

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

**BIOMASSA MICROBIANA E FRAÇÕES OXIDÁVEIS DO CARBONO  
ORGÂNICO DO SOLO COMO INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE  
EM CAATINGA SUBMETIDA A MANEJO FLORESTAL**

**SUELLEN GOMES MONTEIRO BATISTA**

VITÓRIA DA CONQUISTA – BA  
BAHIA - BRASIL  
NOVEMBRO – 2016

SUELLEN GOMES MONTEIRO BATISTA

**BIOMASSA MICROBIANA E FRAÇÕES OXIDÁVEIS DO CARBONO  
ORGÂNICO DO SOLO COMO INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE  
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 obtenção do título de Mestre.

**Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Patrícia Anjos Bittencourt Barreto-Garcia (UESB)**

**Co-orientador: Prof. Alessandro de Paula (UESB)**

VITÓRIA DA CONQUISTA – BA  
BAHIA - BRASIL  
NOVEMBRO – 2016

SUELLEN GOMES MONTEIRO BATISTA

**BIOMASSA MICROBIANA E FRAÇÕES OXIDÁVEIS DO CARBONO  
ORGÂNICO DO SOLO COMO INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE  
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 obtenção do título de Mestre.

Apresentada em 23 de novembro de 2016.

Comissão Examinadora:

---

Prof<sup>a</sup>. Joseane Oliveira da Silva (D.Sc., Produção Vegetal) – IFBA

---

Paulo Henrique Marques Monroe (D.Sc., Produção Vegetal) – PNPD/CAPES

---

Prof. Alessandro de Paula (D.Sc., Ecologia e Recursos Naturais) - UESB  
Co-orientador

---

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

*Aos meus pais, João e Simone,*

*dedico.*

*“A natureza é o único livro que oferece um  
conteúdo valioso em todas as suas folhas.”*

*(Johann Goethe)*

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, que me deu forças para trilhar o meu caminho até aqui e também por me incentivar a continuar sempre buscando o melhor para minha vida. Essa conquista é graças a Ele!

Aos meus pais João e Simone que me concederam o dom da vida e me apoiaram em todas as minhas decisões. Muito obrigada meus pais!

Ao meu esposo Willyan Charles também tenho muito a agradecer pelo amor, respeito incentivo e dedicação que ele me concede a cada dia. Sem ele eu não teria conseguido chegar até onde cheguei.

À minha professora e orientadora Patrícia, pela confiança e apoio na confecção de meus trabalhos e também em minha jornada acadêmica.

Aos meus amigos e colegas que contribuíram de alguma forma na realização do meu experimento, seja em campo ou no laboratório. Sem vocês eu não conseguiria, por isso sou muito grata!

Aos colegas e responsáveis pelos Laboratórios de Microbiologia dos Solos, Química do Solo, Física do Solo e Biomassa e Solos Florestais da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia.

Ao Prof. Divino pelo incentivo na execução do meu trabalho.

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

À Fapesb pela concessão da bolsa de Mestrado.

Aos funcionários da Floresta Nacional Contendas do Sincorá pela confiança e colaboração na execução do meu projeto, em especial ao gestor da Unidade.

Aos colegas do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, em especial à turma 2014.2.

À minha família e aos meus amigos, os quais de alguma forma contribuíram um pouquinho com essa conquista. Meu muito obrigada a todos!

## SUMÁRIO

RESUMO.....	VIII
ABSTRACT.....	IX
1. INTRODUÇÃO GERAL.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA .....	3
2.1. Bioma Caatinga e manejo florestal .....	3
2.2. Indicadores do sistema solo-serapilheira .....	4
2.2.1. Serapilheira .....	5
2.2.2. Biomassa microbiana .....	6
2.2.3. Atividade microbiana .....	7
2.2.4. Fracionamento químico do C orgânico do solo.....	7
ARTIGO 1: .....	9
BIOMASSA MICROBIANA COMO INDICADOR DE SUSTENTABILIDADE EM CAATINGA SUBMETIDA A MANEJO FLORESTAL .....	10
RESUMO.....	10
ABSTRACT.....	10
INTRODUÇÃO .....	11
MATERIAL E MÉTODOS.....	13
RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	16
CONCLUSÕES .....	24
REFERÊNCIAS.....	25
ARTIGO 2: .....	29
FRAÇÕES OXIDÁVEIS DO CARBONO ORGÂNICO DO SOLO SOBRE CAATINGA SUBMETIDA A MANEJO FLORESTAL .....	29
RESUMO.....	30

<b>ABSTRACT</b> .....	<b>30</b>
<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>31</b>
<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>32</b>
<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>35</b>
<b>CONCLUSÕES</b> .....	<b>39</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>39</b>
<b>3. CONCLUSÕES GERAIS</b> .....	<b>44</b>
<b>4. REFERÊNCIAS</b> .....	<b>45</b>

## RESUMO

BATISTA, Suellen Gomes Monteiro, M.Sc., Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, novembro de 2016. **Biomassa microbiana e frações oxidáveis do carbono orgânico do solo como indicadores de sustentabilidade em Caatinga submetida a manejo florestal.** Orientadora: Patrícia Anjos Bittencourt Barreto-Garcia. Co-orientador: Alessandro de Paula.

