

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

**ALTERAÇÕES NA BIOMASSA E ATIVIDADE MICROBIANA DO  
SOLO EM CAATINGA ARBÓREA SUBMETIDA A MANEJO  
FLORESTAL**

**ANNE CAROLINE SILVA MEIRA**

VITÓRIA DA CONQUISTA  
BAHIA - BRASIL  
JUNHO – 2023

**ANNE CAROLINE SILVA MEIRA**

**ALTERAÇÕES NA BIOMASSA E ATIVIDADE MICROBIANA DO  
SOLO EM CAATINGA ARBÓREA SUBMETIDA A MANEJO  
FLORESTAL**

Dissertação apresentada à  
Universidade Estadual do  
Sudoeste da Bahia, como  
parte das exigências do  
Programa de Pós-Graduação  
em Ciências Florestais, para a  
obtenção do título de Mestre.

**Orientadora: Prof. Patrícia Anjos Bittencourt Barreto-Garcia  
(UESB)**

**VITÓRIA DA CONQUISTA  
BAHIA - BRASIL  
JUNHO – 2023**

**ANNE CAROLINE SILVA MEIRA**

**ALTERAÇÕES NA BIOMASSA E ATIVIDADE MICROBIANA DO SOLO  
EM CAATINGA SUBMETIDA A MANEJO FLORESTAL**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, para a obtenção do título de Mestre.

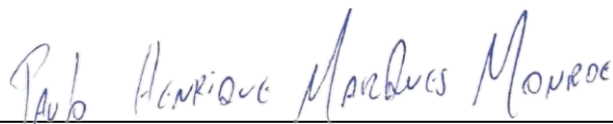
Aprovada em 07 de junho de 2023.

Comissão Examinadora:



---

Prof<sup>a</sup>. Jaqueline Dalla Rosa, (D.SC. Solos e Nutrição de Plantas,) – UFSB



---

Dr. Paulo Henrique Marques Monroe, (D.SC. Produção Vegetal,) – UESB



---

Prof<sup>a</sup>. Patrícia Anjos Bittencourt Barreto-Garcia, (D.SC. Produção Vegetal,) - UESB,  
Orientadora

M451a Meira, Anne Caroline Silva.

Alterações na biomassa e atividade microbiana do solo em caatinga arbórea submetida a manejo florestal. / Anne Caroline Silva Meira, 2023.

41f.

Orientador (a): Dr<sup>a</sup>. Patrícia Anjos Bittencourt Barreto-Garcia. Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais, Vitória da Conquista, 2023.

Inclui referências. 33 - 41.

1. Floresta tropical seca. 2. Atributos microbiológicos. 3. indicadores edáficos. 4. qualidade do solo - Quociente metabólico. I. Barreto-Garcia, Patrícia Anjos Bittencourt. II. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais. III. T.

CDD: 634.9

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

UESB – Campus Vitória da Conquista - BA

## AGRADECIMENTOS

“Seja forte e corajoso! Não se apavore nem desanime, pois o Senhor, o seu Deus, estará com você por onde você andar” (Josué 1:9).

Com a certeza de que nunca estarei sozinha, começo agradecendo a Deus por toda proteção e força a mim dadas.

Dedico esta conquista, em especial, à minha mãe, *Valdenice*, agora meu anjo da guarda, que mesmo em outro plano se faz presente de formas tão simbólicas. Ao entrar, pela primeira vez, no departamento de pós-graduação da UESB e ouvir alguém chamando uma mulher com nome igual ao seu, eu tive a certeza de que estava ali comigo, naquele momento.

À minha família e aos amigos, por sempre me apoiarem, comemorarem comigo as conquistas, compreenderem a minha ausência em muitos momentos e, sobretudo, pela lição de amor que me ensinam todos os dias.

À minha orientadora, Patrícia Barreto-Garcia, por ter visto em mim potencial para realização deste trabalho e pela confiança depositada. Agradeço por toda a orientação científica, conselhos, puxões de orelha, pelas conversas profundas sobre a vida. Agradeço por essa energia incrível que tens.

Aos membros do grupo de pesquisa *Forest Soil*, em nome do Paulo Monroe, por todo o auxílio e suporte durante o desenvolvimento deste trabalho.

Aos amigos e colegas que ganhei e por contribuírem, de alguma forma, para que este projeto se tornasse realidade, seja em campo, nos laboratórios ou durante a rotina exaustiva para execução do experimento. Obrigada por tornarem os dias em Vitória da Conquista mais leves!

À Kyegla, pelo apoio incondicional e cuidado durante minha estadia em Conquista, você foi crucial em todas as etapas deste trabalho.

À Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, pela oportunidade de realização do curso de Pós-Graduação *Stricto Sensu*.

Sem vocês, o caminho teria sido mais longo e difícil.

## SUMÁRIO

<b>AGRADECIMENTOS .....</b>	<b>5</b>
<b>SUMÁRIO.....</b>	<b>6</b>
<b>RESUMO .....</b>	<b>7</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>8</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>9</b>
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>12</b>
<b>2.1. Manejo florestal da Caatinga .....</b>	<b>12</b>
<b>2.2. Indicadores microbiológicos de qualidade do solo.....</b>	<b>14</b>
2.2.1. Biomassa microbiana .....	15
2.2.2. Atividade microbiana .....	16
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>17</b>
<b>3.1. Descrição da área de coleta.....</b>	<b>17</b>
<b>3.2. Tratamentos e desenho experimental.....</b>	<b>17</b>
<b>3.3. Coleta e preparo das amostras de serapilheira e solo .....</b>	<b>18</b>
<b>3.4. Análises químicas e físicas.....</b>	<b>19</b>
<b>3.5. Raízes finas .....</b>	<b>19</b>
<b>3.6. Abertura do dossel .....</b>	<b>20</b>
<b>3.7. Biomassa microbiana e atividade microbiana .....</b>	<b>20</b>
<b>3.8. Índices microbiológicos.....</b>	<b>21</b>
<b>3.9. Análises estatísticas.....</b>	<b>21</b>
<b>4. RESULTADOS.....</b>	<b>22</b>
<b>5. DISCUSSÃO .....</b>	<b>29</b>
<b>6. CONCLUSÕES .....</b>	<b>33</b>

## RESUMO

MEIRA, Anne Caroline Silva, M.Sc., Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, junho de 2023. **Alterações na biomassa e atividade microbiana do solo em Caatinga arbórea submetida a manejo florestal.** Orientadora: Patrícia Anjos Bittencourt Barreto-Garcia.

A Caatinga está entre as florestas tropicais secas mais ameaçadas e menos estudadas do mundo. A aplicação de técnicas de manejo florestal sustentável (MFS) constitui uma importante alternativa para a exploração racional do bioma Caatinga. Apesar de existirem estudos relacionados aos impactos do MFS neste bioma, ainda são escassos aqueles que consideram atributos do solo, especialmente sobre a microbiota edáfica. Diante disso, o presente trabalho objetivou responder às seguintes perguntas: como a biomassa e a atividade microbiana do solo respondem em curto-médio prazos ao manejo florestal da Caatinga? Como essas respostas são expressas entre as diferentes práticas de manejo florestal? Para isso, foram avaliadas três práticas de manejo (corte raso - CR, corte seletivo por diâmetro - CSD e corte seletivo por espécie - CSE), tendo como referência uma área de Caatinga nativa não manejada (CN). Foram realizadas coletas de amostras de serapilheira e solo (0-10 cm de profundidade). A atividade microbiana do solo foi determinada a partir da quantidade de CO<sub>2</sub> liberado, e os teores de C da biomassa microbiana (CBM) e N da biomassa microbiana (NBM) foram estimados pelo método de fumigação-extração. Dentre as práticas de manejo avaliadas, o CR proporcionou redução dos níveis de CBM (46%), NBM (20%) e qMic (49%) em relação a CN. Esse manejo também promoveu aumento do quociente metabólico (3,80 µg g<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>) em comparação a CN (2,16 µg g<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>). Os cortes seletivos mantiveram os níveis de C e N da biomassa microbiana do solo semelhantes quando comparada à Caatinga não manejada, enquanto o CR influenciou negativamente essas variáveis, devido à maior entrada de resíduos lignificados e à maior abertura do dossel. Técnicas de manejo florestal mais intensivas, como o CR, necessitam de intervalo de tempo superior a sete anos para recuperação da condição microbiológica do solo, sob os parâmetros de biomassa e atividade microbiana.

**Palavras-chave:** floresta tropical seca; atributos microbiológicos; indicadores edáficos; qualidade do solo; quociente metabólico.

## ABSTRACT

MEIRA, Anne Caroline Silva, M.Sc., State University of Southwest Bahia, June 2023.  
**Changes in soil biomass and microbial activity in arboreal Caatinga subjected to forest management.** Supervisor: Patrícia Anjos Bittencourt Barreto-Garcia.

The Caatinga is among the most threatened and least studied tropical dry forests in the world. The application of sustainable forest management (SFM) techniques is an important alternative for the rational exploitation of the Caatinga biome. Although there are studies related to the impacts of SFM in this biome, those that consider soil attributes, especially on the edaphic microbiota, are still scarce. In view of this, the present work aimed to answer the following questions: how do soil microbial biomass and activity respond in the short-medium term to forest management in the Caatinga? How are these responses expressed among different forest management practices? For this purpose, three management practices were evaluated (clear-cutting - CR, selective cutting by diameter - CSD and selective cutting by species - CSE), with a non-managed native Caatinga area (CN) as reference. Leaf litter and soil samples (0-10 cm depth) were collected. Soil microbial activity was determined from the amount of CO<sub>2</sub> released, and C of microbial biomass (CBM) and N of microbial biomass (NBM) contents were estimated by the fumigation-extraction method. Among the management practices evaluated, CR provided a reduction in the levels of CBM (46%), NBM (20%) and q<sub>Mic</sub> (49%) compared to CN. This management also promoted an increase in the metabolic quotient (3.80 µg g<sup>-1</sup> day<sup>-1</sup>) compared to NC (2.16 µg g<sup>-1</sup> day<sup>-1</sup>). Selective cutting maintained similar levels of soil microbial biomass C and N when compared to unmanaged Caatinga, while CR negatively influenced these variables due to the greater input of lignified remains and the greater canopy opening. More intensive forest management techniques, such as CR, require a time interval of more than seven years to recover the soil microbiological condition, under the parameters of biomass and microbial activity.

**Keywords:** tropical dry forest; microbiological attributes; edaphic indicators; soil quality; metabolic quotient.



## 1. INTRODUÇÃO

A Caatinga é considerada o único bioma exclusivamente brasileiro e constitui a área mais extensa de floresta tropical estacional seca do mundo (BARRETTO et al., 2019). Abriga uma rica biodiversidade de ambientes e espécies, em sua maioria endêmicas, sendo considerado o semiárido mais biodiverso do mundo (SCARAMUZZA et al., 2016).

Apesar da sua importância, o bioma Caatinga ainda é pouco conhecido e protegido, com menos de 2% do seu território em unidades de conservação (SEYFFARTH e RODRIGUES, 2017). Na região de domínio territorial do bioma Caatinga, a substituição da vegetação nativa por cultivos agrícolas e pastagens, assim como a extração de madeira para lenha e carvão, representam as principais formas de uso não sustentável do bioma (MATOS et al., 2021). A adoção dessas práticas prejudica processos ecológicos importantes para manutenção do ecossistema (PAGANO et al., 2011) e representa uma perda de 55,5 % da área total da Caatinga (SEYFFARTH e RODRIGUES, 2017).

Uma importante alternativa para o uso racional dos recursos madeireiros e conservação da Caatinga é o manejo florestal sustentável (MFS). O MFS está previsto na legislação brasileira (Código Florestal Brasileiro, Lei Federal 12.651, de 25 de maio de 2012) (BRASIL, 2012) e compreende um conjunto de ações sobre a vegetação de uma floresta nativa, visando à exploração de produtos e serviços e, ao mesmo tempo, a minimização dos impactos e a conservação da diversidade biológica (GARIGLIO e BARCELOS, 2013). Apesar disso, o MFS pode ocasionar alterações significativas nos diferentes compartimentos do ecossistema, na porção acima e abaixo do solo.

