambiente. Embora represente pequena parte do carbono orgânico do solo, a biomassa é um indicador sensível de mudanças edafoclimáticas neste ecossistema e os menores valores são geralmente encontrados em áreas degradadas por atividades antropogênicas em comparação com áreas bem preservadas e com vegetação natural (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

A liberação ou imobilização de macro e micronutrientes no solo depende da dinâmica dos micro-organismos ali existentes, da quantidade de resíduos vegetais (como serrapilheira), do rápido retorno e da eficiência de utilização de carbono pela microbiota (BAUDOIN et al., 2003).

A biomassa microbiana, por sua vez, responde rapidamente à adição de C e de N ao solo, determinando, a decomposição da matéria orgânica, a relação C:N, a mineralização e a imobilização de nutrientes (HATCH et al., 2000). Também é influenciada pelas variações sazonais de umidade e temperatura, pelo manejo do solo, pelo cultivo e pelos resíduos vegetais. O manejo do solo também interfere no carbono da biomassa microbiana, promovendo sua diminuição em preparo intensivo do solo, como aração, gradagem e subsolagem (PEREZ et al., 2005).

A biomassa tende a ser maior em camadas mais superficiais, pela maior disponibilidade de matéria orgânica, água e nutrientes (SILVA; MENDONÇA, 2007). Em sistemas de manejo que provém aumentos em atributos biológicos associados à biomassa microbiana proporcionam incremento na ciclagem de nutrientes e energia metabólica no sistema solo. Souza et al. (2006) observaram em sistema de sete culturas que aqueles com maior produção de biomassa vegetal e acúmulo de resíduos na superfície do solo apresentaram os maiores valores de biomassa microbiana na camada de até 0,05 m.

O carbono da biomassa microbiana (CBM), que representa a parte viva e mais ativa da matéria orgânica do solo, é mais sensível à remoção da cobertura vegetal nativa que a parte mineral da matéria orgânica. Por essa razão, o carbono da biomassa microbiana tem sido apontado como um indicador de qualidade, com sensibilidade para detectar modificações no solo, antes mesmo que os teores de matéria orgânica sejam alterados significativamente (MENDES et al., 2003).

Segundo estudos realizados por Silva et al. (2020), a biomassa microbiana, possui maior estabilidade em ecossistemas dos quais não apresentam sucessivas interferências no manejo, apresentando maior estabilidade. Santos et al. (2007) afirmam que o valor da BMS foi maior no sistema de semeadura direta em relação ao preparo convencional do solo. Andréa et al. (2002) observaram decréscimo do carbono da biomassa microbiana com o uso do Cerrado nativo para pastagem ou sistemas agrícolas sob semeadura direta e preparo

convencional, com a maior redução verificada no plantio convencional de longa duração, e a menor, na pastagem

O carbono da biomassa microbiana (CBM) tem sido apontado como um indicador de qualidade (SILVA et al., 2020), com sensibilidade para detectar modificações no solo antes mesmo que teores de matéria orgânica sejam alterados significativamente. A avaliação da biomassa microbiana é útil para prover informações rápidas sobre mudanças nas propriedades orgânicas do solo, detectar mudanças causadas por cultivos ou devastação de florestas ou determinar a regeneração de solos após a remoção da camada superficial e avaliar os efeitos de contaminação por elementos traço e pesticidas como em áreas antes cobertas por cultivos agrícolas (ANDRADE et al., 2020).

A emissão de CO₂ do solo é proveniente da hidrólise da matéria orgânica por microorganismos heterotróficos e pela respiração de raízes. O CO₂ emitido pelo solo é um importante componente em todo o processo de ciclagem do carbono, bem como influencia diretamente nas concentrações de CO₂ na atmosfera, sendo que um incremento nas concentrações deste elemento culmina em maior efeito estufa, conseqüentemente em aumento na temperatura média global, ocasionando sérias conseqüências climáticas e ambientais. Na atualidade, procura-se mitigar (atenuar) as emissões de CO₂ do solo. Contudo, este elemento é metabolizável pelas plantas no processo de fotossíntese e está diretamente relacionado com o acúmulo de matéria verde pelas espécies vegetais (SOUZA, 2005).

A biomassa e atividade microbiana em sistemas florestais são altamente correlacionadas com características químicas do solo, e nutrientes presentes na solução do solo. A biomassa microbiana pode ser utilizada como um indicador biológico ou como índice de adequação de sustentabilidade de sistemas de produção e, geralmente, apresenta uma forte correlação com a matéria orgânica do solo, refletindo mudanças na sua concentração.

2.3 Quociente microbiano e metabólico do solo

O quociente metabólico, razão entre C-CO₂ da atividade microbiana e o C da biomassa, representa, tal como a biomassa microbiana e a respiração, um indicador sensível de alterações no ecossistema. Segundo Araújo et al. (2019) as mudanças no quociente

metabólico refletem o padrão de entrada da matéria orgânica no solo, a eficiência da conversão do C microbiano, as perdas do C do solo e a estabilização do C orgânico pela fração mineral do solo. Assim seu valor pode indicar se está ocorrendo acúmulo ou perda de carbono no solo, bem como o tempo no qual o C se apresenta imobilizado pelos micro-organismos.

A razão entre carbono da biomassa microbiana e carbono orgânico total indica a qualidade da matéria orgânica pode-se monitorar a dinâmica da matéria orgânica do solo usando-se a mesma. A matéria orgânica do solo representa o principal reservatório de energia para os micro-organismos e de nutrientes para as plantas. O declínio ou acréscimo da matéria orgânica do solo serve para mensurar a preservação dos ecossistemas naturais e os desequilíbrios dos agroecossistemas; podendo ser utilizada como critério na avaliação da sua sustentabilidade.

Onde a biomassa está sob estresse, à eficiência de uso do carbono e a imobilização de nutrientes como P e N tende a ser menor do que aquela onde não há estresse. Nesse caso, a relação diminui, ao contrário, com a adição de matéria orgânica de boa qualidade, a biomassa microbiana pode aumentar rapidamente, mesmo se os níveis de carbono orgânico total permanecerem inalterados. Durante o manejo do solo, esta proporção, inicialmente, é submetida à mudanças rápidas e, com o passar do tempo, converge para um "valor de equilíbrio". Se este valor de equilíbrio for conhecido, esta razão pode fornecer uma indicação sobre o quanto um solo está distante de seu "estado de equilíbrio" (BARROSO et al., 2012; SILVA et al., 2019; SILVA et al., 2020).