O uso incorreto dos recursos da Caatinga ocasiona alterações na qualidade da matéria orgânica do solo. Uma das alternativas para o uso sustentável dos recursos do bioma Caatinga é o manejo florestal sustentável. O objetivo deste trabalho foi caracterizar a biomassa microbiana e avaliar a distribuição das diferentes frações oxidáveis do carbono orgânico em solo sob Caatinga submetido a diferentes manejos florestais na Floresta Nacional Contendas do Sincorá – BA. Foram avaliados os efeitos de três tipos de manejo florestal (corte raso, corte seletivo de árvores com diâmetro a altura do peito superior a 5 cm e corte seletivo por espécie) sobre a atividade, carbono e nitrogênio da biomassa microbiana e sobre as frações oxidáveis do C orgânico do solo, utilizando como testemunha a Caatinga não manejada. As coletas de solo foram realizadas em parcelas de 20 x 20 m, na profundidade de 0-10 cm. Determinaram-se os teores de carbono e nitrogênio da biomassa microbiana, a respiração acumulada e os índices quociente metabólico, relações C:N microbiana, CBM:C e NBM:N. Além disso, foram determinadas as frações oxidáveis do C orgânico do solo. Os diferentes tipos de manejo florestal da Caatinga promoveram alterações na biomassa microbiana do solo, sendo que o corte raso ocasionou uma maior interferência. O quociente metabólico foi um dos índices mais discriminantes na distinção dos tratamentos indicando maiores perdas de carbono nos tratamentos que receberam algum tipo de interferência florestal. A análise multivariada dos atributos microbiológicos e químicos do solo indicou similaridade entre o corte raso e o corte seletivo 1, os quais ocasionaram maiores alterações nos atributos do solo. As frações mais lábeis do CO (F1+F2) apresentaram redução na Caatinga manejada em relação a não manejada, sendo indicadores discriminantes de diferenças entre os tipos de manejo estudados. As frações mais recalcitrantes (F3 e F4) não mostraram o efeito do manejo florestal nas áreas, possivelmente em decorrência do período inicial de manejo, que não foi suficiente para perceber alterações.

**Palavras-chave:** Matéria orgânica; atributos microbiológicos; fracionamento químico.

### **ABSTRACT**

BATISTA, Suellen Gomes Monteiro, M.Sc., Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, november, 2016. **Microbial biomass and soil carbon organic in oxidizable fractions as an indicators of sustainability in Caatinga under forest management.**

Adviser: Patrícia Anjos Bittencourt Barreto-Garcia. Co-adviser: Alessandro de Paula.

The inappropriate use of Caatinga's resources causes changes in the quality of soil organic matter and one of great alternatives for the sustainable use of the Caatinga resources is through Sustainable Forest Management. The aim of this study was to characterize the microbial biomass and evaluate the distribution of different oxidizable fractions of organic carbon in soil under Caatinga under different forest management in Floresta Nacional Contendas do Sincorá - BA. It evaluated three types of forest management (clearcut, selective cut of trees with diameter at breast height greater than 5 cm and selective cut by species) about the accumulated respiration, carbon and nitrogen of microbial biomass and about oxidizable fractions of soil organic C, using the Caatinga not managed with the control. Soil samples were taken at 20 x 20 m plots at a depth of 0-10 cm. Were determined the carbon and nitrogen of microbial biomass, the accumulated respiration and microbial metabolic quotient indices, C:N microbial, CBM:C and NBM:N. It was determined oxidizable fractions of soil organic C. The different types of Caatinga under forest management promoted changes in soil microbial biomass, and clearcut caused greater interference. The metabolic quotient was one of the differential indices in treatments distinction indicating higher carbon losses in the treatments that received some kind of forest interference. Multivariate analysis of microbiological attributes and soil chemical indicated similarity between clearcut and selective cut 1 that caused high changes in soil properties. The labile fractions of CO (F1+F2) showed reduction in Caatinga managed relative to unmanaged, and discriminant indicators of differences between types of management studies. The most recalcitrant fractions (F3 e F4) did not show the effect of forest management areas, possibly because the initial management period, which was not enough to notice changes.

**Keywords:** organic matter; microbiological attributes; chemical fractionation.



## 1. INTRODUÇÃO GERAL

A Caatinga é o único bioma considerado exclusivamente brasileiro e ocupa cerca de 11% do território nacional. Apesar de ainda ser pouco conhecido, o número crescente de pesquisas realizadas no bioma vem demonstrando a sua enorme biodiversidade, riqueza de ambientes e espécies, muitas delas endêmicas (HAUFF, 2010).