A magnitude das mudanças ocasionadas pelo MFS pode variar conforme a prática de exploração adotada, podendo interferir no processo de regeneração natural, perda da biodiversidade, bem como influenciar na ciclagem de carbono e nutrientes (SANTOS et al., 2021). Entre as práticas de intervenção utilizadas para o MFS da Caatinga, o corte raso é a prática de manejo mais frequentemente empregada e objetiva obter o máximo de volume de madeira, com remoção de 100% da vegetação. As outras duas práticas de corte empregadas na Caatinga são os cortes seletivos por diâmetro mínimo e por espécie (EMBRAPA, 2007). O primeiro explora os indivíduos arbóreos com diâmetro à altura do peito  $\geq 5$ cm, focando na manutenção de um número

significativo de indivíduos e melhoria da resposta da regeneração natural à exploração, enquanto o segundo objetiva promover maior manutenção dos atributos do ecossistema e a obtenção de madeira com maior valor agregado pela exploração de espécies selecionadas, normalmente com base em parâmetros fitossociológicos, como densidade e dominância (BARRETO-GARCIA et al., 2021).

São escassas as informações sobre os impactos das práticas de MFS da Caatinga sobre o ecossistema e a maior parte dos estudos existentes se concentram em mudanças no crescimento e estrutura da vegetação (GARIGLIO et al., 2010; BRITO et al., 2022; SANTOS et al., 2023). O efeito dessas práticas sobre os atributos edáficos, especialmente os microbiológicos, ainda foi pouco investigado (PEREIRA et al., 2018; BARRETO-GARCIA et al., 2021).

Os atributos microbiológicos do solo são considerados indicadores sensíveis de alterações no estado de conservação e sustentabilidade de ecossistemas florestais, sendo facilmente afetados por intervenções no componente vegetal (MARTIN, 2018; WAN et al., 2019). Modificações na vegetação geralmente provocam alterações nas entradas da serapilheira, produção de exsudatos radiculares e no microclima edáfico, pela maior exposição do solo a oscilações de temperatura e umidade, fatores que afetam diretamente a biomassa e atividade microbiana do solo (BARRETO-GARCIA et al., 2021).

A biomassa microbiana do solo representa a fração ativa da matéria orgânica do solo, sendo responsável por mediar diversos processos relacionados à ciclagem e acúmulo de nutrientes, atuando como um catalisador no processo de decomposição da matéria orgânica, regulando o reservatório edáfico de carbono e nutrientes (SOUZA et al., 2010; HOFFMANN et al., 2018). Costuma ser avaliada com base em seus teores de carbono (CBM) e nitrogênio (NBM) e em estimativas da taxa de liberação de CO<sub>2</sub> do solo, constituindo uma medida da atividade microbiana (AMS). Esses atributos são responsivos às modificações no ambiente e refletem a qualidade da matéria orgânica e a dinâmica do C e N no solo (JENKINSON e POWLSON, 1976; BALDRIAN, 2017). Índices microbianos, obtidos a partir da relação entre esses atributos e outros atributos edáficos (como C orgânico e nitrogênio total) costumam ser empregados para avaliar a eficiência dos microrganismos em converter C orgânico em CBM e nitrogênio em NBM (MONTEIRO e GAMA-RODRIGUES, 2004; XIAOJUN et al., 2013).

Ante o exposto, no presente estudo foram examinadas amostras de solo obtidas em área de Caatinga submetida a três diferentes práticas de manejo florestal, usando uma área de Caatinga nativa não manejada como referência, dando sequência a uma série histórica de investigações, que visam monitorar mudanças em atributos edáficos em resposta ao MFS (BATISTA et al., 2018; PEREIRA et al., 2018; MATOS et al., 2019; BARRETO-GARCIA et al., 2021; MATOS et al., 2021; SANTOS et al., 2021). Este estudo constitui uma avaliação em curto-médio prazos (sete anos após a realização do manejo florestal), sobre a biomassa e atividade microbiana do solo, sendo que uma primeira avaliação já foi realizada um ano após a realização do manejo florestal (BARRETO-GARCIA et al., 2021).

Assim, assumiu-se as seguintes hipóteses: em curto-médio prazos, (1) o corte raso leva a uma redução dos níveis de CBM, NBM e AMS, como reflexo da maior exposição do solo e maior entrada de resíduos de colheita mais lignificados; (2) os cortes seletivos (por espécie e por diâmetro) promovem manutenção dos níveis dessas variáveis, devido à menor interferência na estrutura da vegetação e, como consequência, nas entradas de resíduos vegetais e cobertura do dossel; e (3) práticas de exploração florestal mais intensivas necessitam de maior intervalo de tempo para recuperação da condição edáfica quando comparada às condições de floresta não manejada. Dessa forma, o presente estudo objetivou responder às seguintes perguntas: como a biomassa e a atividade microbiana do solo respondem em curto e médio prazos ao manejo florestal da Caatinga? Como essas respostas diferem entre as diferentes práticas de manejo florestal adotadas?

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. Manejo florestal da Caatinga

A Caatinga, também denominada mata branca, constitui o bioma predominante no semiárido nordestino, estendendo-se também em uma faixa no estado de Minas Gerais, sendo o único considerado exclusivamente brasileiro (COSTA et al., 2010; BRASIL, 2016). O bioma abriga grande diversidade biológica com alto grau de endemismo, abrangendo as regiões hidrográficas do Parnaíba, São Francisco, Atlântico Nordeste Ocidental e Atlântico Leste. Contudo, seu clima árido contribui para que a maioria dos seus rios sejam intermitentes ou sazonais (ROSA et al., 2003; SILVA et al., 2003).

As espécies de ocorrência na Caatinga e em suas diversas fitofisionomias possuem adaptações morfofisiológicas, como a presença de espinho e estruturas de reserva de água, além da característica decídua das espécies vegetais (COSTA et al., 2010; GANEM et al., 2020). Tais características estão associadas às condições edafoclimáticas da região, predominantemente seca, com altas temperaturas (entre 25 a 30 °C) e baixa precipitação, com pluviosidade anual média inferior a 800mm, compreendida em um curto período do ano (SAMPAIO, 2010; NASCIMENTO et al., 2020).

Os solos do semiárido são comumente rasos, pouco intemperizados, com reduzida capacidade natural de drenagem e presença de afloramentos rochosos (ARAÚJO FILHO, 2013). Como resultado dessas condições de clima e característica da vegetação, a Caatinga apresenta reduzida produção de resíduos vegetais, elevadas taxas de decomposição da serapilheira, baixos teores de matéria orgânica no solo e, como consequência, uma maior exposição do solo às variações do clima, quando comparada aos demais biomas brasileiros (SALCEDO e SAMPAIO, 2008).

Segundo os dados apresentados no 5º Relatório Nacional do Brasil para a Convenção sobre a Diversidade Biológica, o bioma abriga uma rica diversidade biológica, que o caracteriza como o semiárido mais biodiverso do mundo (BRASIL, 2016).

Apesar da relevância ecológica, a Caatinga tem sofrido continuamente perturbações nas suas condições naturais, sendo o consumo de lenha de forma

indiscriminada, a principal delas (VIRGENS et al., 2017; MEUNIER et al., 2018). Simultaneamente, o pastoreio e a conversão de áreas nativas em pastagem e agricultura não sustentável contribuem para redução da cobertura dos solos e consequente degradação do bioma (SEYFFARTH e RODRIGUES, 2017). Essas alterações implicam o aumento de processos erosivos, redução dos estoques de biomassa das florestas, degradação das propriedades físicas, químicas e edáficas e, conseqüentemente, a redução da capacidade de fixação de CO<sub>2</sub> atmosférico pela biomassa viva e pelo solo (GARIGLIO et al., 2010). Como agravante, a Caatinga é o bioma brasileiro menos conhecido e protegido, estando menos de 2% do seu território em áreas protegidas por unidades de conservação (BRASIL, 2012).

O Manejo Florestal Sustentável (MFS) constitui uma importante alternativa à exploração não sustentável e combate ao avanço da degradação do bioma. O MFS está previsto na Lei Federal nº 12.650 de 25 de maio de 2012, que constitui o Código Florestal Brasileiro (BRASIL, 2012). É definido como um conjunto de interferências realizadas em área de vegetação nativa, visando à obtenção contínua de produtos e serviços da floresta e, ao mesmo tempo, a manutenção da sua produtividade (SCHNEIDER e FINGER, 2000; BRASIL, 2012; HIGMAN et al., 2015). Dessa forma, o MFS incentiva a utilização de práticas sustentáveis de conservação do solo e da biodiversidade (LIRA et al., 2012).

A realização do MFS, está condicionada a obtenção de licenciamento ambiental, mediante a aprovação de um Plano de Manejo Florestal Sustentável (PMFS). A legislação específica para elaboração e execução de PMFS da Caatinga é a Instrução Normativa nº 1 de junho de 2009 do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis – IBAMA (BRASIL, 2009).

Ainda sobre o manejo florestal da Caatinga, em 2003 foi criada, a Rede de Manejo Florestal da Caatinga, formada por pesquisadores de diversas instituições com o objetivo de elaborar protocolos, de forma a auxiliar na elaboração de PMFS da Caatinga (GAMA, 2021). Adicionalmente aos procedimentos técnicos previstos no protocolo, as diferentes tipologias vegetacionais devem ser ponderadas, considerando o período necessário para recuperação de cada fitofisionomia para determinação do ciclo e intensidade do corte (BRASIL, 2009; MORO et al., 2016).

As práticas de manejo florestal comumente aplicadas na Caatinga constitui o corte raso e o corte seletivo por diâmetro ou por espécies (EMBRAPA, 2007). No

entanto, o conhecimento sobre qual seria a prática e ciclo de corte, mais compatível à manutenção das características naturais do bioma ainda é bastante escasso. Alguns autores sugerem ciclos de intervalos de 7 a 15 anos (VASCONCELOS et al., 2017; MEUNIER et al., 2018).

## **2.2. Indicadores microbiológicos de qualidade do solo**

Conceitualmente qualidade do solo pode ser definida como a capacidade de desenvolver as funções de sustentação da produtividade biológica, mantendo a qualidade ambiental (BARETTA et al., 2010; MELO et al., 2017). O monitoramento da qualidade do solo é realizado a partir da avaliação de indicadores, por meio da avaliação de propriedades físicas, químicas e biológicas, constituindo uma importante ferramenta para a detecção de alterações ambientais (ARAÚJO FILHO et al., 2013; GOMES et al., 2015).

Os indicadores de qualidade do solo distinguem-se em três grandes grupos; os permanentes, que são inerentes as características edáficas (como textura, profundidade e mineralogia); os intermediários, que estão relacionados à capacidade do solo em desempenhar suas funções (como agregação, biomassa microbiana, quociente respiratório e carbono orgânico); e os efêmeros, que possuem influência direta das práticas de manejo aplicadas ao solo (como densidade, pH, disponibilidade de nutrientes e umidade) (ISLAM e WEIL, 2000). A avaliação dos indicadores de qualidade do solo deve ser realizada relacionando diferentes fatores, de forma a garantir que haja viabilidade de aplicação, fácil monitoramento e interpretação, garantindo que a descrição seja realizada de forma completa (LIMA et al., 2007; CUNHA et al., 2012).

Por corresponder a parte viva e ativa da matéria orgânica e atuar em importantes processos bioquímicos, os indicadores biológicos são mais sensíveis que os indicadores químicos e físicos, sendo, portanto, possível identificar alterações que ocorrem no solo em menor tempo em razão do uso e manejo (STÖCKER et al., 2017). Os indicadores microbiológicos do solo, como a biomassa microbiana, respiração microbiana, atividade enzimática e quociente metabólico, constituem indicadores sensíveis e céleres às perturbações e mudanças sobre o manejo e uso da terra (ZORNOZA et al., 2009). Esses indicadores atuam como ferramenta no entendimento

do comportamento dos microrganismos do solo e da dinâmica da matéria orgânica. Desempenham importante papel na degradação de resíduos vegetais e na ciclagem de nutrientes e, conseqüentemente influenciam na fertilidade do solo e na produtividade dos ecossistemas (ARAÚJO et al., 2012; PADILHA et al., 2014).