No Nordeste brasileiro, uma das espécies mais promissoras para implantação de florestas é o sabiá (*Mimosa caesalpiniiifolia* Benth), devido ao seu rápido crescimento, seu excelente valor proteico e energético como forrageira e de suas várias outras utilidades, como estacas, mourões de cerca, lenha e carvão, podendo ser estabelecida em cerca-viva e pastos arbóreos, além da grande produção de serapilheira (COSTA,1988).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Local de Investigação e coleta de solo

O presente trabalho foi realizado no *Campus* de Engenharias e Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas, localizada no município de Rio Largo - AL, cujo solo é classificado como Latossolo Amarelo Coeso textura média (EMBRAPA, 2018). O clima da região é As na Classificação de Koeppen, com pluviosidade média anual de 2.363mm, umidade relativa de 93,02%, temperatura média mínima de 18,9°C e máxima de 27,1°C, com estação seca no verão.

Foram realizadas quatro coletas de solo ao longo de 12 meses, sendo amostras compostas na profundidade de 0-20 cm por caminhamento em ziguezague, acondicionadas em sacos plásticos e encaminhadas ao laboratório onde se procedeu o peneiramento (abertura = 4mm) e a retirada manual de raízes e restos vegetais. Oito dias antes das análises as amostras foram retiradas e incubadas à temperatura de 27,2 °C no escuro, visando reduzir os efeitos da amostragem, transporte, peneiramento e armazenamento sobre os micro-organismos e seus processos.

3.2 Análises biológicas

Determinou-se a respiração microbiana do solo por meio da captura do CO₂ evoluído. Amostras de 20g de solo (base seca) foram em colocadas em frascos de 2,0L juntamente com outro frasco contendo 10ml de NaOH 0,05M para captura do C-CO₂ desprendido do solo. Essas amostras foram incubadas durante 10 dias. O controle constou de frascos contendo apenas o NaOH. Após a incubação o CO₂ capturado precipitado como carbonato de bário, através da adição de 5 mL de cloreto de bário 0,5M e o excesso de NaOH foi titulado com solução de HCL 0,5N na presença de fenolftaleína 0,1%. A taxa de evolução de CO₂ (quantidade de CO₂) existente em cada amostra, foi calculada pela seguinte fórmula:

$$\text{CO}_2(\text{mgkg}^{-1}\text{de solo seco}) = \frac{(\text{Vb} - \text{Va}) \times 1.1 \times 1000}{\text{PSS}}$$

PSS

V_b = volume do HCl (mL) gasto na titulação do NaOH do controle;

V_a = volume do HCl (mL) gasto na titulação do NaOH da amostra;

1,1 = fator de conversão (1 mL de NaOH 0,05M=1mg de CO_2)

PSS = Peso seco do solo

A determinação do carbono da biomassa foi realizada por meio do método de fumigação-extração e oxidação do carbono orgânico pelo dicromato de potássio ($K_2Cr_2O_7$). Para isso fumigou-se 20 gramas das amostras (peso fresco) com 25 mL de clorofórmio livre de etanol sob vácuo de aproximadamente, 600 mm de Hg por 2,0 minutos após o início da ebulição em “dessecador úmido”, permanecendo 24 horas em contato com o vapor deste fumigante, em local escuro e a uma faixa de temperatura 27 ± 2 °C.

O carbono orgânico foi extraído por 50 mL de uma solução de sulfato de potássio 0,5M (K_2SO_4) sob agitação de 30 minutos, após o qual filtrou-se o extrato em filtro de papel Whatman 42. Uma alíquota de 8 mL do filtrado, juntamente com 2 mL de $K_2Cr_2O_7$ 66,7mM, 10 mL de ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4 , 98%) e 5 mL de ácido fosfórico (H_3PO_4 , 88%) foram aquecidos em chapa térmica por refluxo por 3 minutos após o surgimento da primeira bolha, quando ocorre a reação de oxidação do carbono presente nas amostras de solo. Após o resfriamento da mistura quantificou-se o $K_2Cr_2O_7$ residual através de titulação com sulfato ferroso amoniacal 33,3 mM ($Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$) e difenilamina 1% em meio ácido como indicador. Foi aplicada a fórmula:

$$\text{Carbono da biomassa microbiana: } (\mu\text{gg}^{-1}\text{C de solo}) = C_{\text{mic}} = (C_F - C_{\text{NF}}) \cdot K_c$$

C_F = carbono da amostra fumigada

C_{NF} = carbono da amostra não fumigada

$K_c = 2,78$ (fator de correção)

O C orgânico do solo foi determinado pelo método descrito no manual de métodos de análise de solo da Embrapa (1997). Este tem por princípio, a oxidação da matéria orgânica via úmida com o dicromato de potássio ($K_2Cr_2O_7$, 0,4N) em meio sulfúrico, empregando-se como fonte de energia o calor desprendido do ácido sulfúrico e/ou

aquecimento. O excesso de dicromato após a oxidação foi titulado com solução padrão de sulfato ferroso amoniacal $[(\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}, 0,1\text{N})]$ (sal de Mohr).