Na atualidade, a Caatinga é um dos biomas mais ameaçados do Brasil. Grande parte da sua superfície se encontra bastante modificada, como consequência da ocupação humana e uso de práticas de manejo inadequadas (LEAL et al., 2003).

Dentre as várias ações que podem ser adotadas para a conservação do bioma, destaca-se a utilização da Caatinga por meio do Manejo Florestal Sustentável (LIRA et al., 2012), por permitir o uso múltiplo dos recursos florestais, a continuidade da produção e a preservação das características ecológicas do ambiente, além da geração de emprego e renda (GARIGLIO et al., 2010).

O Manejo Florestal Sustentável é regulamentado por lei, estando previsto no Código Florestal brasileiro (Lei 12.651 de 25 de maio de 2012). De acordo com este dispositivo, para que seja realizada a exploração da vegetação nativa é necessária a obtenção de um licenciamento ambiental, mediante a aprovação de um documento denominado Plano de Manejo Florestal Sustentável (PMFS). Este documento deve conter todas as características das operações de manejo e exploração e ser submetido à aprovação do órgão responsável pelas atribuições ambientais dentro do estado. Nesse sentido, a Rede de Manejo Florestal da Caatinga – RMFC, desde a sua criação em 2003, vem buscando ampliar a base técnico-científica para adequação das práticas de manejo florestal adotadas na Caatinga (RMFC, 2005).

As recomendações de Manejo Florestal Sustentável direcionam o uso dos recursos florestais para práticas que favorecem a manutenção das características do solo, com ênfase a sua biologia, já que os organismos edáficos são os grandes responsáveis pelas principais alterações físicas e químicas do solo (CUNHA et al., 2012). Por essa razão, o uso de indicadores de qualidade do solo, que se baseiam em suas propriedades biológicas, químicas e físicas é utilizado para a avaliação das alterações ocasionadas pelo manejo e, conseqüentemente, para a escolha do melhor sistema de manejo a ser adotado (FIALHO et al., 2006). De acordo com Gariglio et al. (2010), o manejo florestal sustentável pode ocasionar alterações significativas nos teores de matéria orgânica dos horizontes superficiais, o que torna importante a realização de trabalhos a respeito da

interferência do manejo em características do solo.

Indicadores são atributos que medem ou refletem o *status* ambiental ou a condição de sustentabilidade do ecossistema (ARAÚJO e MONTEIRO, 2007). Dessa forma, a biomassa microbiana do solo, por constituir a fração ativa da matéria orgânica do solo (NUNES et al., 2009) e ser diretamente influenciada por inúmeros fatores bióticos e abióticos, é considerada um dos indicadores mais sensíveis às mudanças ocasionadas pelo manejo ou uso do solo (GAMA-RODRIGUES et al., 2005; FIALHO et al., 2006).

Assim como a biomassa microbiana, a distribuição das frações do C orgânico do solo também é considerada um bom indicador de qualidade do solo, podendo detectar pequenas alterações na qualidade da matéria orgânica, antes mesmo de ocorrerem mudanças nos teores de C orgânico total (BARRETO et al., 2011; BARRETO et al., 2014).

Na região do semiárido nordestino, abrangendo diferentes estados, diversos estudos foram desenvolvidos com propósito de avaliar a sustentabilidade do Manejo Florestal da Caatinga (GARIGLIO et al., 2010). No entanto, ainda são inexistentes os estudos relacionados ao tema na Bahia, não havendo nenhum registro de estudos que envolvam o uso de indicadores do solo para avaliar a sustentabilidade do manejo florestal da Caatinga no estado.

Sendo assim, o presente trabalho objetivou avaliar as alterações produzidas pelo Manejo Florestal Sustentável em área de Caatinga arbórea no Sudoeste da Bahia, utilizando como indicadores de sustentabilidade a biomassa microbiana e a distribuição das frações oxidáveis do carbono orgânico do solo. A partir das informações obtidas, propõe-se contribuir com a pesquisa científica sobre Caatinga da região, gerando informações a respeito do nível de interferência que diferentes tipos de manejo podem ocasionar no solo.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. Bioma Caatinga e manejo florestal

A Caatinga, bioma típico do semiárido brasileiro (TABARELLI et al., 2002; COSTA et al., 2010), encontra-se em sua maior parte na região Nordeste do país (AMORIM et al., 2005). Sua vegetação é caracterizada por ser uma floresta seca e decídua, composta por um grande número de espécies que apresentam espinhos e folhas pequenas como forma de adaptação aos grandes períodos de seca comuns na região (MEDEIROS et al., 2009).

A maior parte da extensão da Caatinga é caracterizada por um clima quente, considerado fortemente sazonal, com uma média de menos de 1000 mm de chuva por ano, distribuídos, em sua maioria, em período de três a seis meses no ano (VELLOSO et al., 2002).