### **2.2.1. Biomassa microbiana**

A biomassa microbiana corresponde à fração ativa da matéria orgânica do solo, atuando como um reservatório de nutrientes disponíveis às plantas, sendo diretamente influenciada por fatores bióticos e abióticos (NUNES et al., 2009; GOMES et al., 2015). É comumente quantificada pela determinação dos teores de carbono (CBM) e nitrogênio (NBM) microbiano (GAMA-RODRIGUES et al., 2005).

O CBM pode indicar a qualidade da matéria orgânica e a eficiência da biomassa microbiana em converter carbono do solo em carbono microbiano (BARRETO et al., 2008). Ao mesmo tempo que o NBM demonstra a eficiência da biomassa microbiana em converter nitrogênio do solo em nitrogênio microbiano, estando, portanto, diretamente relacionado aos processos de mineralização e imobilização do nitrogênio (MAIA et al., 2008).

A quantificação CBM e NBM, associada à avaliação da atividade microbiana e dos atributos químicos do solo, como C orgânico e N total, expressa a dinâmica de C e N no solo (MONTEIRO e GAMA-RODRIGUES, 2004).

Os teores de CBM e de NBM, quando associados aos teores de carbono e nitrogênio do solo, respectivamente, permitem a obtenção dos índices CBM:C, também denominado de quociente microbiano ( $q_{Mic}$ ) e NBM:N. Esses índices costumam ser mais responsivos em descrever a dinâmica da matéria orgânica do solo do que os valores absolutos de CBM e NBM (GAMA-RODRIGUES et al., 2008; BARRETO et al., 2014). Estudos realizados por Alves et al. (2011) indicam que ambientes sob diferentes manejos apresentam redução da biomassa microbiana, com conseqüente redução nos teores de carbono e nitrogênio microbiano, quando comparados a áreas conservadas. Corroborando estes resultados, Guimarães et al. (2017) observaram que, quanto maior a diversidade vegetal do sistema, maior a qualidade dos resíduos depositados no solo, favorecendo o desenvolvimento da biomassa microbiana, visto que diferentes fontes de energia podem favorecer o estabelecimento dos microrganismos no solo.

### **2.2.2. Atividade microbiana**

A respiração microbiana do solo constitui um dos parâmetros mais utilizados para quantificação da atividade microbiana, sendo definida como a oxidação da matéria orgânica por organismos aeróbios do solo, por meio da produção de CO<sub>2</sub> (PARKIN et al., 1996; BINI et al., 2013). A quantificação da respiração microbiana pode ser realizada baseada no consumo de O<sub>2</sub>, utilizando a cromatografia gasosa ou eletrorespirômetro, ou pela liberação de CO<sub>2</sub>, por meio de titulação, condutividade elétrica, cromatografia gasosa, espectroscopia de infravermelho ou por monitoramento do <sup>14</sup>C (DIONÍSIO et al., 2016).

A degradação do material de origem orgânica, liberando nutrientes para as plantas, por meio da atuação de microrganismos, resulta em elevação da taxa da respiração microbiana (MEDEIROS et al., 2018). Altas taxas de respiração podem indicar presença de distúrbio ecológico ou alto nível de produtividade do ecossistema, refletindo em grande reserva de substratos de C lábeis, com a intensa decomposição da matéria orgânica ou na quebra dos agregados do solo, promovida pela aeração (ISLAM e WEIL, 2000; TÓTOLA e CHAER, 2002).

A obtenção de índices microbianos, obtidos pela associação dos resultados de respiração, C e N microbiano com os teores de carbono orgânico e nitrogênio total do solo, constitui complementarmente indicadores da qualidade do solo na análise da dinâmica da matéria orgânica do solo (GAMA-RODRIGUES e GAMA-RODRIGUES, 2008). Exemplo disso é o quociente metabólico (qCO<sub>2</sub>), que é obtido pela relação entre a quantidade de CO<sub>2</sub> liberado por unidade de CBM e por unidade de tempo e indica a eficiência da biomassa microbiana na imobilização de carbono (BARRETO et al., 2008).

A utilização de indicadores biológicos constitui importante ferramenta no entendimento da velocidade de decomposição da matéria orgânica e liberação de carbono e nutrientes para o solo (PADILHA et al., 2014).



### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. Descrição da área de coleta

O presente estudo foi realizado na unidade de conservação Floresta Nacional Contendas do Sincorá (FLONA), situada no município de Contendas do Sincorá, estado da Bahia, região Nordeste do Brasil. A FLONA é uma unidade de conservação (UC) de uso sustentável e compreende a área de 11.216 ha e está localizada sob as coordenadas 13°55'21" Latitude sul e 41°06'57" Longitude oeste. Sua cobertura vegetal predominante é classificada como Savana Estépica arborizada (Caatinga arbórea) (MMA, 2006) e apresenta maior frequência das seguintes espécies: *Aspidosperma pyrifolium*, *Commiphora leptophloeos*, *Croton* sp., *Jatropha molissima*, *Manihot glaziovii*, *Patagonula bahiensis* e *Pseudobombax simplicifolium* (VIRGENS et al., 2017).

A região apresenta altitude variando entre 300m e 400m e clima classificado, segundo Köppen, como semiárido quente (BSwh), caracterizado por elevadas temperaturas e precipitação média anual é 596mm, com chuvas escassas e irregulares, concentradas no verão. De acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação do solo, a área de estudo possui solo classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico (SANTOS et al., 2018).

A instalação do campo experimental do Projeto na FLONA seguiu as diretrizes do Plano de Manejo da UC (MMA, 2006), que prevê a realização de programas de pesquisa e manejo. Anteriormente a realização do manejo, a vegetação da área experimental, encontrava-se em estágio avançado de regeneração, conforme critérios da Resolução CONAMA nº 01/1994, em decorrência de não passar por nenhuma intervenção por cerca de 20 anos (MMA, 2006).

#### 3.2. Tratamentos e desenho experimental

O campo experimental instalado na FLONA consistiu em quatro tratamentos correspondentes a três diferentes tipos de manejo e uma área de floresta nativa em condição não manejada: (1) corte raso (CR) - remoção de todos os arbustos e árvores, independentemente de tamanho ou espécie (100% de redução de área basal); (2)

corte seletivo por diâmetro mínimo (CSD) - corte seletivo dos indivíduos arbóreos com diâmetro a altura do peito (DAP) maior ou igual a 5 cm (60% de redução de área basal); (3) corte seletivo por espécie (CSE) - corte seletivo de três espécies: *Commiphora leptophloeos*, *Pseudobombax simplicifolium* e *Jatropha molissima* (15% de redução de área basal); e (4) caatinga não manejada (CN) - controle, usado como referência.

As práticas do manejo florestal foram realizadas em maio de 2015 por meio de corte semimecanizado (usando motosserra), com remoção do material lenhoso de interesse comercial, mas foram mantidos os resíduos da colheita (como galhos finos, folhas e casca). A distribuição dos tratamentos na área experimental seguiu um delineamento inteiramente casualizado (DIC) com quatro tratamentos e quatro repetições, totalizando 16 parcelas com dimensões de 20m x 20m (400m<sup>2</sup>).

### **3.3. Coleta e preparo das amostras de serapilheira e solo**

As coletadas das amostras de serapilheira e solo foram realizadas em agosto de 2022, sete anos após a execução do manejo florestal. As amostras de serapilheira foram retiradas com o auxílio de um gabarito quadrado de 0,25cm<sup>2</sup> (0,50cm x 0,50cm). Nas parcelas instaladas, foi lançado o gabarito, de forma aleatória sobre o solo com três repetições, compondo assim uma amostra composta, totalizando quatro repetições por tratamento. Após coleta, as amostras de serapilheira foram fracionadas manualmente em quatro compartimentos (folhas, galhos, casca, materiais reprodutivos e miscelânea). Posteriormente, as frações foram submetidas ao processo de secagem em estufa de ventilação forçada (a 65°C por 72 horas) e pesadas. Os resultados de massa seca (g) obtidos foram convertidos para kg ha<sup>-1</sup>.

Foram coletadas amostras compostas de solo nas parcelas experimentais, totalizando quatro repetições por tratamento. Para isso foram retiradas 10 amostras simples de solo na camada 0-10cm (por caminhamento aleatório, com o auxílio de um trato holandês). Imediatamente após a coleta, parte das amostras foram separadas para avaliação e determinação da umidade. Outra parte foi direcionada para as análises microbiológicas e, portanto, foram cuidadosamente destorroadas, peneiradas em malha de 2mm e homogeneizadas, retirando-se raízes e resíduos visíveis de plantas e animais, conforme recomendado por Jenkinson (1966). Uma terceira parte

das amostras foi submetida a secagem ao ar e, após isso, peneiradas em malha de 2mm, obtendo assim o valor da terra fina seca ao ar (TFSA), sendo então direcionadas para as análises físicas e químicas.

### 3.4. Análises químicas e físicas

Seguindo as avaliações as amostras de solo foram submetidas às análises físicas (granulométrica e determinação da umidade) e análises químicas. A granulometria foi determinada pelo método da pipeta; e a umidade do solo, pelo método gravimétrico.

A maioria das análises químicas foi realizada conforme metodologias descritas por Teixeira et al. (2017), pH em água; P e K extraíveis por Mehlich<sup>-1</sup>; Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> e Al<sup>3+</sup> trocáveis por KCl 1 mol L<sup>-1</sup> (Tabela 1). Além desses atributos, foram analisados os teores de N total pelo método de Kjeldahl e de carbono orgânico total por oxidação úmida com K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 0,167 mol L<sup>-1</sup>, em meio ácido (YEOMANS e BREMNER, 1988).

**Tabela 1** - Caracterização química e granulométrica do solo em Caatinga submetida a três diferentes práticas de manejo florestal (CR – Corte raso; CSD – corte seletivo por diâmetro; CSE – corte seletivo por espécies) e em Caatinga não manejada (CN), em Contendas do Sincorá, Bahia, Brasil.

Tratamento	pH	P	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	H + Al	Argila	Areia	Silte
	H <sub>2</sub> O	mg dm <sup>-3</sup>	c mol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>				g kg <sup>-1</sup>		
CR	6,3	3,00	0,21	3,80	1,70	1,90	200	360	440
CSD	6,4	3,00	0,21	3,80	1,80	2,00	180	410	410
CSE	6,4	4,00	0,21	4,10	1,60	2,00	210	370	420
CN	6,6	4,00	0,20	4,80	1,90	1,70	190	430	380

Em que: P – fósforo; K<sup>+</sup> - potássio; Ca<sup>2+</sup> - cálcio trocável; Mg<sup>2+</sup> - Magnésio trocável; H +Al – Hidrogênio + Alumínio trocáveis.

### 3.5. Raízes finas

Na determinação da massa de raízes finas, foram utilizados aproximadamente 300g de cada uma das amostras coletadas de solo, foram colocados sobre peneira de 0,250mm e lavadas com água corrente para remoção da massa de solo (KUMAR

et al., 2010). Após o procedimento supracitado, as raízes foram secas à estufa de circulação forçada de ar (a 65° C, durante 72 horas) e pesadas.

### **3.6. Abertura do dossel**

A avaliação da abertura do dossel foi realizada seguindo a metodologia proposta por Lemmon (1954), utilizando um densiômetro esférico convexo (D) de Lemmon, a norte, sul, leste e oeste, a 1m do solo, em um ponto central de cada parcela. Para a leitura, cada quadrante foi dividido em quatro, e foram sistematicamente contados quantos quartos do quadrante refletiam o dossel. O total de quadrantes foi somado e multiplicado pelo fator de 1,04, resultando na estimativa de cobertura diretamente em porcentagem. A abertura de dossel de cada parcela foi determinada pelo somatório da abertura nos quatro pontos cardeais.