Foram peneirados 20g de solo, em peneira de 80 “mesh” e retiraram-se 0,5g desse solo que foram colocadas em erlenmeyer de 250mL. Adicionou-se 10mL de solução de dicromato de potássio 0,4N. Incluiu-se um branco com 10mL da solução de dicromato de potássio (sem o solo). Levaram-se os erlenmeyers ao condensador e em placa elétrica até a fervura branda, durante 5 minutos. Deixou-se esfriar e juntou-se 80mL de água destilada, 2mL de ácido ortofosfórico e 3 gotas do indicador difenilamina. Titulou-se com solução de sulfato ferroso amoniacal 0,1N. O C orgânico foi calculado pela fórmula mostrada abaixo:

$$C \text{ (gkg}^{-1}\text{)} = [40 - (\text{volume gasto} \times f)] \times 0,6$$

$$f = 40 / \text{volume de sulfato ferroso gasto no branco}$$

A partir dos resultados da respiração basal das amostras de solo e do C da biomassa microbiana, foi calculado o quociente metabólico ($q\text{CO}_2$) que representa a quantidade de C- CO_2 evoluída por unidade de C microbiano ($\mu\text{g C-CO}_2/\text{hora}^{-1}/\mu\text{gC-biomassa.g}^{-1}$ solo seco) (ANDERSON, 1994).

$$\text{CO}_2(\text{mg.kg}^{-1}\text{de solo seco}) = \frac{(\text{Vb-Va}) \times 1.1 \times 1000}{\text{PSS}}$$

Vb = volume do HCl (ml) gasto na titulação do NaOH do controle;

Va = volume do HCl (ml) gasto na titulação do NaOH da amostra;

1,1 = fator de conversão (1 ml de NaOH 0,05M=1mg de CO_2)

PSS = Peso seco do solo

3.3 Análises estatísticas

Os resultados obtidos foram tabulados e submetidos à análise de variância (ANAVA) por meio do software Sisvar (FERREIRA, 2014). As médias foram agrupadas e comparadas por meio do teste de Tukey com probabilidade de 5%.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Por meio da análise de variância para a atividade microbiana do solo, foi possível detectar diferenças estatísticas significativas ($p < 0,05$) pelo teste F. Assim, as análises mostram que há diferenças entre as coletas a partir da coleta 3, sendo esta igual a coleta 4, assim como as coletas 1 e 2 não iguais entre si e diferentes das demais (Figura 1).

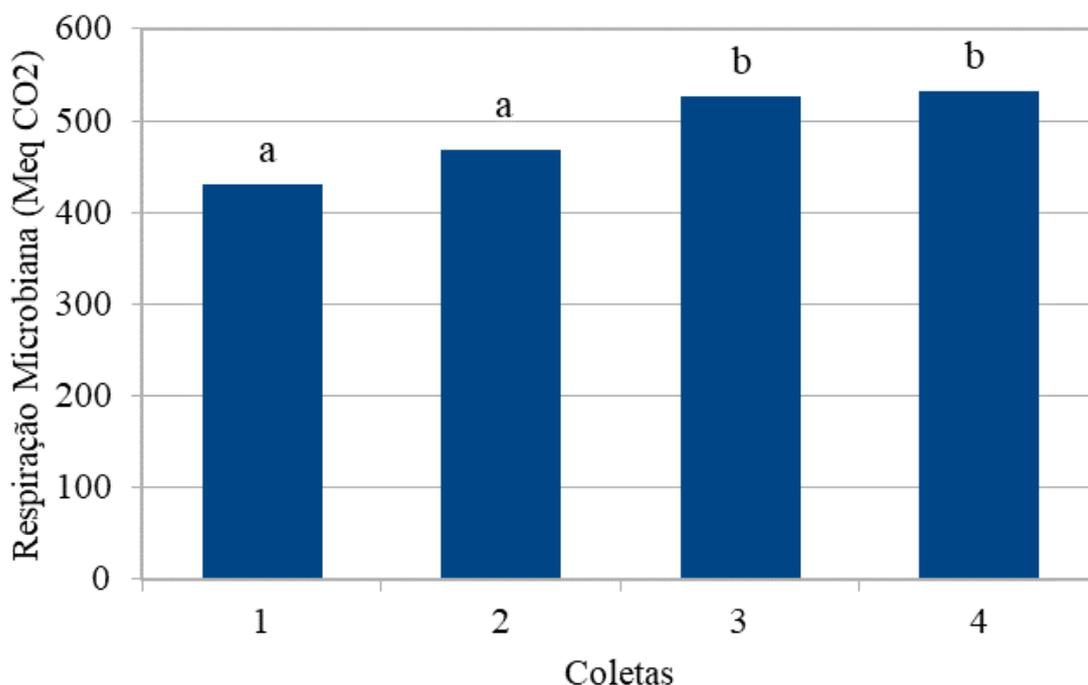


Figura 1: Respiração microbiana do solo em bosque de sabiá (*Mimosa caesalpinifolia* Benth). Barras seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Fonte: Autora (2021).

A análise de variância para os dados de liberação do carbono detectou entre as coletas, média acumulada de CO₂ evoluído foi de aproximadamente 420 a 520 mgCO₂kg⁻¹ (Figura 1). A respiração microbiana tem sido utilizada para avaliar a atividade geral da biomassa microbiana, podendo ser altamente influenciada por diversos fatores no solo, como teor de umidade, temperatura, estrutura e disponibilidade de nutrientes. O teor de C orgânico e pH do solo além da cobertura vegetal influencia na respiração microbiana.

Áreas sob vegetação nativa ou reflorestadas que apresentam baixa ou nenhuma ação antropogênica, apresentam equilíbrio e estabilidade na respiração microbiana do solo, o que torna importante a manutenção e recuperação desses ambientes em função da importância ecológica. Segundo Cunha et al. (2012), o fornecimento contínuo de matéria orgânica proporcionado pela diversidade de espécies existentes em área nativa, assim como a deposição de diferentes compostos oriundos desta vegetação, favorece a sobrevivência e crescimento das diversas classes de micro-organismos do solo comparado a outros sistemas agrícolas como semeadura direta e preparo convencional.

Assim, embora a área de estudo seja um fragmento de reflorestamento com *M. caesalpiniiifolia*, há presente outras espécies vegetais herbáceas, bem como ausência de revolvimento do solo, o que promove manutenção da umidade e da matéria orgânica, fomentando, conseqüentemente, a manutenção dos nutrientes do solo, os quais juntamente com os exudatos das raízes das plantas promovem a manutenção da microbiota do solo em estabilidade.

Além de favorecer a preservação das hifas fúngicas e o acúmulo da serrapilheira na superfície do solo, a ausência de revolvimento do solo também resulta em maior presença de raízes, as quais aumentam a entrada de substratos carbonados no sistema, via exudatos radiculares (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). A diversidade florística das áreas nativas e a presença de vegetação durante todo o ano influenciam a quantidade e a qualidade de serrapilheira, o somatório desses fatores contribui para a ocorrência de níveis maiores de biomassa nessas áreas.