A ocorrência de diferentes fitofisionomias na Caatinga está relacionada a fatores como clima e relevo, que, com as suas múltiplas inter-relações, acabam por promover ambientes totalmente distintos (LIMA et al., 2012). Todavia, de acordo com Costa et al. (2013), as peculiaridades adaptativas desta vegetação são determinadas principalmente pela disponibilidade de água e temperatura, onde o estresse hídrico é considerado um dos fatores mais limitantes em termos de produtividade e distribuição geográfica das espécies características da região. A evapotranspiração real que ocorre de forma acentuada neste bioma também é um atributo que se agrava ainda mais com os efeitos da pluviosidade, que frequentemente é baixa e irregular (COUTINHO, 2006).

A biota da Caatinga é rica em espécies e também em endemismos, pois, apesar deste ser um bioma ainda pouco conhecido, apresenta uma diversidade muito grande em comparação com qualquer outro bioma do mundo que esteja exposto às mesmas condições de clima e de solo (SILVA et al., 2003).

Nos dias atuais, o estudo e a conservação da diversidade biológica da Caatinga ainda é um grande desafio para a ciência, devido ao número restrito de pesquisas realizadas e, ao mesmo tempo, ao progressivo processo de alteração que o bioma vem sofrendo, como consequência do uso insustentável dos seus recursos naturais (LEAL et al., 2003). Uma alternativa eficaz para combater o avanço desse processo é o manejo florestal sustentável da Caatinga (MF), o qual contribui de forma eficaz e benéfica para a preservação e equilíbrio do bioma (LIRA et al., 2012).

O MF da Caatinga tem como objetivo incentivar a utilização sustentável do bioma, através da conservação da biodiversidade e da utilização de práticas consideradas sustentáveis (PAREYN, 2010). Embora seja previsto por lei, desde o código florestal de 1965 (Lei 4.771 de 15 de setembro de 1965), o MF ainda é uma ferramenta de planejamento pouco incorporada às atividades de produção no bioma e a sua apropriação ainda não causa os necessários impactos (PAUPITZ, 2010).

Depois do Código Florestal de 1965, inúmeras regulamentações (decretos, medidas provisórias, portarias e instruções normativas) foram estabelecidas para aprimorar e ordenar as regras do processo de realização do MF no país. Para a Caatinga especificamente, a legislação que estabelece os procedimentos técnicos necessários para elaboração e execução de Planos de Manejo Florestal Sustentável (PMFS) é a Instrução Normativa nº 1 de 25 de junho de 2009 do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA (BRASIL, 2009).

## **2.2. Indicadores do sistema solo-serapilheira**

Os indicadores de qualidade do solo são classificados como físicos, químicos e biológicos (ARAÚJO et al., 2012) e podem ser definidos como atributos capazes de medir e refletir a condição de sustentabilidade de um determinado ecossistema como também o seu *status* ambiental (ARAÚJO e MONTEIRO, 2007).

A utilização de indicadores do solo, relacionados à sua funcionalidade, constitui uma maneira indireta de mensurar a qualidade dos solos, sendo úteis para o monitoramento de mudanças no ambiente (ARAÚJO et al., 2012). Um melhor monitoramento de solos manejados faz-se necessário para à preservação da qualidade do mesmo e também para manutenção da produção (FIALHO et al., 2006).

Na escolha de um indicador é importante garantir que haja viabilidade da sua aplicação. Um bom indicador deve ser de fácil monitoramento e seus efeitos devem ser de fácil interpretação (LIMA et al., 2007).

A avaliação de indicadores físicos, químicos e biológicos do solo tem sido empregada para caracterizar o impacto que certas práticas de manejo ocasionam na qualidade do solo (LISBOA et al., 2012). A análise de indicadores de forma isolada não é o suficiente para determinar a qualidade do mesmo (CUNHA et al., 2012), sendo recomendada a utilização de indicadores que relacionem vários fatores para uma completa descrição da qualidade do solo (STENBERG, 1999).

### **2.2.1. Serapilheira**

A serapilheira, também denominada de fitomassa, é definida como a camada mais superficial do solo em ambientes florestais, composta por galhos, folhas, sementes, flores e detritos (animal ou vegetal), sendo responsável por exercer inúmeras funções no equilíbrio e na dinâmica dos ecossistemas (COSTA et al., 2013). Dentre os diferentes compartimentos da serapilheira, a folha é o que apresenta, normalmente, maior participação na composição total (SANTOS et al., 2011).

A fitomassa acumulada sobre piso florestal é considerada a principal via de transferência de elementos essenciais da vegetação para o solo (VITAL et al., 2004), sendo também responsável pela formação da matéria orgânica do solo (MOS), uma vez que esta é constituída principalmente de material vegetal.