### **3.7. Biomassa microbiana e atividade microbiana**

Imediatamente após o preparo descrito no tópico 3.3, as amostras de solo separadas para as análises microbiológicas foram pré-incubadas por um período de três dias em um recipiente hermeticamente fechado. Junto às amostras de solo foram colocados dois recipientes, um contendo NaOH 1 mol L<sup>-1</sup> e outro com água, conforme metodologia adotada por Barreto et al. (2008), visando absorver o CO<sub>2</sub> do solo e eliminar o aumento imediato da taxa de respiração, resultante do peneiramento. Sequencialmente, as amostras foram padronizadas quanto à sua umidade para 40% da capacidade máxima de saturação de água do solo (GRISI, 1995) e novamente incubadas por 24 horas.

Para determinação do carbono e do nitrogênio da biomassa microbiana, o método utilizado foi da fumigação-extração, seguindo a metodologia proposta por Tate et al. (1988) para determinação do carbono microbiano e por Joergensen e Brookes (1990) para o nitrogênio microbiano conforme proposto.

A atividade microbiana foi medida em termos de respiração microbiana acumulada do solo (AMS), estimada a partir da quantidade de CO<sub>2</sub> liberado, em um período de oito dias (JENKINSON e POWLSON, 1976). Cada amostra de solo foi incubada em um recipiente de vidro de 3 litros, hermeticamente fechado, contendo

três recipientes pequenos, um com 50g de solo, o segundo com 10ml de NaOH 1 mol L<sup>-1</sup> e o terceiro contendo água. Após o período de incubação, as soluções de NaOH foram tituladas com HCl a 0,5 mol L<sup>-1</sup>, utilizando o indicador fenolftaleína.

### **3.8. Índices microbiológicos**

Em posse dos resultados obtidos, foram calculados os seguintes índices microbiológicos: relação carbono da biomassa microbiana/C orgânico (relação CBM:C, também denominada de quociente microbiano), relação nitrogênio da biomassa microbiana/N total (relação NBM:N), relação carbono da biomassa microbiana/nitrogênio da biomassa microbiana (relação C:N microbiana) (SPARLING, 1992) e quociente metabólico (qCO<sub>2</sub>), calculado pela relação entre a atividade microbiana e o C da biomassa (ANDERSON e DOMSCH, 1993).

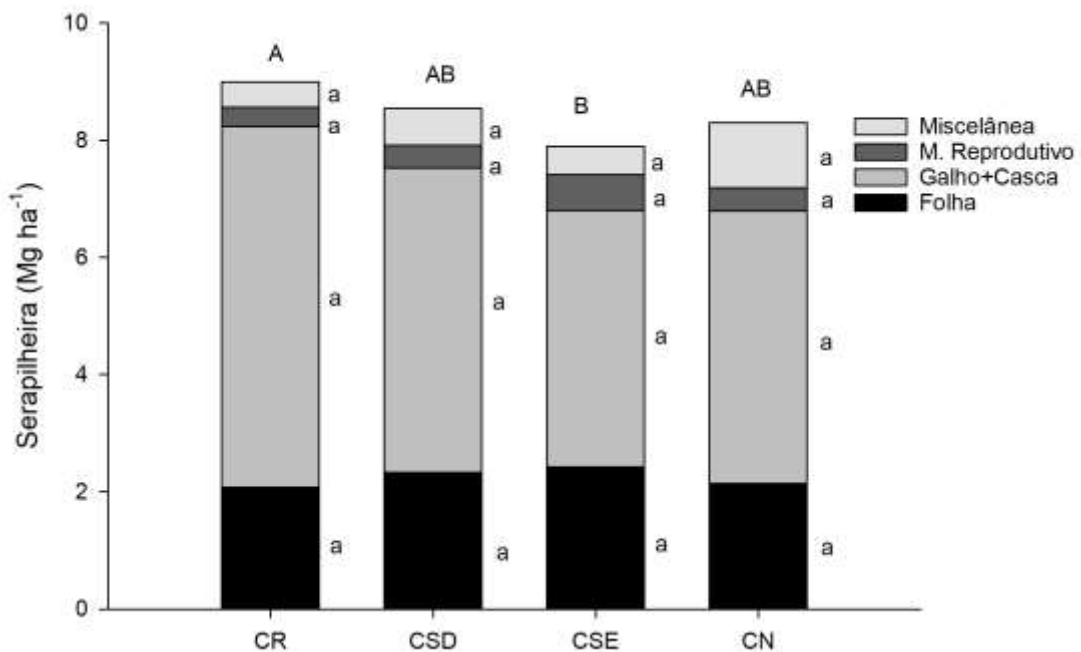
### **3.9. Análises estatísticas**

As análises dos dados foram realizadas pelos testes de Cochran e de Lilliefors para avaliar a homogeneidade das variâncias e normalidade, respectivamente. Constatado que os dados eram paramétricos, foi realizada a análise de variância (ANOVA). Quando o teste F foi significativo ( $\alpha = 5\%$ ), as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste LSD de Fisher a 5% de significância. As análises foram realizadas usando o *software* StatSoft Inc. (1984-2011) Statistica 10.0®

A relação entre massa da serapilheira e de raízes finas, abertura do dossel e atributos químicos e microbiológicos edáficos foi avaliada por meio da correlação de Pearson a 5% de significância. Adicionalmente, esse conjunto de variáveis foi submetido à análise de componentes principais (ACP), com o objetivo de sintetizar a variação multidimensional dos tratamentos em um diagrama e, posteriormente, ordená-los nos componentes de acordo com suas correlações ao redor as variáveis utilizadas (TER BRAAK, 1986). A ACP foi realizada com auxílio do *software* XLSTAT® Version 19.2.2 (ADDINSOFT, 2019).

#### 4. RESULTADOS

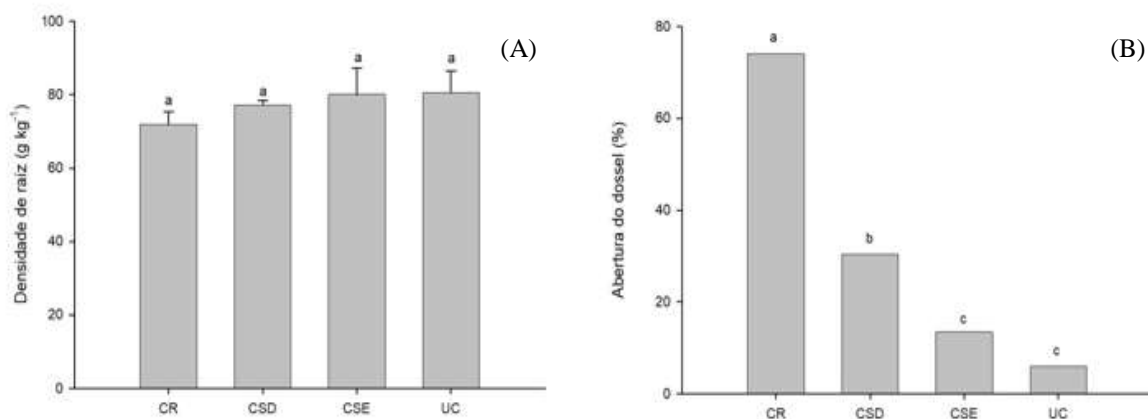
A quantidade total de serapilheira acumulada evidenciou diferença significativa apenas entre CR (8,95 Mg ha<sup>-1</sup>) e CSE (5,96 Mg ha<sup>-1</sup>). Não foi verificada variação das frações da serapilheira entre tratamentos. Apesar disso, observou-se que o CR apresentou maior participação relativa de galhos + cascas (65%) em relação aos demais tratamentos (em média, de 54%) (Figura 1).



**Figura 1** - Serapilheira acumulada em Caatinga submetida a três diferentes práticas de manejo florestal (CR – Corte raso; CSD – corte seletivo por diâmetro; CSE – corte seletivo por espécies) e em Caatinga não manejada (CN), em Contendas do Sincorá, Bahia. Letras iguais não diferem estatisticamente entre os tratamentos pelo teste LSD de Fisher a 5% de probabilidade. Letras maiúsculas referem-se à comparação de médias entre tratamentos, enquanto as letras minúsculas comparam as frações da serapilheira.

Os valores obtidos para a massa de raízes finas não apresentaram variação entre tratamentos (média de 77,5 g kg<sup>-1</sup>), não demonstrando efeito do manejo florestal (Figura 2). Por sua vez, a abertura do dossel mostrou diferenças entre as práticas de

manejo, com maior valor no CR (74,2%), valor intermediário no CSD (30,4%) e menor no CSE e CN, que não apresentou variação entre si (média 9,8%) (Figura 2).



**Figura 2** - Densidade de raízes finas (A) e abertura do dossel (B) em Caatinga submetida a três diferentes práticas de manejo florestal (CR – Corte raso; CSD – corte seletivo por diâmetro; CSE – corte seletivo por espécies) e em Caatinga não manejada (CN), em Contendas do Sincorá, Bahia. Letras iguais não diferem estatisticamente entre os tratamentos pelo teste LSD de Fisher a 5% de probabilidade.

As diferentes práticas de manejo florestal não resultaram em mudanças nos teores de carbono orgânico do solo (COS), nitrogênio total (NT), na densidade do solo e umidade do solo, que apresentaram valores médios de 1,2 g cm<sup>-3</sup>, 15,9 g kg<sup>-1</sup>, 2,0 g kg<sup>-1</sup> e 3,4%.

Os valores encontrados para o carbono lábil mostraram diferenças entre tratamentos, sendo o menor valor no CSD (1,76 g kg<sup>-1</sup>) em relação ao CR (2,33 g kg<sup>-1</sup>), embora ambos não tenham se distinguido da Caatinga não manejada (Tabela 2).

Os índices de CBM e NBM também evidenciaram mudanças com a aplicação do manejo, observando-se redução de 48% e 21%, respectivamente, na prática de corte raso em relação ao controle e demais tratamentos (Tabela 2). Isso também se refletiu em redução nos estoques desses atributos, o que corresponde a perdas de 0,17 Mg de CBM ha<sup>-1</sup> e 0,25 Mg de NBM ha<sup>-1</sup> em sete anos. Apesar disso, a atividade microbiana não foi afetada pelas práticas de manejo florestal, com valores entre 90 e 127,3 µg g<sup>-1</sup> (Tabela 2).

**Tabela 2** - Atributos químicos, físicos e microbiológicos do solo em Caatinga submetida a três diferentes práticas de manejo florestal (CR – Corte raso; CSD – corte seletivo por diâmetro; CSE – corte seletivo por espécies) e em Caatinga não manejada (CN), em Contendas do Sincorá, Bahia.

Tratamento	Densidade	U	COS	C lábil	NT
	g/cm <sup>3</sup>	%	g kg <sup>-1</sup>		
CR	1,14 (0,03) a	3,28 (0,16) a	15,98 (0,46) a	2,33 (0,24) a	1,88 (0,11) a
CSD	1,22 (0,02) a	3,40 (0,09) a	14,82 (8,45) a	1,76 (1,64) b	2,04 (0,20) a
CSE	1,15 (0,04) a	3,34 (0,12) a	17,37 (8,50) a	2,09 (1,08) ab	1,95 (0,14) a
CN	1,20 (0,08) a	3,61 (0,14) a	15,43 (5,07) a	2,16 (1,08) ab	2,04 (0,04) a

	CBM	NBM	AMS
	µg g <sup>-1</sup>		
CR	158,77 (21,94) b	86,16 (5,09) b	108,69 (5,13) a
CSD	296,26 (0,05) a	108,89 (46,46) a	127,31 (10,01) a
CSE	332,10 (0,10) a	110,92 (11,57) a	126,40 (18,28) a
CN	294,08 (0,15) a	108,10 (20,80) a	90,05 (14,86) a

Em que: U - umidade, COS - carbono orgânico e NT - nitrogênio total. Atributos microbiológicos do solo: CBM - carbono da biomassa microbiana; NBM - nitrogênio da biomassa microbiana e AMS - atividade microbiana do solo. Letras iguais não diferem estatisticamente entre os tratamentos pelo teste LSD de Fisher a 5% de probabilidade. Os valores apresentados em parênteses referem-se aos erros padrões obtidos.