Uma elevada taxa respiratória (respiração microbiana do solo) indica alta atividade biológica, podendo ser uma característica desejável, uma vez que pode significar transformação rápida de resíduos orgânicos em nutrientes disponíveis para as plantas (BATISTA et al., 2009), o que promove maior dinâmica biológica no solo. Entretanto, nem sempre altas taxas respiratórias significam altas taxas de mineralização ou imobilização do solo. Isso se dá, pois, o processo é dependente também da dinâmica de absorção de nutrientes da composição vegetal do ambiente, como também parte destes nutrientes disponibilizados por meio da atividade microbiana podem ser lixiviados, ou ainda utilizados por micro-organismos do solo em seus processos metabólicos.

Em relação ao C da biomassa microbiana (CBM) foi detectado por meio do teste F que não houve diferença significativa ($p < 0,05$) entre as coletas, mesmo que estas apresentem valores crescentes ao longo do tempo (Figura 2).

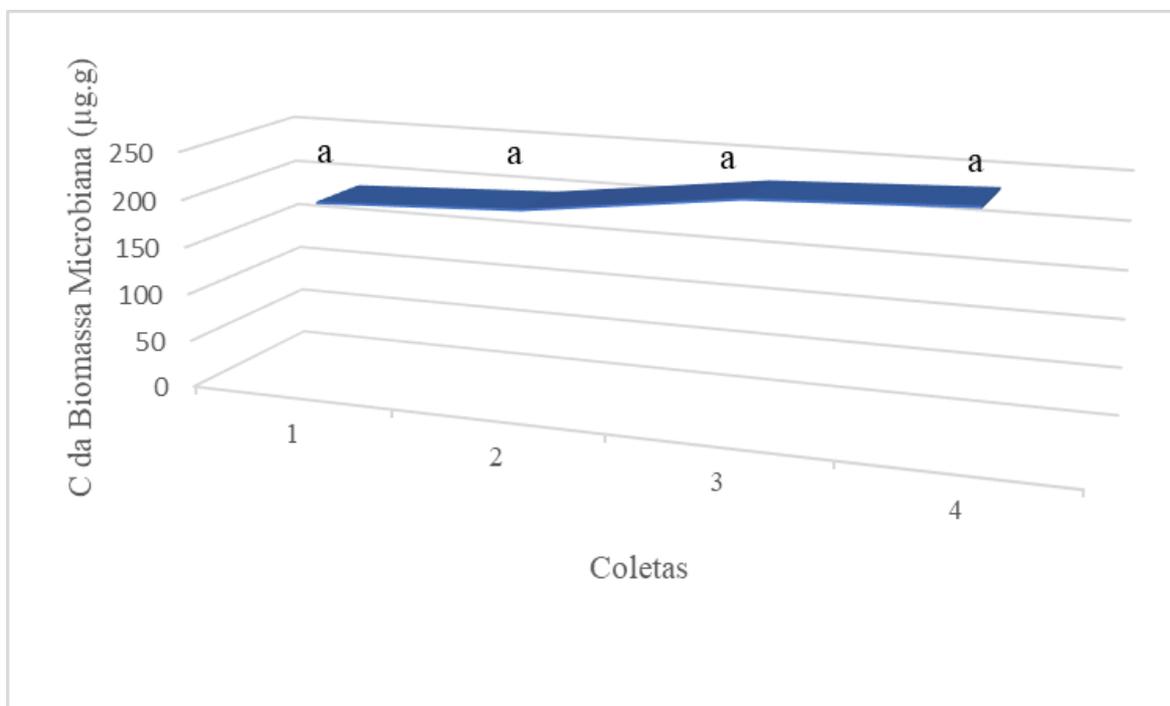


Figura 2: C da biomassa microbiana do solo em bosque de sabiá (*Mimosa caesalpiniiifolia* Benth). Barras seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Fonte: Autora (2021).

Dentre os atributos biológicos do solo, a biomassa microbiana tem sido usada para avaliar as condições do mesmo, pois representa a fração responsável pela mineralização da matéria orgânica, assim como pela ciclagem de nutrientes. Pode ser enquadrada como o compartimento central do ciclo do carbono, representando um considerável reservatório de nutrientes, podendo exercer a função de reserva ou de fonte, dependendo da quantidade de energia que entra ou sai do sistema.

O qCO_2 resultante da taxa da respiração específica dos solos representa a quantidade de CO_2 liberada por unidade da biomassa microbiana em determinado tempo, assim, baixos valores de qCO_2 indicam agroecossistemas mais estáveis, proporcionando condições mais favoráveis ao desenvolvimento dos micro-organismos relacionadas ao não revolvimento do solo e à cobertura morta, como menor rompimento da hifa dos fungos, proteção do habitat

microbiano, aumento do conteúdo de umidade do solo e condições menos extremas de temperatura (RHOTON, 2000; PEREIRA et al., 2007).

A maior liberação de qCO_2 geralmente está associada à maior atividade biológica do solo que, por sua vez, está relacionada diretamente com a quantidade de carbono lábil (residual) existente no solo. Porém, a interpretação dos valores dos indicadores biológicos deve ser realizada com critério, uma vez que alta atividade microbiana nem sempre indica condições desejáveis, ou seja: a curto prazo pode significar liberação de nutrientes para as plantas e, a longo prazo, perda de carbono orgânico do solo para a atmosfera (MONTALDO et al., 2018). Desse modo, valores elevados da liberação de C tanto podem indicar situações de desequilíbrio no sistema solo quanto de alto nível de produtividade do sistema, o que carece de compreensão de todos os fatores envolvidos na dinâmica microbiana do solo.

Quando se observam valores mais elevados de qCO_2 compreende-se que maiores perdas de C estão ocorrendo no sistema solo na forma de CO_2 por unidade de C microbiano (MELLONI et al., 2008). De acordo com os estudos realizados por Martins et al. (2010), aumentos nos valores de qCO_2 estão relacionados à resposta à mineralização da biomassa microbiana.

Os atributos relacionados a biomassa microbiana servem como indicadores da qualidade do solo (FERREIRA; WENDLAND; DIDONET, 2011). Entretanto, o uso desses parâmetros isoladamente não é o mais apropriado para determinar o estado metabólico das comunidades microbianas do solo (BOWLES et al., 2014), necessitando levar em consideração outros atributos microbiológicos da qualidade do solo, como quociente microbiano e metabólico.