Além de proteger o solo contra as elevadas temperaturas, a serapilheira também pode desempenhar outros papéis como o de armazenar em sua composição grande quantidade de sementes prontas para germinar ou em estado de dormência, abrigar uma abundante macro e micro fauna, as quais atuam diretamente nos processos de decomposição dos materiais presentes e fertilizar de forma natural os solos florestais (COSTA et al., 2007).

A quantidade e qualidade da serapilheira acumulada sobre o piso florestal pode variar em função de algumas variáveis como a procedência do material vegetal, composição de espécies da cobertura florestal, estágio sucessional, idade, local e época de coleta (CALDEIRA et al., 2013).

A qualidade da serapilheira normalmente é determinada pelos seus teores de compostos orgânicos e inorgânicos (frações solúveis, lignina, compostos fenólicos, nutrientes, celulose, substâncias estimulantes ou alelopáticas e carbono), os quais exercem uma grande influência na regulação e na natureza das interações da biota edáfica (BEARE et al. 1992; SILVA et al., 2014).

De acordo com Lopes et al. (2009), a quantidade de serapilheira produzida no bioma Caatinga costuma ser inferior a quantidade aportada nos outros biomas brasileiros, sendo que o pico de deposição desta ocorre no fim da estação chuvosa e início da estação seca. Isso ocorre principalmente devido à baixa disponibilidade hídrica do período e a transpiração excessiva, que ocasionam um aumento da taxa de mortalidade e caducifolia, fazendo com que haja um aumento na biomassa foliar da serapilheira (SANTOS et al., 2011).

O estudo da serapilheira tanto do ponto de vista qualitativo como quantitativo é de suma importância para a compreensão do funcionamento dos ecossistemas florestais (ALVES et al., 2006), pois, dessa forma, torna-se possível intervir em um ambiente sem necessariamente degradá-lo (LOPES et al., 2009).

### **2.2.2. Biomassa microbiana**

A biomassa microbiana do solo (BM) constitui a fração ativa da MOS (NUNES et al., 2009). É um compartimento diretamente influenciado por inúmeros fatores bióticos e abióticos, sendo considerada, portanto, um dos indicadores mais sensíveis às mudanças ocasionadas pelo manejo ou uso do solo (GAMA-RODRIGUES et al., 2005; FIALHO et al., 2006).

Além de atuar como um reservatório de nutrientes disponíveis às plantas (MARCHIORI JÚNIOR e MELO, 2000), a BM é um dos componentes responsáveis pelo controle da decomposição e acúmulo de MOS (REIS JÚNIOR e MENDES, 2007).

O carbono da biomassa microbiana (CBM), quando relacionado ao carbono orgânico do solo (CO) indica a qualidade da MOS e a eficiência da BM em converter C do solo em C microbiano (BARRETO et al., 2008). O CBM é considerado um indicador de qualidade de solo bastante sensível ao decréscimo da quantidade de MOS (NUNES et al., 2009). Cunha et al. (2012) constataram que o teor de CBM é maior em solos cobertos por florestas do que naqueles cultivados com espécies agrícolas. A partir do CBM e do CO é possível calcular o quociente microbiano (CBM:C) que expressa a eficiência da biomassa em utilizar C do solo (FERREIRA, 2008).

O nitrogênio da biomassa microbiana (NBM) também representa a fração ativa da MOS e ele está relacionado diretamente com os processos de mineralização e imobilização do nitrogênio (MAIA et al., 2008), sendo um indicador de qualidade do solo muito utilizado tanto em sistemas agrícolas quanto em áreas de vegetação nativa (JANZEN, 2005).

O NBM também é um indicador muito sensível às práticas de manejo do solo (XAVIER et al., 2006). A relação entre o NBM e o N total do solo (NBM:N) demonstra a eficiência de conversão do N em NBM (SPARLING, 1992). Nas florestas maduras, essa relação apresenta valores superiores quando comparadas com plantios de espécies arbóreas nativas ou com pastagens abandonadas (MORAES et al., 2007).

A partir dos teores de CBM e NBM é possível calcular a relação C:N microbiana, índice que pode ser utilizado para expressar a qualidade nutricional da MOS e a

eficiência da BM em imobilizar CO e N do solo (GAMA-RODRIGUES e GAMA-RODRIGUES, 2008).

### **2.2.3. Atividade microbiana**

A atividade microbiana de um determinado solo envolve todas as reações metabólicas celulares, suas interações e também seus processos bioquímicos mediados ou conduzidos pelos organismos edáficos (SIQUEIRA et al., 1994). Os mesmos autores ainda afirmaram que esta pode ser estimada a partir da liberação de CO<sub>2</sub> (respiração edáfica) que está intimamente relacionada com a decomposição da MOS.

De acordo com Nael et al. (2004), a atividade microbiana do solo, assim como o teor de CO, é considerada uma forma sensível e eficaz de se identificar alterações nos teores de CO total. Ela pode ser empregada na avaliação de diferentes condições de manejo (CAPUANI et al., 2012).