Os atributos microbiológicos CBM e NBM apresentaram correlação significativa positiva entre si e negativa com o acúmulo da serapilheira lenhosa e com a abertura do dossel (Tabela 3).

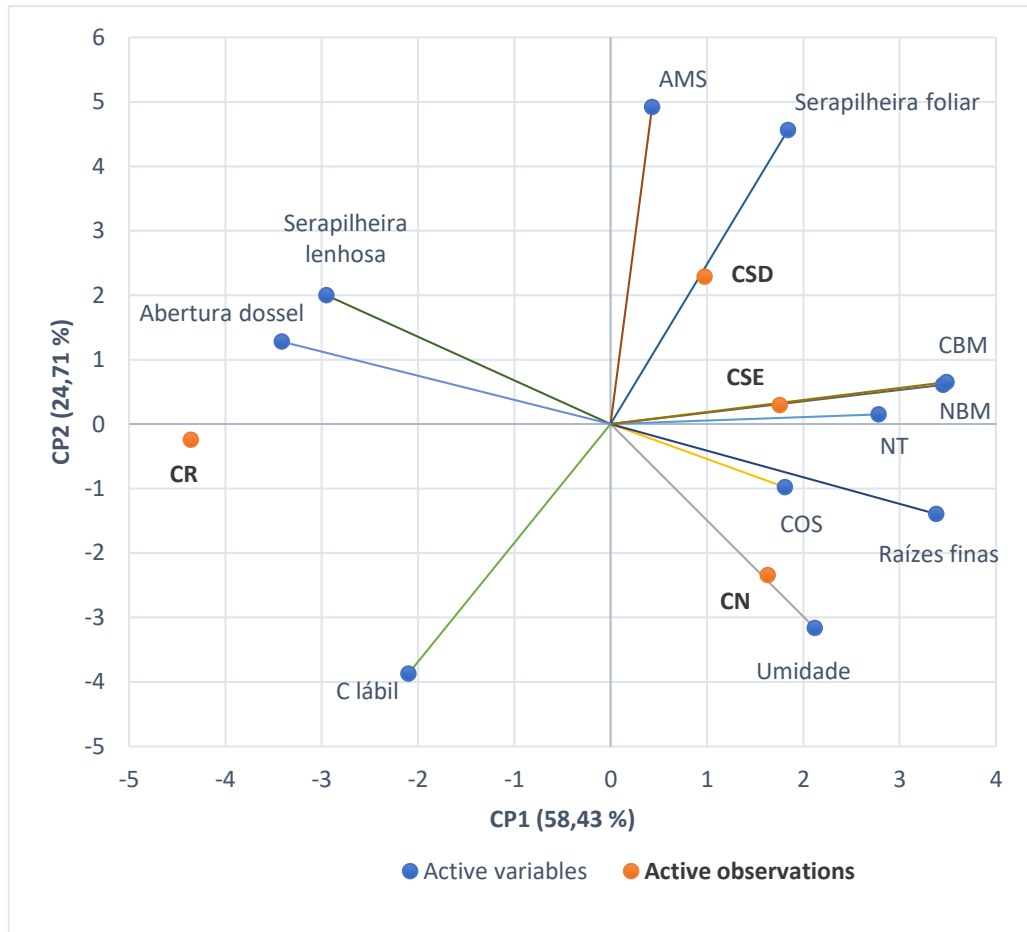


**Tabela 3** - Matriz de correlação de Pearson (r) entre serapilheira e atributos do solo em Caatinga submetida a três diferentes práticas de manejo florestal (CR – Corte raso; CSD – corte seletivo por diâmetro; CSE – corte seletivo por espécies) e em Caatinga não manejada (CN), em Contendas do Sincorá, Bahia, Brasil.

Variáveis	Umidade	COS	NT	C lábil	Raízes	AMS	CBM	NBM	SF	SL	AD
U	<b>1</b>	-0,419	0,792	-0,135	0,682	-0,674	0,446	0,519	-0,236	-0,383	-0,712
COS	-0,419	<b>1</b>	-0,572	0,439	0,171	0,255	0,171	0,040	0,194	-0,274	-0,561
NT	0,792	-0,572	<b>1</b>	-0,713	0,699	-0,119	0,691	0,779	0,317	-0,611	-0,749
C lábil	-0,135	0,439	-0,713	<b>1</b>	-0,357	-0,583	-0,615	-0,674	-0,790	0,558	0,403
Raízes	0,682	0,171	0,699	-0,357	<b>1</b>	-0,082	0,929	0,925	0,405	-0,922	<b>-0,997</b>
AMS	-0,674	0,255	-0,119	-0,583	-0,082	<b>1</b>	0,281	0,237	0,869	-0,311	0,089
CBM	0,446	0,171	0,691	-0,615	0,929	0,281	<b>1</b>	<b>0,991</b>	0,712	<b>-0,994</b>	<b>-0,931</b>
NBM	0,519	0,040	0,779	-0,674	0,925	0,237	<b>0,991</b>	<b>1</b>	0,686	<b>-0,972</b>	<b>-0,936</b>
SF	-0,236	0,194	0,317	-0,790	0,405	0,869	0,712	0,686	<b>1</b>	-0,723	-0,307
SL	-0,383	-0,274	-0,611	0,558	-0,922	-0,311	<b>-0,994</b>	<b>-0,972</b>	-0,723	<b>1</b>	0,912
AD	-0,712	-0,561	-0,749	0,403	<b>-0,997</b>	0,089	<b>-0,931</b>	<b>-0,936</b>	-0,307	0,912	<b>1</b>

Em que: U - Umidade; COS - carbono orgânico do solo; NT - nitrogênio total; C lábil - carbono lábil; AMS - atividade microbiana do solo; CBM - carbono da biomassa microbiana; NBM - nitrogênio da biomassa microbiana; SF – serapilheira foliar; SL - serapilheira lenhosa; AD – abertura do dossel.

A análise conjunta dos atributos do solo e serapilheira por meio da análise de componentes principais (CPA) mostrou que 83,14% da dissimilaridade entre tratamentos foi explicada por meio de dois componentes (Figura 3). Os atributos mais associados ao componente principal 1 (CP1), que explicou 58,43% da dissimilaridade entre tratamentos, foram: umidade, nitrogênio total, raízes finas, carbono e nitrogênio microbiano, serapilheira lenhosa e abertura de dossel (Tabela 4). Já as variáveis carbono lábil, atividade microbiana e serapilheira foliar foram responsáveis pela variação no componente principal 2 (CP2) e explicaram 24,71% da diferenciação entre tratamentos. O COS foi o único atributo mais associado ao componente principal 3 (CP3) e, dessa forma, não foi considerado na interpretação da análise. Assim, a dispersão gráfica dada pela ACP foi apresentada em duas dimensões (Figura 3) e sugeriu dissimilaridade entre tratamentos: CR ficou isolado no quadrante inferior esquerdo, enquanto os outros três tratamentos localizaram-se em quadrantes opostos, à direita do gráfico: CSD e CSE mais próximos entre si e no quadrante superior (o primeiro mais associado ao CP2 e o segundo ao CP3 e CP1) e CN no quadrante inferior e mais associado ao CP2 (Tabela 4).



**Figura 3** - Diagrama de ordenação produzido pela análise dos componentes principais dos atributos da serapilheira e do solo em Caatinga submetida a três diferentes práticas de manejo florestal (CR – Corte raso; CSD – corte seletivo por diâmetro; CSE – corte seletivo por espécies) e em Caatinga não manejada (CN), em Contendas do Sincorá, Bahia, Brasil. Em que: C lábil – carbono lábil; AMS - atividade microbiana do solo; CBM - carbono da biomassa microbiana; NBM - nitrogênio da biomassa microbiana; NT - nitrogênio total; COS - carbono orgânico do solo.

**Tabela 4** - Cargas fatoriais e variabilidade explicada pelos eixos na análise de componentes principais (PCA) da serapilheira e atributos do solo em Caatinga submetida a três diferentes práticas de manejo florestal (CR – Corte raso; CSD – corte seletivo por diâmetro; CSE – corte seletivo por espécies) e em Caatinga não manejada (CN), em Contendas do Sincorá, Bahia.

Variáveis/ Tratamentos	Componente da variância		
	CP1	CP2	CP3
	Cargas fatoriais		
Umidade	<b>0,603</b>	-0,585	-0,542
COS	0,514	-0,181	<b>0,838</b>
NT	<b>0,792</b>	0,028	-0,610
C lábil	-0,598	<b>-0,717</b>	0,359
Raízes finas	<b>0,962</b>	-0,258	0,091
AMS	0,122	<b>0,910</b>	0,396
CBM	<b>0,982</b>	0,113	0,148
NBM	<b>0,993</b>	0,120	0,016
Serapilheira foliar	0,524	<b>0,844</b>	-0,112
Serapilheira lenhosa	<b>-0,840</b>	0,370	-0,397
Abertura do dossel	<b>-0,971</b>	0,237	-0,022
CR	<b>-4,361</b>	-0,244	0,188
CSD	0,975	<b>2,290</b>	-1,308
CSE	1,755	0,295	<b>2,149</b>
CN	1,630	<b>-2,341</b>	-1,028
	%		
Variabilidade	58,427	24,707	16,866
Cumulativo	58,427	83,134	100,000

Em que: COS - carbono orgânico do solo; NT - nitrogênio total; C lábil – carbono lábil; AMS - atividade microbiana do solo; CBM - carbono da biomassa microbiana; NBM - nitrogênio da biomassa microbiana.

Entre os índices microbiológicos, apenas a relação NBM:N não mostrou diferenças significativas para os tratamentos, apresentando, em média, 5,31%. O quociente metabólico foi superior no CR em relação às demais práticas de manejo e à Caatinga nativa não manejada. Por conseguinte, o CR apresentou menores valores de quociente microbiano (0,99%) e relação C:N microbiana, não sendo observada variação entre os demais tratamentos (Tabela 5).

**Tabela 5** - Índices microbianos do solo em Caatinga submetida a três diferentes práticas de manejo florestal (CR – Corte raso; CSD – corte seletivo por diâmetro; CSE – corte seletivo por espécies) e em Caatinga não manejada (CN), em Contendas do Sincorá, Bahia.

Tratamento	qCO <sub>2</sub>	CBM:C	NBM: N	C: N mic
	mg CO <sub>2</sub> g <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup>	%		
CR	3,80 (0,43) a	0,99 (0,13) b	4,62 (0,37) a	1,87 (0,31) b
CSD	2,36 (0,14) b	1,99 (0,30) a	5,42 (0,20) a	2,67 (0,52) a
CSE	1,99 (0,05) b	1,94 (0,30) a	5,73 (0,18) a	3,03 (0,55) a
CN	2,16 (0,26) b	1,95 (0,18) a	5,48 (0,25) a	2,73 (0,54) a

Em que: qCO<sub>2</sub> – quociente metabólico; CBM:C – quociente microbiano (qMic); NBM:N – relação nitrogênio da biomassa microbiana e nitrogênio total do solo; C:N min – relação carbono e nitrogênio microbiano. CBM - carbono da biomassa microbiana; NBM - nitrogênio da biomassa microbiana. Valores entre parênteses representam o erro padrão da média de cada variável. Letras iguais não diferem estatisticamente entre os tratamentos pelo teste LSD de Fisher a 5% de probabilidade.