De modo geral solos sob mata apresentaram baixos valores de respiração microbiana basal e altos valores de carbono na biomassa microbiana, o que evidencia que as comunidades microbianas destes ecossistemas perdem menos carbono na forma de CO_2 através da respiração, e uma fração significativa de carbono está sendo incorporado na constituição da biomassa microbiana, sugerindo que as comunidades avaliadas se encontram num estágio de sucessão mais avançado, no qual a retenção e conservação de nutrientes são maiores onde comunidade microbiana utiliza as substâncias orgânicas mais para o seu crescimento do que para sua manutenção (MADER et al, 2002).

Assim como o CBM, o C orgânico total não apresentou diferenças estatísticas significativas ($p < 0,05$) por meio do teste F (Figura 3), o que pode-se inferir em um sistema

solo que apresenta estabilidade quanto os processos metabólicos relacionados à sua população microbiana.

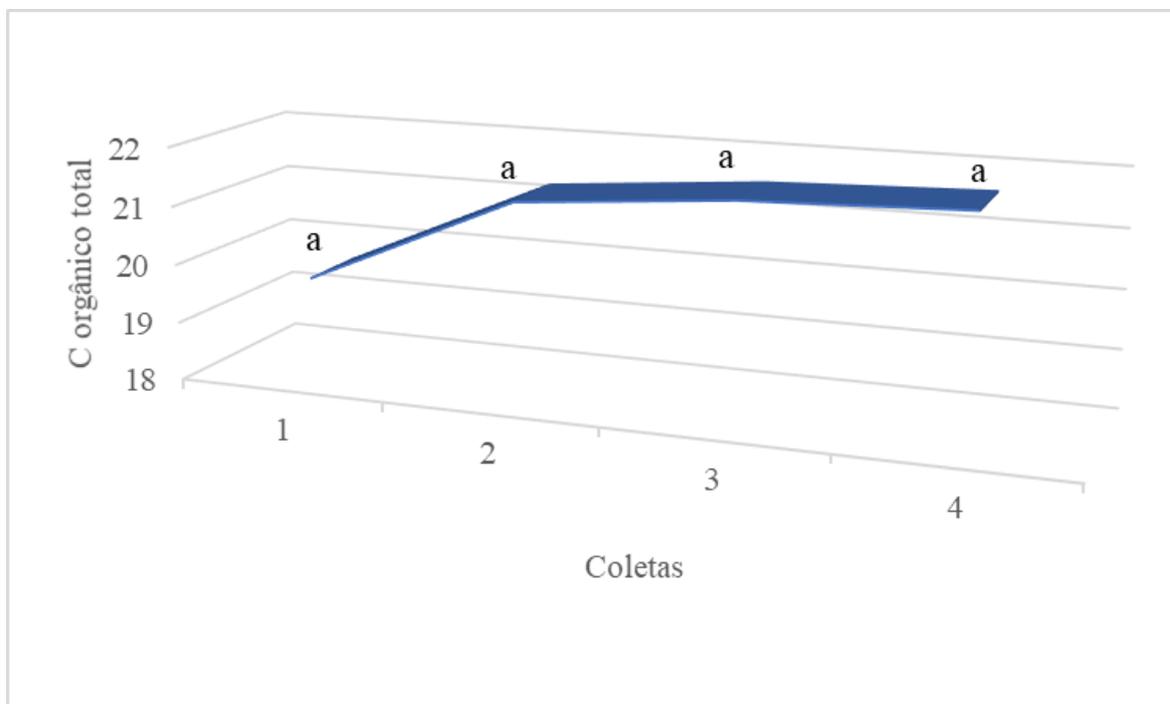


Figura 3 - C orgânico do solo em bosque de sabiá (*Mimosa caesalpinifolia* Benth). Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Fonte: Autora (2021).

O C orgânico total do solo constitui a fonte de nutriente e energia para a realização de processos microbianos, como a respiração do solo, enquanto o pH pode afetar direta ou indiretamente a população microbiana e seus processos. A vegetação nativa naturalmente possui ausência de ação antrópica, o que por sua vez promove um ambiente favorável à manutenção da matéria orgânica do solo, a qual está diretamente relacionada com a entrada de resíduos e pouca saída destes do ambiente (GUARESCHI; PEREIRA; PERIN, 2012).

Segundo Jakelaitis et al. (2008), estudando a qualidade da camada superficial de solo sob vegetação nativa, pastagem e áreas cultivadas constataram que os teores de COT diminuíram em função do uso do solo, de modo que, observaram os maiores teores de COT também em área de vegetação nativa. De acordo com esses autores tal constatação pode ser atribuída à maior deposição de resíduos orgânicos nos solos sob mata. Ou seja, ambientes que apresentam menor ou nenhuma ação de revolvimento do solo tendem a apresentar maior estabilidade nos condicionantes biológicos do solo, o que faz com que sua população microbiana e seus respectivos processos metabólicos sejam estáveis e equilibrados.

Costa Junior et al. (2011) também detectaram maiores teores de COT na profundidade de 0-20 cm também foi observado por em áreas de cerrado em comparação a áreas sob lavoura e pastagem. Segundo os referidos autores os resultados encontrados são decorrentes de uma menor parcela de material na camada superficial do solo.

De acordo com os dados da ANAVA, o quociente microbiano e o quociente metabólico apresentaram diferenças estatísticas significativas pelo teste F ($p < 0,05$) (Figuras 4 e 5, respectivamente).