A partir dos dados da respiração edáfica e da BM, é possível calcular o quociente metabólico ( $qCO_2$ ), que é um índice utilizado como indicador de qualidade do solo, por identificar alterações decorrentes de perturbações no ecossistema (DE-POLLI e GUERRA, 1997).

A estimativa da atividade microbiana tem sido utilizada em solos da região semiárida do Brasil para o monitoramento ambiental, servindo para a avaliação de áreas antes e após o manejo e para a análise da recuperação de áreas degradadas (PEREIRA et al., 2004).

### **2.2.4. Fracionamento químico do C orgânico do solo**

O CO é um dos principais componentes da MOS, sendo que o seu estoque é influenciado diretamente pelo sistema de manejo adotado (STEINER et al., 2011). Assim, o conhecimento das mudanças nas alterações do CO ajuda na compreensão da dinâmica da MOS e escolha dos melhores sistemas de manejo (GUARESCHI et al., 2013).

Além de sofrer alterações em termos de quantidade, o CO do solo também sofre alterações de qualidade, especialmente na labilidade (BLAIR et al., 1995; BARRETO et al., 2014). O carbono pode se acumular em frações lábeis ou estáveis da MOS, o que indica diferenças na sua permanência no solo (BAYER et al., 2004). A distribuição destas frações é considerada um indicador mais sensível ao manejo do solo do que a quantificação do estoque total de CO (XAVIER et al., 2006).

Diversas técnicas de fracionamento físico e químico têm sido desenvolvidas para separar e isolar frações de CO total do solo (GUARESCHI et al., 2013; BARRETO et al., 2014). Dentre os diversos métodos químicos utilizados para o fracionamento do CO, pode-se citar o proposto por Chan et al. (2001), pelo qual as frações de C são separadas em função de um nível crescente de oxidação, determinado por um gradiente ácido. O método foi desenvolvido a partir de uma modificação no método clássico de determinação do C desenvolvido por Walkley e Black (1934) e permite a separação de quatro frações (F1, F2, F3 e F4), representadas pelo aumento do grau de oxidação do H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> de 3, 6, 9 e 12 mol L<sup>-1</sup>, respectivamente (GUARESCHI et al., 2013).

De acordo com Maia et al. (2007) as frações F1 e a F2 são as de maior labilidade, sendo associadas à uma maior disponibilidade de nutrientes e à formação de macroagregados. A fração F1 é a considerada de maior labilidade (BARRETO et al., 2011). Já as frações F3 e F4, as mais recalcitrantes, estão mais relacionadas com compostos de maior estabilidade química e massa molar, os quais são oriundos da decomposição e humificação da MOS (RANGEL et al., 2008). Esses mesmos autores mencionam que a distribuição das frações de C lábil e C não-lábil variam de acordo com a profundidade e local de coleta das amostras de solo.

A distribuição do C das frações oxidáveis é eficiente para evidenciar alterações no manejo, como a remoção da cobertura florestal, a qual ocasiona a diminuição do conteúdo dessas frações da MOS (LOSS et al., 2014). As frações F1 e F2 são os compartimentos mais sensíveis na avaliação de frações oxidáveis (BARRETO et al., 2011; BATISTA et al., 2014).

**ARTIGO 1:**

**Biomassa microbiana como indicador de sustentabilidade em Caatinga  
submetida a manejo florestal**

*O artigo segue as normas da Revista Floresta e Ambiente.*

## **Biomassa microbiana como indicador de sustentabilidade em Caatinga submetida a manejo florestal**

### **Microbial biomass as an indicator of sustainability in Caatinga under forest management**

#### **RESUMO**

O manejo florestal sustentável constitui uma das alternativas para o uso adequado dos recursos da Caatinga. O objetivo deste trabalho foi caracterizar a biomassa microbiana em solo sob Caatinga submetida ao manejo florestal na Floresta Nacional Contendas do Sincorá – BA. Foram avaliados três tipos de manejo florestal (corte raso, corte seletivo de árvores com diâmetro a altura do peito superior a 5 cm e corte seletivo por espécie), utilizando como testemunha a Caatinga não manejada. As coletas de solo foram realizadas em parcelas de 20 x 20 m, na profundidade de 0-10 cm. Determinaram-se os teores do carbono da biomassa microbiana (CBM) e nitrogênio da biomassa microbiana pelo método de fumigação-extração. Os diferentes tipos de manejo florestal promoveram alterações no CBM, sendo que o corte raso ocasionou uma maior interferência. O quociente metabólico indicou maiores perdas de C nos tratamentos com algum tipo de interferência.