## 5. DISCUSSÃO

O maior acúmulo de serapilheira no CR em relação ao CSE pode ser influenciado pelo processo de regeneração natural mais intenso no tratamento de maior valor, já que esse manejo propiciou a retirada total da vegetação há cerca de sete anos. Isso promove uma maior abertura de clareira e maior presença de espécies pioneiras, que aumentam a deposição de serapilheira e são importantes no reestabelecimento da fertilidade do solo (LORENZO et al., 2017). Essa explicação é corroborada pela abertura do dossel, que apresentou valor superior nessa prática de manejo quando comparada aos demais os outros tratamentos avaliados. Em ambientes perturbados, com abertura de clareiras, predomina o desenvolvimento de espécies pioneiras, facilitando o estabelecimento futuro de espécies tardias (GOMES, 1998).

Adicionalmente, a inexistência de variação entre as práticas de manejo e CN quanto a variável de acúmulo de serapilheira sugere que houve uma recuperação da dinâmica de acúmulo de serapilheira, visto que a primeira avaliação realizada na referida área experimental (um ano após a realização do manejo) indicou maiores acúmulos nos tratamentos em que foram aplicados o manejo em relação à CN (BARRETO-GARCIA et al., 2021).

A maior contribuição de galhos e cascas na serapilheira acumulada do CR, indica que a maior volume de resíduos lenhosos mantidos na área, por ocasião da realização desse manejo ainda não foram totalmente decompostos e persistem sobre o solo, já que são mais resistentes à decomposição do que folhas e ramos não lignificados (BERG et al., 2000). Isso denota que há efeito da interferência na vegetação com o corte raso no acúmulo de serapilheira, mesmo após sete anos da realização do manejo. Barreto-Garcia et al. (2021) observaram esse mesmo efeito no primeiro ano após a realização do manejo.

Por conseguinte, a falta de variação do conteúdo de carbono orgânico indica que a realização do manejo florestal continua sem promover mudanças significativas no conteúdo de matéria orgânica do solo, visto que também não foram observadas diferenças nas avaliações realizadas por Barreto-Garcia et al. (2021), um ano após a realização do manejo, e por Santos et al. (2019), três anos após o manejo realizado. Esses resultados explicam a ausência de variação na densidade do solo e nos teores

de N total, uma vez que estes atributos estão intimamente relacionados aos teores de matéria orgânica do solo (BRAIDA et al., 2006).

A redução dos teores de CBM e NBM no CR e manutenção no CSD e CSE indica que os cortes seletivos promoveram recuperação desses atributos edáficos em sete anos, enquanto o CR ainda manteve níveis mais baixos de imobilização, como observado no primeiro ano após a realização do manejo (BARRETO-GARCIA et al., 2021). Isso pode estar relacionado a maior intensidade de interferência do corte raso em fatores, como: (1) aumento da abertura do dossel (Figura 2) e, como consequência, da incidência de luz, que altera o microclima edáfico devido a maiores oscilações de temperatura e umidade, o que pode restringir o crescimento microbiano; (2) aumento da participação de materiais lenhosos na serapilheira (resíduos de colheita), como discutido anteriormente, que causa uma menor acessibilidade dos microrganismos ao substrato; e (3) redução da produção de exsudatos radiculares pelo corte de 100% da vegetação, já que estes constituem fonte de alimento para os microrganismos do solo (SALTON e TOMAZI, 2014). Esta explicação está em concordância com as correlações significativas entre as taxas de CBM e NBM e o acúmulo de serapilheira lenhosa e a abertura do dossel (Tabela 2). A quantidade e a qualidade dos resíduos acumulados têm influência direta nos atributos microbiológicos do solo (BARRETO et al., 2008; BARGALI et al., 2018).

Segundo a interpretação dos indicadores microbiológicos do solo descrita por Lopes et al. (2013), o valor médio de CBM observado para o CR indica um nível de conservação baixo, enquanto valores acima de 206  $\mu\text{g CBM g}^{-1}$  solo, como encontrados para CSD, CSE e CN, demonstram um nível de conservação moderado. Isso denota que os cortes seletivos promovem rápida recuperação da capacidade de imobilização de C pela biomassa microbiana.

Embora não tenha sido observada variação na AMS (média de 113,11  $\mu\text{g g}^{-1}$ ), em uma análise comparativa com o valor médio encontrado por Barreto-Garcia et al. (2021) (média de 170,99  $\mu\text{g g}^{-1}$ ) foi possível observar uma redução de 34% entre um e sete anos após a realização do manejo. Esses resultados sugerem que a microbiota edáfica das áreas manejadas, independentemente da prática adotada, encontra-se em processo de recuperação, aproximando-se da condição de floresta nativa não manejada. Áreas com presença de vegetação nativa tendem a apresentar baixas taxas de respiração, pois as populações microbianas edáficas estão em equilíbrio,

devido à maior diversidade dos resíduos vegetais e menor incidência de fatores de estresse (RODRIGUE et al., 2011; LOPES et al., 2013; BINI et al., 2016).

O agrupamento dos manejos CSD e CSE no mesmo quadrante, juntamente com os atributos microbiológicos, e mais próximos de CN (Figura 3) indica que essas técnicas de manejo reduzem o impacto negativo da interferência na vegetação, assegurando condições mais próximas da Caatinga nativa não manejada e, portanto, mais favoráveis ao desenvolvimento da microbiota do solo. Ou seja, essas práticas de manejo mostram-se menos impactantes do ponto de vista dos indicadores microbiológicos do solo. Isso é explicado pela manutenção da estrutura da vegetação e diversidade da regeneração natural nesses manejos (SANTOS et al., 2023).

Por conseguinte, o isolamento do CR está associado ao maior acúmulo de serapilheira lenhosa e abertura do dossel, e deve ser resultante da interferência mais intensa na vegetação e, como consequência, no ambiente físico, com reflexos diretos na composição das copas e na dinâmica de deposição e acúmulo de resíduos vegetais, resultando em limites extremos para o desenvolvimento dos microrganismos. Esses resultados são indicativos de que áreas submetidas ao manejo corte raso demandam mais tempo para recuperação do *status* microbiológico edáfico, que inclui a biomassa e atividade microbiana. Estudos conduzidos na mesma área experimental, após um ano da realização do manejo, demonstraram que o CR gerou impactos negativos à população de fungos micorrízicos arbusculares (PEREIRA et al., 2018), a macrofauna edáfica (MATOS et al., 2019), as frações mais lábeis do carbono do solo (BATISTA et al., 2018), ao CBM (BARRETO-GARCIA et al., 2021) e a decomposição da serapilheira (MATOS et al., 2021).

Em concordância com os resultados discutidos anteriormente, o valor mais expressivo de  $qCO_2$  no manejo de corte raso demonstra maior perda de carbono na forma de  $CO_2$  pela respiração dos microrganismos e expressa um ambiente mais sujeito a estresse pela maior interferência (GOENSTER et al. 2017; BAZZO et al., 2018; ASSIS et al., 2019). Os maiores valores obtidos para o  $qCO_2$  indicam menor eficiência de conversão do carbono da MOS em carbono microbiano, ou seja, uma baixa eficiência da biomassa microbiana na imobilização de nutrientes em sua biomassa (KASHUK et al., 2010; BARBIERI et al., 2019). Segundo Kaschuk et al. (2010), aumentos do  $qCO_2$  e respectiva diminuição do CBM, como observado para o CR, demonstram vulnerabilidade à perturbação tanto em termos de resiliência quanto

de resistência. Ambientes estabilizados tendem a apresentar reduções no quociente metabólico e normalmente isso está associado a maiores diversidades de espécies e ausência de fatores estressantes durante os estágios sucessionais e a consequentes melhorias na qualidade do solo (SOUZA et al., 2006; DINIZ et al., 2020).

O menor quociente microbiano (qMic) do CR, inferior a faixa sugerida por Jenkinson e Ladd (1981) para ambientes não perturbados (1 a 4%), sugere uma restrição na participação da biomassa microbiana na formação do carbono orgânico do solo e possivelmente está associada a fatores como uma maior exposição do solo a alterações de temperatura e umidade e mudanças na qualidade da matéria orgânica decorrente da maior participação de galhos, já que foram observadas associações negativas entre este índice e o conteúdo de galhos ( $r = -0,93$ ;  $p = 0,05$ ) e a abertura do dossel ( $r = -0,94$ ;  $p = 0,05$ ) (Tabela 3).

Por outro lado, os valores de qMic superiores a 1,9%, observados no CSD, CSE e CN, demonstram que os cortes seletivos promoveram recuperação do processo de imobilização de carbono pela biomassa microbiana do solo. Esta faixa de valores também foi encontrada por Novank et al. (2022), trabalhando com áreas em diferentes estágios de recuperação no Cerrado. Valores de qMic dentro dessa faixa são verificadas em ambientes com maior nível de conservação do solo, como em ecossistemas naturais, refletindo condições mais favoráveis ao desenvolvimento microbiano (ROSCOE et al., 2006; CHAER e TÓTOLA, 2007).

A relação C:N microbiana possibilita conhecer a estrutura e o estado da comunidade microbiana (ANDERSON e DOMSCH, 1980; CAMPBELL et al., 1991), sendo que maiores valores indicam maior proporção de fungos, enquanto menores valores sugerem que bactérias predominam na população microbiana (CAMPBELL et al., 1991). Posto isso, menor valor obtido dessa relação no CR é indicativo de predominância de bactérias na comunidade microbiana, e isso deve estar relacionado à maior entrada de resíduos por ocasião do corte desse manejo. Segundo Guggenberger et al. (1999), sistemas que promovem maior incorporação de resíduos favorecem a dominância de bactérias, ao passo que em sistemas mais conservacionistas, como o plantio direto, filamentos fúngicos são relativamente mais abundantes. Essa mudança na estrutura das comunidades microbianas tem implicações importantes para o teor de matéria orgânica do solo (ANDERSON e DOMSCH, 1980).



## 6. CONCLUSÕES

O manejo corte raso influencia negativamente os níveis de nitrogênio e carbono da biomassa microbiana (BMS) edáfica, como também sua eficiência de conversão de carbono orgânico em carbono microbiano, resultando em maiores perdas de carbono do solo na forma de CO<sub>2</sub>. Assim como, os manejos de cortes seletivos, por diâmetro e espécie, mantêm os níveis de C e N da BMS semelhantes à Caatinga nativa não manejada, devido à sua menor interferência na estrutura da vegetação e, como consequência, na cobertura natural do solo e deposição contínua de resíduos orgânicos e de exsudatos radiculares.

Técnicas de manejo florestal de maior intervenção sobre o componente vegetal, como o manejo de corte raso, necessitam de intervalo de tempo superior a sete anos para recuperação da condição microbiológica do solo, sob os indicadores de biomassa e atividade microbiana, quando comparada à floresta nativa não manejada. Dessa forma, a continuidade do monitoramento da área experimental do referido estudo é necessária para conhecer os efeitos em longo prazo e compreender plenamente o período necessário para a recuperação dos atributos microbiológicos do solo em Caatinga submetida as práticas de manejo florestal.

## 7. REFERÊNCIAS

ANDERSON, J. P. E.; DOMSCH, K. H. Quantities of plant nutrients in the microbial biomass of selected soils. **Soil Science**, p. 211- 216, v. 130, n. 4, 1980.

ANDERSON J. P. E., DOMSCH K. H. The metabolic quotient of CO<sub>2</sub> (qCO<sub>2</sub>) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental condition, such as pH, on the microbial of forest soil. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 25, n. 3, p. 393-395, 1993.

ARAÚJO, E. A.; KER, J. C.; NEVES, J. C. L.; LANI, J. L. Qualidade do solo: conceitos, indicadores e avaliação. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, v. 5, p. 187-206, 2012.

ARAÚJO FILHO, J. A. de; **Manejo Pastoril Sustentável da Caatinga**. Projeto Dom Helder Camara, 2013, 200 p.