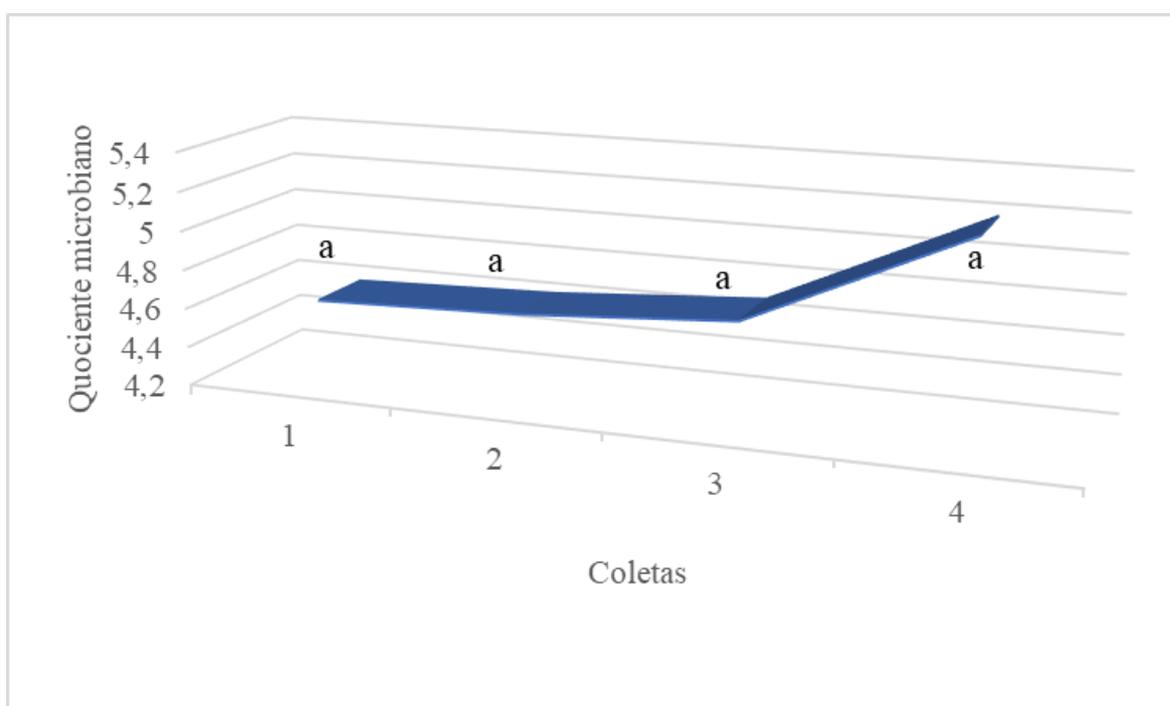


Figura 4: Quociente microbiano do solo em bosque de sabiá (*Mimosa caesalpiniiifolia* Brenth). Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Fonte: Autora (2021).

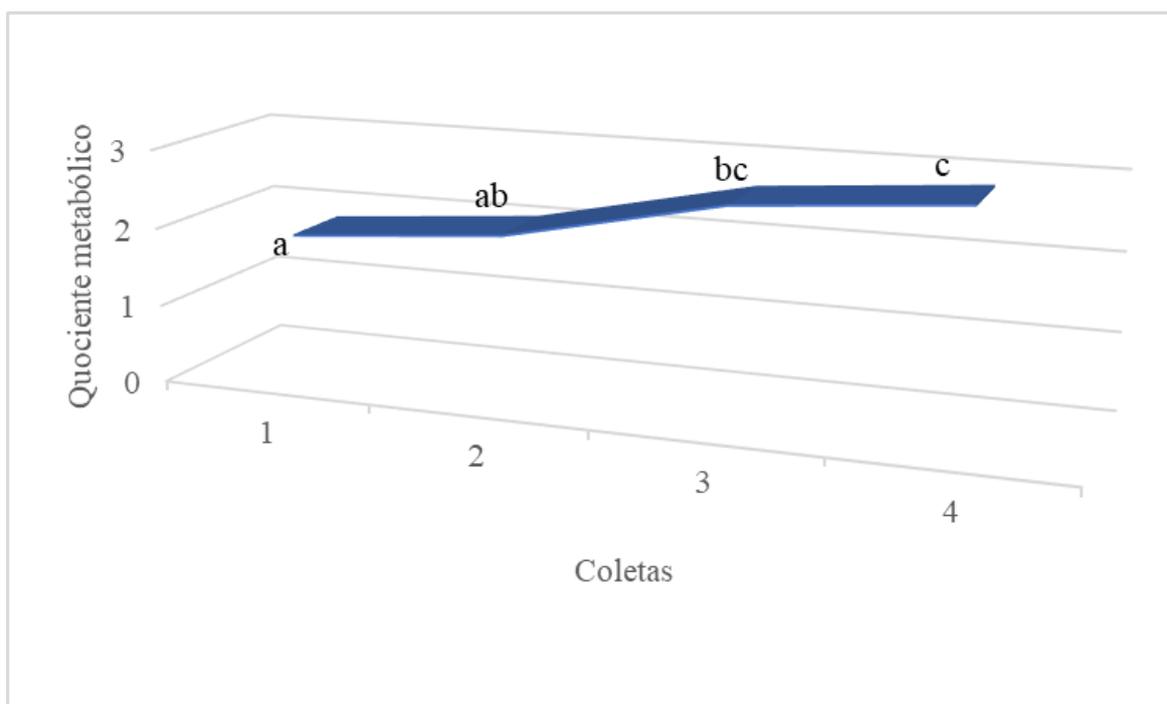


Figura 5: Quociente metabólico do solo em bosque de sabiá (*Mimosa caesalpinifolia* Brenth). Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Fonte: Autora (2021).

O quociente metabólico corresponde à razão entre o $C-CO_2$ da atividade microbiana e C da sua biomassa. Este parâmetro eco fisiológico tem se mostrado como um indicador mais sensível que os valores de respiração e biomassa isolados. As mudanças no quociente metabólico refletem o padrão de entrada da matéria orgânica no solo, a eficiência da conversão do C microbiano, as perdas do C do solo e a estabilização do C orgânico pela fração mineral do solo.

A medida que uma determinada biomassa microbiana se torna mais eficiente, menos carbono é perdido como CO_2 pela respiração e uma maior proporção de carbono é incorporada no tecido microbiano. Desse modo um solo com quociente metabólico mais baixo está mais próximo do estado de equilíbrio, uma biomassa microbiana eficiente tem menor taxa de respiração em relação a uma biomassa microbiana ineficiente. Frequentemente solos com um alto quociente metabólico são dominados por organismos colonizadores de crescimento rápido conforme Silva et al. (2020).