**Palavras-chave:** Floresta Nacional; microbiota do solo, quociente metabólico.

#### **ABSTRACT**

Sustainable forest management is an alternative to use correctly of Caatinga resources. The aim of this study was to characterize the microbial biomass in soil of Caatinga under forest management in Floresta Nacional Contendas do Sincorá - BA. It evaluated three types of forest management (clear cut, selective cut of trees with diameter at breast height greater than 5 cm and selective cut by species), using the Caatinga not managed with the control. Soil samples were taken at 20 x 20 m plots at a depth of 0-10 cm. Were determined carbon content of the microbial biomass (CBM)

and nitrogen of microbial biomass by fumigation-extraction method. The different types of Caatinga under forest management promoted changes in soil microbial biomass, and clearcut caused greater interference. The metabolic quotient indicated higher carbon losses in the treatments that received some kind of interference.

**Keywords:** National Forest; microbial soil; metabolic quotient.

## **INTRODUÇÃO**

A Caatinga, bioma típico do semiárido brasileiro (Costa et al., 2010), abrange a maior parte da região Nordeste e uma pequena parte da região Sudeste (Guerra et al., 2014). Apresenta vegetação seca e espinhosa, com características xerófitas. Apesar de ser um bioma muito rico e possuir muitas espécies endêmicas (Silva et al., 2003), a Caatinga é um dos biomas mais ameaçados do Brasil devido ao uso inadequado de seus recursos naturais e de seus solos, que vem avançando ao longo dos anos.

A degradação da Caatinga com o uso inadequado do solo e a retirada da madeira nativa para obtenção de lenha e carvão, ocasionam impactos negativos não apenas nos recursos naturais, como também na economia e na própria população da região (Menezes et al., 2012). Uma das alternativas mais indicadas para a utilização adequada destes recursos e a que mais se encaixa no conceito de desenvolvimento sustentável (Souza & Lopes, 2013) é o Manejo Florestal Sustentável (MF), permitindo o uso múltiplo da floresta (Silva et al., 2010) e o favorecimento da preservação das características naturais do bioma. No Brasil, o MF é regulamentado por lei desde 1965 (Lei 4.771 de 15 de setembro de 1965, antigo Código Florestal) até os dias atuais (Lei 12.651 de 25 de maio de 2012, novo Código Florestal).

As principais técnicas de intervenção utilizadas no MF da Caatinga, baseiam-se em dois tipos de cortes: corte raso e corte seletivo, que pode ser por diâmetro mínimo ou por espécie (Embrapa Informação Tecnológica, 2007). O corte raso promove a retirada de todos os arbustos e

árvores, independente do tamanho ou da espécie. Esse corte apresenta como vantagens a facilidade e maximização do volume extraído por área (produção de lenha) e a adaptação ao comportamento de regeneração da Caatinga (BRASIL, 2008).

Por outro lado, o corte seletivo por espécie permite a obtenção de madeira com maior valor agregado e tende a ocasionar menor impacto, quando comparado ao corte raso e seletivo por diâmetro. No entanto, na Caatinga este corte costuma ser o menos adotado. O corte seletivo por diâmetro mínimo é comumente utilizado para a obtenção de lenha e de estacas, enquanto o corte seletivo por espécie é empregado para obtenção de mourões e estacas (BRASIL, 2008).

Os efeitos decorrentes dos diferentes tipos de manejo no ecossistema devem ser rotineiramente estudados, para indicação do melhor sistema de manejo florestal a ser adotado em um determinado lugar. A utilização de indicadores de qualidade do solo, relacionados à sua funcionalidade, é uma forma de avaliação de mudanças no ambiente (Araújo et al., 2012) permitindo, assim, um monitoramento mais adequado dos solos manejados (Fialho et al., 2006).

A biomassa microbiana do solo (BM) constitui um dos indicadores de qualidade do solo mais utilizados na avaliação e monitoramento de alterações da matéria orgânica do solo (MOS), por ser sensível às alterações dos diferentes usos e tipos de manejos dos solos. A BM é avaliada de acordo com os seus teores de carbono (CBM) e nitrogênio (NBM), os quais são sensíveis as modificações na quantidade de MOS (Nunes et al., 2009). A partir da associação destes teores com os teores de carbono orgânico (CO) e nitrogênio total (N) do solo é possível obter índices microbianos, como as relações C:N microbiana, CBM:C (quociente microbiano) e NBM:N, que, além de expressarem a qualidade da MOS, também indicam a eficiência dos micro-organismos do solo em converter CO em CBM e N em NBM (Barreto et al., 2008).

Outra forma de avaliar a BM é por meio de estimativas da atividade microbiana (CO<sub>2</sub> liberado), que refletem a qualidade da MOS (Barreto et al., 2008) e a dinâmica do C e N de forma mais consistente (Monteiro & Gama-Rodrigues, 2004). Além disso, o quociente metabólico ( $qCO_2$ ) (relação entre a quantidade de CO<sub>2</sub> liberado por unidade de CBM e por unidade de tempo)

(Anderson & Domsch, 1993), também se constitui como um indicador de perturbações nos ecossistemas (D'Andréa et al., 2002).