ASSIS, P. C. R.; STONE, L. F.; OLIVEIRA, J. M.; WRUCK, F. J.; MADARI, B. E.; HEINEMANN, A. B. Atributos físicos, químicos e biológicos do solo em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta. **Revista Agrarian**, v.12, n.43, p.57-70, 2019. <http://dx.doi.org/10.30612/agrarian.v12i43.8520>.

BALDRIAN, P. Microbial activity and the dynamics of ecosystem processes in forest soils. **Curr. Opin Microbiol**, v. 37, p. 128- 135, 2017.

BARBIERI, M.; DOSSIM, M. F.; NORA, D. D.; SANTOS, W. B. DOS; BEVILACQUA, C. B.; ANDRADE, N.; BOENI, M.; DEUSCHLE, D.; JACQUES, R. J. S., ANTONIOLLI, Z. I. Ensaio sobre a bioatividade do solo sob plantio direto em sucessão e rotação de culturas de inverno e verão. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 42, n. 01, p. 122-134, 2019.

BARETTA, D.; BROWN, G.G.; CARDOSO, E.J.B.N. Potencial da macrofauna e outras variáveis edáficas como indicadores de qualidade do solo em áreas com Araucária angustifolia. **Acta Zool. Mex.**, v. 2, p. 135-150, 2010.

Bargali, K., Manral, V., Padalia, K., Bargali, S.S., Upadhyay, V.P. Effect of vegetation type and season on microbial biomass carbon in Central Himalayan forest soils, India. **Catena**, v. 171, p. 125–135, 2018.

BARRETO, P. A. B.; GAMA-RODRIGUES, E. F.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; BARROS, N. F.; FONSECA, S. Atividade microbiana, carbono e nitrogênio da biomassa microbiana em plantações de Eucalipto, em sequência de idades. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 2, p. 611-619, 2008.

BARRETO, P. A. B.; GAMA-RODRIGUES, E. F.; GAMA-RODRIGUES, A. C. Carbono das frações da matéria orgânica em solos sob plantações de eucalipto de diferentes idades. **Scientia Forestalis**, v. 42, n. 104, p. 571-580, 2014.

BARRETO-GARCIA, P. A. B; BATISTA, S. G. M; GAMA-RODRIGUES, E. F.; PAULA, A.; BATISTA, W. C. A. Short-term effects of forest management on soil microbial

biomass and activity in Caatinga dry forest, Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 48, 2021.

BARRETTO, J.; SALOMÃO, R. P.; IANNUZZI, L. Diversity of dung beetles in three vegetation physiognomies of the Caatinga dry forest. **International Journal of Tropical Insect Science**, p. 01-08, 2019. DOI: 10.1007/s42690-019-00089-4.

BATISTA, S. G. M.; BARRETO-GARCIA, P. A. B.; PAULA, A.; MIGUEL, D. L.; W. C. A. BATISTA. Oxidizable fractions of soil organic carbon in Caatinga forest submitted to different forest managements. **Ciência Rural**, v. 48, n. 10, e20170708, 2018.

BAZZO, J. C.; SILVA, M. L. N.; FREITAS, D. A. F.; SOARES, C. R. F. S.; GOMIDE, P. H. O.; SANTOS, S. A.; CARDOSO, E. L. Biomassa e atividade microbiana do solo em diferentes fitofisionomias no Pantanal da Nhecolândia, MS, Brasil. **Corumbá: Embrapa Pantanal**, 2018. ISSN 1981-7215. 16p.

BERG, B., JOHANSSON, M.B., MEENTEMEYER, V. Litter decomposition in a transect of Norway spruce forests: substrate quality and climate control. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 30, n. 7, p. 1136–1147, 2000.

BINI, D.; SANTOS, C. A.; CARMO, K. B.; KISHINO, N.; ANDRADE, G.; ZANGARO, W.; NOGUEIRA, M. A. Effects of land use on soil organic carbon and microbial processes associated with soil health in southern Brazil. **European Journal of Soil Biology**, v. 55, p. 117-123, 2013.

BINI, D.; LOPEZ, M. V.; CARDOSO, E. J.B. N. Metabolismos microbiano. In: CARDOSO, E. J. B. N.; ANDREOTE, F. D. **Microbiologia do solo**. 2ª ed. Piracicaba: ESALQ, 2016. p. 63-83. ISBN: 978-85.86481-56-7.

BRAIDA, J. A.; REICHERT, J. M.; VEIGA, M.; REINERT, D. J. Resíduos vegetais na superfície e carbono orgânico do solo e suas relações com a densidade máxima obtida no ensaio de Proctor. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n. 4, p. 605-614, 2006.

BRASIL. Ministério do Meio ambiente. **Instrução Normativa nº 1**, de 25 de junho de 2009. Procedimentos técnicos para elaboração, apresentação, execução e avaliação técnica de Planos de Manejo Florestal Sustentável - PMFS da Caatinga e suas formações sucessoras. Brasília, 2009.

BRASIL. **Lei nº 12.651** de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 2012.

BRITO, A. C.; PAULA, A.; BARRETO-GARCIA, P. A. B.; LIMA, R. B.; SOUZA, D. R. Prediction of diametric and dynamic structures in a semiarid forest (Caatinga) area submitted to Forest Management, Brazil. **Revista Ceres**, v. 69, p. 92-101, 2022.

CAMPBELL, C. A.; BIEDERBECKL, v. o.; ZENTNERL, R. P.; LAFOND, G. P. Effect of crop rotations and cultural practices on soil organic matter, microbial biomass and respiration in a thin Black Chernozem. **Soil Science**, p. 363-376, v. 71, 1991.

CHAER, G. M.; TÓTOLA, M. R. Impacto do manejo de resíduos orgânicos durante a reforma de plantios de eucalipto sobre indicadores de qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 1381-1396, 2007.

COSTA, C. C. A.; CAMACHO, R. G. V.; MACEDO, I. D.; SILVA, P. C. M. Análise comparativa da produção de serapilheira em fragmentos arbóreos e arbustivos em área de Caatinga na Flona de Açú-RN. **Revista Árvore**, v.34, p. 259-265, 2010.

Diniz, A. R., Silva, C. F., Pereira, M. G., Balieiro, F. C., Silva, E. V., & Santos, F. M. (2020). Microbial Biomass and Enzyme Activity of Soil Under Clonal Rubber Tree Plantations. **Floresta e Ambiente**, v. 27, n. 3, p. 1-9. <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.113817>.

GAMA, D. C. Manejo florestal sustentado da Caatinga: aspecto legal e técnico-científico. **Advances in Forestry Science**, v. 8, p. 1363-1376, 2021.

GAMA-RODRIGUES, E. F.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; PAULINO, G. M.; FRANCO, A. A. Atributos químicos e microbianos de solos sob diferentes coberturas vegetais no norte do estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 1521-1530, 2008.

GAMA-RODRIGUES, E. F.; BARROS, N. F.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; SANTOS, G. A. Nitrogênio, carbono e atividade da biomassa microbiana do solo em plantações de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 393-901, 2005.

GANEM, K. A.; DUTRA, A. C.; OLIVEIRA, T. O.; FREITAS, R. M.; GRECCHI, R. C.; VIEIRA, R. M. S. P.; ARAI, E.; SILVA, F. B.; SAMPAIO, C. B. V.; DUARTE, V.; SHIMABUKURO, Y. E. Mapeamento da Vegetação da Caatinga a partir de Dados Ópticos de Observação da Terra – Oportunidades e Desafios. **Revista Brasileira de cartografia**, v. 72, n. especial 50 anos, 2020.

GARIGLIO, M.; BARCELLOS, N. D. E. Manejo sustentável em assentamentos rurais na Caatinga – Estudo de caso na Paraíba e Pernambuco. **In:** GARIGLIO, M. A. et al. (Org.). *Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da Caatinga*. Brasília: Serviço Florestal Brasileiro, 2010. p. 116-128.

GOENSTER, S., GRÜNDLER, C., BUERKERT, A., JOERGENSEN, R.G. Soil microbial indicators across land use types in the river oasis Bulgan sum center, Western Mongolia. **Ecological Indicators**, v. 76, p. 111–118, 2017.

GOMES, E. P. C. **Dinâmica do componente arbóreo de um trecho de mata em São Paulo, SP**. Tese de Doutorado, Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998. 285p.

GOMES, S. S.; GOMES, M. S.; GALLO, A. S.; MERCANTE, F. M.; BATISTOTE, M.; SILVA, R. F. Bioindicadores de qualidade do solo cultivado com milho em sucessão a adubos verdes sob bases agroecológicas. **Rev. Fac. Agron. La Plata**, v. 114, p. 30-37, 2015.

GRISI, B. M. Biomassa e a atividade de microrganismos do solo: Revisão metodológica. **Revista Nordestina de Biologia**, v. 10, p. 1-22, 1995.

GUGGENBERGER, G.; FREY, S. D.; SIX, J.; PAUSTIAN, K.; ELLIOTT, E. T. Bacterial and Fungal Cell-Wall Residues in Conventional and No-Tillage Agroecosystems. **Soil Science Society of America**, p. 1188-1198, v. 63, 1999.

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

HIGMAN, S.; MAYERS, J.; BASS, S.; JUDD, N.; NUSSBAUM, R. **Manual do Manejo Florestal Sustentável**. Editora UFV, Viçosa-MF, 2015, 398p.

HOFFMANN, R. B.; MOREIRA, E. E. A.; HOFFMANN, G. S. S.; ARAÚJO, N. S. F. Efeito do manejo do solo no carbono da biomassa microbiana. **Braz. J. Anim. Env. Res.**, Curitiba, v. 1, n. 1, p. 168-178, 2018.

ISLAM, K. R.; WEIL, R. R. Soil quality indicator properties in mid-atlantic soils as influenced by conservation management. **J. Soil Water Conser.**, v. 55, p. 69-78, 2000.

JENKINSON, D. S. Studies on decomposition of plant material in soil. II. Partial sterilization of soil and soil biomass. **J. Soil Science**. 17 (2), 280–302, 1966.

JENKINSON, D. S.; LADD, J. N. Microbial biomass in soil: Measurement and turnover. In: Paul, E.A., Ladd, J.M. (Eds), **Soil Biochemistry**. 5.ed., p. 415-471, 1981.

JENKINSON D.S.; POWLSON DS. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil. V. Method 27 for measuring soil biomass. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 8, p. 209-213, 1976.

JOERGENSEN, R. G.; BROOKES, P. C. Ninhydrin-reactive nitrogen measurements of microbial biomass in 0,5 M K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> soil extracts. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 22, p. 1033-1027, 1990.

KASCHUK, G.; ALBERTON, O.; HUNGRIA, M. Three decades of soil microbial biomass studies in Brazilian ecosystems: lessons learned about soil quality and indications for improving sustainability. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 42, p. 01-13, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2009.08.020>.

KIILL, L. H. P.; DRUMOND, M. A.; LIMA, P. C. F.; ALBUQUERQUE, S. G. de; OLIVEIRA, V. R. de. Preservação e uso da Caatinga (ABC da Agricultura Familiar, 16), Brasília – DF: **EMBRAPA – Embrapa Informação Tecnológica**, 2007. 39 p.

KUMAR, S.; UDAWATTA, R. P.; ANDERSON, S. H. Root length density and carbon content of agroforestry and grass buffers under grazed pasture systems in a Hapludalf. **Agroforestry systems**, v. 80, n. 1, p. 85-96, 2010.

LEMMON, P. E. A new instrument for measuring forest overstory density. **Journal of Forestry**, v.55, n.9, p.667-668, 1957.

LIRA, R. B.; DIAS, N. S.; ALVES, S. M. C.; BRITO, R. F.; SOUSA NETO, O. N. Efeitos dos sistemas de cultivo e manejo da Caatinga através da análise dos indicadores químicos de qualidade do solo na produção agrícola em Apodi, RN. **Revista Caatinga**, v. 25, n. 3, p. 18-24, 2012.