Quando a biomassa microbiana se torna mais eficiente, menos CO_2 é perdido para a atmosfera e maior taxa de carbono é incorporada à biomassa microbiana, o que resulta em menores valores de qCO_2 (CUNHA et al., 2011). A substituição da vegetação acelera a

decomposição dos resíduos vegetais e, assim, o valor do quociente metabólico aumenta (SILVA et al., 2007), sendo assim possível explicar eventos de aumento do quociente metabólico após o preparo do solo no sistema de plantio convencional, contrariamente ao ocorrido no presente estudo, onde o solo possui estabilidade em sua matéria orgânica resultante da deposição e não revolvimento da serrapilheira.

Segundo Silva et al. (2010), o quociente microbiano do solo é um indicador da quantidade de carbono do solo que está imobilizado na biomassa microbiana. Ou seja, quando há aumento dos valores desse atributo, é correto afirmar que há incorporação de carbono nas células dos micro-organismos habitantes do solo. Desse modo, pode-se inferir que o quociente microbiano do solo em estudo apresenta estabilidade.

CONCLUSÃO

Registra-se que a atividade metabólica dos micro-organismos habitantes do referido solo, um Argissolo Vermelho-Amarelo sob cobertura de um bosque de sabiá (*Mimosa caesalpinifolia* Benth), indicam que o mesmo se encontra próximo ao estado de equilíbrio. Isso está relacionado à ausência de interações antropogênicas que geralmente afetam as estruturas física, química e biológica dos solos.

REFERÊNCIAS

- ALEF, K.; NANNIPIERI, P. **Methods in applied soil microbiology and biochemistry.** Methods in applied soil microbiology and biochemistry., Academic press, 1995.
- ANDERSON, T.H. **Physiological analysis of microbial communities in soil: applications and limitations.** In: RITZ, K.D.; GILLER, K.E., eds. Beyond the biomass. London, British Society of Soil Science, 1994. p.67-76.
- ANDRADE, V. S. et al. Respiração e biomassa microbiana em área de cultivo de cana-de-açúcar. **Cadernos de Agroecologia**, v. 15, n. 10, 2020.
- ARAÚJO, T. dos S. et al. Biomass and microbial activity in soil cultivated with maize intercropped with soil cover legumes. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 42, n. 2, p. 51-60, 2019.
- BARROSO, G. S. P. et al. Respiração microbiana do solo cultivado com milho sobre dois sistemas de adubação no município de Rio Largo, Alagoas. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 7, n. 2, p. 8-10, 2012.
- BATISTA, Q. R.; FREITAS, M. S. M.; MARTINS, M. A.; SILVA, C. S. Bioqualidade de área degradada pela extração de argila, revegetada com *Eucalyptus* spp. E sabiá. **Revista Caatinga**, v. 22, n. 1, p. 146-154, 2009.
- BAUDOIN, E.; BENIZRI, E.; GUCKERT, A. Impact of artificial root exudates on the bacterial community structure in bulk soil and maize rhizosphere. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 35, n. 9, p. 1183-1192, 2003.
- BOWLES, T.; ACOSTA-MARTINEZ, V.; CALDERON, F.; JACKSON, L.E. Soil enzyme activities, microbial communities, and carbon and nitrogen availability in organic agroecosystems across an intensively-managed agricultural landscape. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 68, p. 252-262, 2014.
- COSTA JUNIOR, C.; PICCOLO, M.C.; SIQUEIRA NETO, M. CAMARGO, P.B.; CERRI, C.C.; BERNOUX, M. Carbono total e $\Delta^{13}C$ em agregados do solo sob vegetação nativa e pastagem no bioma cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 1241-1252, 2011.

CUNHA, E.Q.; STONE, L.F.; FERREIRA, E.P.B.; DIDONET, A.D.; MOREIRA, J.A.A. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo sob produção orgânica impactados por sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 1, p. 56-63, 2012.

ELEFTHERIADIS, A.; TURRI'ON, M. Soil microbiological properties affected by land use, management, and time since deforestations and crop establishment. **European Journal of Soil Biology**, v. 62, p. 138 -144, 2014.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de métodos de análise de solo**– 2. ed. rev. atual. – Rio de Janeiro, 1997.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. EMBRAPA Solos: Brasília, 2018.

FERREIRA, D.F. Sisvar: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 38, n. 2, p. 109-112, 2014.

FERREIRA, E.P.B.; SANTOS, H. P.; COSTA, J.R.; DE-POLLI, H.; RUMJANEK, N.G. Microbial soil quality indicators under different crop rotations and tillage managements. **Revista Ciência Agronômica**, v.41, p.177-183, 2010.

FERREIRA, E. P. B.; WENDLAND, A.; DIDONET, A. D. Microbial biomass and enzyme activity of a Cerrado Oxisol under agroecological production system. **Bragantia**, v. 70, n. 4, p. 1-9, 2011.

FRANZLUEBBERS, A. J.; HANEY, R.L.; HONEYCUTT, C.W.; SHOMBERG, H.H.; HONS, F.M. Flush of Carbon Dioxide Following Rewetting of Dried Soil Relates. **Soil Science Society of America Journal**, v. 64, n. 2, p. 613-623, 1994.

FRANZLUEBBERS, A.; SCHOMBERG, H.; ENDALE, D. Surface-soil responses to paraplowing of long-term no-tillage cropland in the Southern Piedmont USA. **Soil and Tillage Research**, v. 96, n. 1, p. 303-315, 2007.

FREITAS, D. S. **Densidade microbiológica e potencial metabólico em cerrado nativo e cultivado**. 2014. 70f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Goiás, Itajaí, 2014.

GUARESCHI, R.F.; PEREIRA, M.G.; PERIN, A. Deposição de resíduos vegetais, matéria orgânica leve, estoques de carbono e nitrogênio e fósforo remanescente sob diferentes sistemas de manejo no Cerrado goiano. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 36, p. 909-920, 2012.

HATCH, D.; LOWEL, R.D.; ANTIL, R.S.; JARVIS, S.C.; OWEN, P.M. Nitrogen mineralization and microbial activity in permanent pastures amended with nitrogen fertilizer or dung. **Biology and Fertility of soils**, v. 30, n. 4, p. 288-293, 2000.

JAKELAITIS, A.; SILVA, A. A. DA; SANTOS, J. B. DOS; VIVIAN, R. Qualidade da camada superficial de solo sob mata, pastagens e áreas cultivadas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 38, p. 118-127, 2008.

KUMMER, L. et al. Respiração e biomassa microbiana em solos sob diferentes sistemas de uso. **Scientia Agraria**, v. 9, n. 4, p. 559-563, 2008.

MADER, P.; FLIEBACH, A.; DUBOIS, D.; GUNST, L.; FRIED, P.; NIGGLI, U. Soil fertility and biodiversity in organic farming. **Science**, v. 296, p. 4, 2002.

MARTENS, R. Current methods for measuring microbial biomass C in soil: potentials and limitations. **Biology and Fertility of Soils**, v. 19, n. 2-3, p. 87-99, 1995.

MARTINS, C. M.; GALINDO, I. C. L.; SOUZA, E. R.; POROCA, H. A. Atributos químicos e microbianos do solo de áreas em processo de desertificação no semiárido de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 1883-1890, 2010.

MELLONI, R.; PEREIRA, E.G.; TRANNIN, I.C.B.; SANTOS, D.R.; MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. Características biológicas de solos sob mata ciliar e campo cerrado no sul de Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 25, p. 7-13, 2001.

MENDES, I.; SOUZA, L.V.; RESCK, D.V.S.; GOMES, A.C. Propriedades biológicas em agregados de um Latossolo Vermelho-Escuro sob plantio convencional e direto no Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 3, p. 435-443, 2003.

MONTALDO, J.C.; SANTOS, G.B.L.; MONTALDO, Y.C.; SANTOS, T.M.C.; BARROSO, G.S.P.; OLIVEIRA, J.U.L.; SILVA, J.M. Basal respiration and microbial population of a red-yellow Latosol under different harvesting systems of sugarcane. **Global Science and Technology**, v. 11, n. 1, p. 9-16, 2018.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e Bioquímica do Solo**. Lavras: UFLA, [s.n.], 2006. 729p.

MOURA, J.A.; GONZAGA, M.I.S.; ANJOS, J.L. dos; RODRIGUES, A.C.P.; LEÃO, T.D.daS.; SANTOS, L.C.O. Respiração basal e relação de estratificação em solo cultivado com citros e tratado com resíduos orgânicos no estado de Sergipe. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 36, n. 2, p. 731-746, 2015.

NIELSEN, M.; WINDING, A. Micro-organisms as indicators of soil health. **NERI Technical report**, n. 388, 2002.

PAUL, E. A. **Soil microbiology, ecology and biochemistry**. [S.l.]: Academic press, 2014.

PEREIRA, A. A.; HUNGRIA, M.; FRANCHINI, J. C.; KASCHUK, G.; CHUEIRE, L. M. DE O.; CAMPO, R. J.; TORRES, E. Variações qualitativas e quantitativas na microbiota do solo e na fixação biológica do nitrogênio sob diferentes manejos com soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 1397-1412, 2007.

PEREZ, K. S. S.; RAMOS, M. L. G.; MCMANUS, C. Nitrogênio da biomassa microbiana em solo cultivado com soja, sob diferentes sistemas de manejo, nos Cerrados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n. 2, p. 137-144, 2005.

RENELLA, G.; MENCH, M.; LANDI, L.; NANNIPIERI, P. Microbial activity and hydrolase synthesis in long-term Cd-contaminated soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 37, n. 1, p. 133 -139, 2005.

RHOTON, F. E. Influence of time on soil response to no-tillage practices. **Soil Science Society of America Journal**, v. 64, p. 700-709, 2000.

SANTOS, T. E. B.; NAKAYAMA, F. T.; ARF, O.; CASSIOLATO, A. M. R Variáveis microbiológicas e produtividade do arroz sob diferentes manejos do solo e água. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 29, n. 3, p. 355-360, 2007.

SEYBOLD, C. A. et al. **Soil processes and the carbon cycle**. In: SEYBOLD C. A., M. M. J. et al. (Ed.). Florida: CRC Press LLC, 1977. cap. Quantification of soil quality., pp. 387-404.

SILVA, J.M.; ALMEIDA, A.C.P.S.; CRISTO, C.C.N.; MONTALDO, Y.C.M.; LIMA, K.C.V.; NASCIMENTO, M.S.; COSTA, J.A.Q.; SANTOS, T.M.C. Microbiological Attributes of a Cohesive Yellow Latosol Under Different Land Use Systems. **Journal of Agricultural Studies**, v. 8, n. 4, p. 696-711, 2020.

SILVA, J.M.; CRISTO, C. C. N.; MONTALDO, Y. C.; SILVA, C. DOS S.; SENA, E. DE O. A.; VIGODERIS, R. B.; OLIVEIRA, J.U.L.; SANTOS, T. M. C. Microbial activity and population of red-yellow podzolic soil under organic and conventional cultivation systems of *Citrus sinensis* (L.) Osbeck. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 42, n. 2, p. 41-50, 2019.

SILVA, M. B.; KIEMANN, H. J.; SILVEIRA, P. M.; LANNA, A. C. Atributos biológicos do solo sob influência da cobertura vegetal e do sistema de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n.12, p. 1755-1761, 2007.

SILVA, R. R. D.; SILVA, M. L. N.; CARDOSO, E. L.; MOREIRA, F. M. D. S.; CURI, N.; ALIVISI, A. M. T. Biomassa e atividade microbiana em solos sob diferentes sistemas de manejo na região fisiográfica campos das vertentes – MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 1585-1592, 2010.

SILVA, R.F.; TOMAZI, M.; PEZARICO, C.R.; AQUINO, A.M.; MERCANTE, F.M. Macrofauna invertebrada edáfica em cultivo de mandioca sob sistemas de cobertura do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 6, p. 865-871, 2007.

SOUZA, E. D.; CARNEIRO, M. A. C.; PAULINO, H. B.; SILVA, C. A.; BUZETTI, S. Frações do carbono orgânico, biomassa e atividade microbiana em um Latossolo Vermelho sob cerrado submetido a diferentes sistemas de manejos e usos do solo. **Acta Scientiarum: Agronomy**, v. 38, n. 6, p. 323-329, 2006.