LOPES, A. A. DE C.; SOUZA, D. M. G.; CHAER, G. M.; REIS JUNIOR, F. B.; GOEDERT, W. J.; MENDES, I. DE C. Interpretation of microbial soil indicators as a function of crop yield and organic carbon. **Soil Science Society of America Journal**, v. 77, n. 2, p. 461-472, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.2136/sssaj2012.0191>.

LORENZO, L.; CAMPAGNARO, V.H. Litterfall production as a function of planting seedlings system in a two years forest restoration area in the Coastal-Plain of Caraguatatuba, São Paulo, Brazil. **Revista Árvore**, v. 41, n. 3, e. 410319, 2017.

MAIA, S. M. F.; XAVIER, F. A. S.; OLIVEIRA, T. S.; MENDONÇA, E. S.; ARAÚJO FILHO, J. A. Frações de nitrogênio em Luvisolo sob sistemas agroflorestais e convencional no semi-árido Cearense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 1, p. 381-392, 2008.

MARTIN, K. Influence of Forest Harvest on Soil Microbial Communities. pp. 108-123. **In: Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences**. Publisher: Elsevier, ISBN (Online), 2018.

MATOS, P. S.; BARRETO-GARCIA, P. A. B.; SCORIZA, R. N. Effect of different forest management practices on the soil macrofauna in the arboreal Caatinga. **Revista Caatinga**, v. 32, p. 741 -750, 2019.

MATOS, P. S.; BARRETO-GARCIA, P. A. B.; GAMA-RODRIGUES, E. F.; PAULA, A.; OLIVEIRA, A. M. Short-term effects of forest management on litter decomposition in Caatinga dry forest. **Energy, Ecology and Environment**, v.7, p. 130-141, 2021. <https://doi.org/10.1007/s40974-021-00231-4>

MEDEIROS, E. J. T; CAVALCANTE, F. G; SILVA, M. A; SILVEIRA, S. C; MARTINS, C. M. Diversidade cultura de Cepas de actinobactérias do semiárido. **Enciclopédia Biosfera**, v.15 n.27. 2018.

MELO, V.F; SILVA, D.T; EVALD, A; ROCHA, P.R.R. Chemical and biological quality of the soil in different systems of use in the savanna environment. **Rev. Agro Ambiente**, v.11, n. 2, p. 101-110, 2017.

MEUNIER, J.; MARIA, I.; FERREIRA, C.; LUIZ R.; SILVA, J.A.A.D. O licenciamento de Planos de Manejo Florestal da Caatinga assegura sua sustentabilidade? **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 38, p. 1-7, 2018.

MMA - Ministério do Meio Ambiente. **Plano de Manejo da Floresta Nacional Contendas do Sincorá**. 2006. 132 p.

MORO, M. F.; LUGHADHA, E. N.; ARAÚJO, F. S. D.; MARTINS, F. R. A Phytogeographical Meta-analysis of the Semiarid Caatinga Domain in Brazil. **The Botanical Review**, v. 82, n. 2, p. 1-59, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12229-016-9164-z>.

NASCIMENTO, K. R. P.; ALVES, E. R.; ALVES, M. V. S.; GALVÍNCIO, J. D. Impacto da precipitação e do uso e ocupação do solo na cobertura vegetal na Caatinga. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v. 05, n.02, p. 221-231, 2020.

NUNES, L. A. P. L.; ARAÚJO FILHO, J. A.; HOLANDA JUNIOR, E. V.; MENEZES, R. I. Q. Impacto da queimada e de enleiramento de resíduos orgânicos em atributos biológicos de solo sob caatinga no semi-árido nordestino. **Revista Caatinga**, v. 22, p. 131-140, 2009.

PADILHA, K. M.; FREIRE, M. B. G. S.; DUDA, G. P.; SANTOS, U. J.; SILVA, A. O.; SOUZA, E. R. Indicadores Biológicos de dois solos com à incorporação de subproduto da agroindústria de café. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 38, p. 1377-1386, 2014.

Pagano, M.C.; Utida, M.K.; Gomes, E.A.; Marriel, I.E.; Cabello, M.N.; Scotti, M.R. Plant-type dependent changes in arbuscular mycorrhizal communities as soil quality indicator in semi-arid Brazil. **Ecological Indicators**, v.11, n.2, p.643-650, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2010.09.001>

PARKIN, T. B.; DORAN, J. W.; FRANCO-VIZCAÍNO. Field and laboratory tests of soil respiration. In: DORAN, J.W. e JONES, A., eds. **Methods for assessing soil quality**. Madison, Soil Science Society of America, 1996. p.231-245.

PEREIRA, J. E. S.; BARRETO-GARCIA, P. A. B.; SCORIZA, R. N.; SAGGIN JÚNIOR, O. J.; GOMES, V. S. Arbuscular mycorrhizal fungi in soils of arboreal Caatinga submitted to forest management. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 13, e5497, 2018. DOI:10.5039/agraria.v13i1a5497.

RODRIGUES, H. J. B.; Sá, L. D. A.; RUIVO, M. L. P.; COSTA, A. C. L.; SILVA, R. B.; MOURA, Q. L.; MELLO, I. F. Quantitative microbial population variability associated with the microclimate conditions observed in tropical rainforest soil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 26, n. 4, p. 629–638, 2011.

ROSCOE, R.; MERCANTE, F. M.; MENDES, I. C.; REIS JUNIOR, F. B.; SANTOS, J. C. F.; HUNGRIA, M. Biomassa microbiana do solo: Fração mais ativa da matéria orgânica. In: ROSCOE, R. **Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas**

**convencionais: Modelagem matemática e métodos auxiliares.** Embrapa Agropecuária Oeste, p. 163-198, 2006.

ROSA, R. S.; MENEZES, N. A.; BRITSKI, H. A.; COSTA, W. J. E. M.; GROTH, F. Diversidade, padrões de distribuição e conservação dos peixes da Caatinga. In: LEAL, I.R.; TABARELLI, M. E SILVA, J.M.C. (eds.). **Ecologia e conservação da caatinga.** Recife, Editora Universitária. p. 3-74. 2003.

SALTON, J.C.; TOMAZI, M. Sistema Radicular de Plantas e Qualidade do Solo. Comunicado Técnico 198. Embrapa Agropecuária Oeste. Dourados, Brasil. 2014, 6 p. SALCEDO, I. H.; SAMPAIO, E. V. S. B. Matéria orgânica do solo no bioma caatinga. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais.** Porto Alegre: Metrópole, 2008. p. 419-441.

SAMPAIO, E. C. S. B. Características e potencialidades. In: GARIGLIO, M. A. et al. (Org.). **Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da Caatinga.** Brasília: Serviço Florestal Brasileiro, 2010. p. 29-48.

SANTOS, M.O.D., BARRETO-GARCIA, P.A.B., GAMA-RODRIGUES, E.F. Soil Microbial Biomass as an Edge Effect Indicator in Semi-Deciduous Seasonal Forest Fragments. **Floresta e Ambiente**, v. 26, n. 4, e20171037, 2019.

SANTOS, M. O.; BARRETO-GARCIA, P. A. B.; MONROE, P. H. M.; PAULA, A. Efeito do manejo florestal da Caatinga no estoque de carbono orgânico em agregados do solo. **Scientia Forestalis**, v.49, n.129, e3419, 2021.  
<https://doi.org/10.18671/scifor.v49n129.16>.

SANTOS, A. F. C.; PAULA, A. de; BARRETO-GARCIA, P. A. B; CORRÊA, M. M; BOMBONATTI, J. R. Natural regeneration dynamics in caatinga tree submitted to forest management. **Floresta**, p. 232-241, v. 53, n.2, 2023.

SCARAMUZZA, C. A. de M.; VELLOSO, A. L.; MOURA, I. O.; CORADIN, L. **5º Relatório Nacional para a Convenção sobre diversidade biológica.** Brasília-DF: MMA (Série Biodiversidade 50), 2016, 244 p.

SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G. **Manejo Sustentado de Florestas Inequiânes Heterogêneas.** Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria. Departamento de Ciências Florestais, 2000.

SEYFFARTH, J. A. S.; RODRIGUES, V. Impactos da seca sobre a biodiversidade da Caatinga. **Parcerias Estratégicas**, v. 22, p. 41-62. Brasília, 2017.

SILVA, J. M. C.; TABARELLI, M.; FONSECA, M. T.; LINS, L. V. **Biodiversidade da caatinga: áreas e ações prioritárias para a conservação.** Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente: Universidade Federal de Pernambuco; 2003.

SOUZA, E. D.; CARNEIRO, M. A. C.; PAULINO, H. B.; SILVA, C. A.; BUZETTI, S. Fração 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. 28, n. 3, p. 323-329, 2006. DOI: <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v28i3.940>.

SOUZA, E. D; COSTA, S. E. V. G. A; ANGHINONI, I; CARVALHO, P. C. F; ANDRIGUETI, M; CAIO, E. Estoque de carbono orgânico e de nitrogênio no solo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto, submetido a intensidades de pastejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.1829-1836, 2010.

SPARLING, G. P. Ratio of microbial biomass carbon to soil organic carbon as a sensitive indicator of changes in soil organic matter. **Australian Journal of Soil Research**, v. 30, p. 195-207, 1992.

STÖCKER, C.M; MONTEIRO, A.B; BAMBERG, A.L; CARDOSO, J.H; MORSELLI, T.B.G.A; LIMA, A.C. R. Bioindicadores da qualidade do solo em sistemas agroflorestais. 14ª **Jornada de Pós-Graduação e Pesquisa**, 2017.

TATE, K. R.; ROSS, D. J.; FELTHAM, C. W. A direct extraction method to estimate soil microbial C: Effects of experimental variables and some different calibration procedures. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 20, p. 329-335, 1988.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de métodos de análise de solo**. Brasília-DF: EMBRAPA, 2017, 574 p.

TER BRAAK, C.J.F. Canonical correspondence analysis: A new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis. **Ecology**, v. 67, p. 1167-1179. 1986.

TÓTOLA, M. R.; CHAER, G. M. Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade dos solos. **Tópicos em ciência do solo**, v. 2, n. 3, p. 195-276, 2002.

VASCONCELOS, A. D. M.; HENRIQUES, I. G. N.; SOUZA, M. P. D.; SANTOS, W. S. D.; SANTOS, W. S. D.; RAMOS, G. G. Caracterização florística e fitossociológica em área de Caatinga para fins de manejo florestal no município de São Francisco-Pi. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v. 13, n. 4, p. 329-337, 2017. doi: <http://dx.doi.org/10.30969/acsa.v13i4.967>.

VIRGENS, A. P.; BARRETO-GARCIA, P. A. B.; PAULA, A.; CARVALHO, F. F., ARAGÃO, M. A.; MONROE, P. H. M. Biomassa de espécies florestais em área de Caatinga arbórea. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 37, n. 92, p. 555-561, 2017. <http://dx.doi.org/10.4336/2017.pfb.37.92.1465>.

WAN, P.; ZHANG, G.; ZHAO, Z.; HU, Y.; LIU, W.; HUI, G. Short-term effects of different forest management methods on soil microbial communities of a natural *Quercus aliena* var. *acuteserrata* forest in Xiaolongshan, china. **Forests**, v. 10, p. 161, 2019. DOI:10.3390/f10020161.

XIAOJUN, N., JIANHUI, Z., ZHENGAN, S. Dynamics of soil organic carbon and microbial biomass carbon in relation to water erosion and tillage erosion. **PLoS One**, n. 08, n.05, e64059, 2013. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0064059>.

Yeomans, J.C.; Bremner, J.M., A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communications in soil science and plant analysis**, v. 19, n. 13, p. 1467-1476, 1988. <https://doi.org/10.1080/00103628809368027>.

ZORNOZA, R.; GUERRERO, C.; MATAIX-SOLERA, J.; SCOW, K. M.; ARCENEGUI, V.; MATAIX-BENEYTO, J. Changes in soil microbial community structure following the abandonment of agricultural terraces in mountainous areas of Eastern Spain. **Applied Soil Ecology: A Section of Agriculture, Ecosystems e Environment**, v. 42, n. 3, 315–323, 2009.