Apesar de existirem estudos relacionados ao impacto do manejo florestal na Caatinga, ainda são escassos os que consideram os atributos microbiológicos do solo como indicadores das alterações ocasionadas pelo manejo. Assim, este trabalho teve por objetivo avaliar a interferência inicial de diferentes tipos de manejo florestal na biomassa microbiana do solo e em sua atividade.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

O estudo foi conduzido na Floresta Nacional (FLONA) Contendas do Sincorá, no município de Contendas do Sincorá, na região Sudoeste do da Bahia. A FLONA abrange uma área de 11.216 ha e tem sua vegetação predominante classificada como Caatinga Arbórea, em estágio sucessional tardio, já que sua área não passou por nenhum tipo de intervenção antrópica desde 1997 (MMA, 2006). Constitui a primeira unidade de conservação dessa categoria no estado da Bahia, sendo criada pelo Decreto s/nº de 21 de setembro de 1999.

A região apresenta relevo plano e clima semiárido quente (BSwh), segundo a classificação de Köppen. O solo da área de estudo pertence classe Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico (MMA, 2006) e apresenta textura franca.

A área de estudo na FLONA está inserida na Zona de Manejo dos Recursos, definida no Plano de Manejo da unidade de conservação, onde é prevista a realização de pesquisa, programas de manejo e geração de tecnologias. É composta por três condições de corte em manejo florestal e uma condição de caatinga não manejada, que foi utilizada como testemunha (Tabela 1).

**Tabela 1.** Características dos tratamentos avaliados em área de Caatinga na Floresta Nacional Contendas do Sincorá - BA.

**Table 1.** Characteristics of treatments in Caatinga area in Floresta Nacional Contendas do Sincorá - BA.

<b>Tratamento</b>	<b>Características</b>
Corte raso (CR)	Retirada de todas os arbustos e árvores, independentemente do tamanho ou da espécie.
Corte seletivo 1 (CS1)	Corte seletivo de todas as árvores com diâmetro a altura do peito (DAP) superior ou igual a 5 cm.
Corte seletivo 2 (CS2)	Corte seletivo das espécies <i>Commiphora leptophloeos</i> (Mart.) J.B. Gillett, <i>Pseudobombax simplicifolium</i> A. Robyns e <i>Jatropha mollissima</i> (Pohl.) Baill.
Testemunha (T)	Caatinga não manejada, utilizada como referência.

O manejo florestal foi realizado em maio de 2015, a partir da instalação de dezesseis parcelas de 20 x 20 m, que foram lançadas e demarcadas na área experimental, totalizando quatro repetições por tratamento.

As coletas de solo e serapilheira foram realizadas em maio de 2016. Em cada uma das parcelas experimentais, coletaram-se 10 amostras simples de solo (camada 0-10 cm) para formar uma amostra composta e uma amostra de serapilheira acumulada, considerando todo resíduo vegetal acumulado sobre a superfície do piso florestal, com uso de um gabarito quadrado de madeira 0,25 m<sup>2</sup> (0,50 x 0,50 m), que foi lançado aleatoriamente.

Os solos foram analisados e caracterizados quimicamente, conforme Tabela 2, adotando-se os procedimentos descritos pela Embrapa (1997): 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>; C orgânico por oxidação com K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 0,4 mol L<sup>-1</sup> em meio ácido e N total pelo método Kjeldahl. Para a análise granulométrica, foi utilizado o método da pipeta.

**Tabela 2.** Caracterização química e composição granulométrica de solo sob Caatinga submetida a manejo florestal no município de Contendas do Sincorá - BA.

**Table 2.** Chemical and granulometric composition of soils to Caatinga under forest management in the city of Contendas do Sincorá - BA.

Trat. <sup>(1)</sup>	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>	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>				g kg <sup>-1</sup>		
CR	6,30	3,00	0,21	3,80	1,70	1,90	200	360	440
CS1	6,40	3,00	0,21	3,80	1,80	2,00	180	410	410
CS2	6,40	4,00	0,21	4,10	1,60	2,00	210	370	420
T	6,60	4,00	0,20	4,80	1,90	1,70	190	430	380

<sup>(1)</sup> Trat. – Tratamento; CR - Corte raso; CS1 - Corte seletivo 1; CS2- Corte seletivo 2; T – Testemunha.

As amostras de solo inicialmente foram homogeneizadas e passadas em peneira com malha de 2 mm. Em seguida, foram pré-incubadas por um período de oito dias em recipiente fechado contendo um frasco com NaOH 1 mol L<sup>-1</sup> e outro com água, conforme adotado por Barreto et al., (2008) com propósito de absorver o CO<sub>2</sub> do solo e eliminar o efeito do peneiramento, que favorece o aumento imediato da taxa de respiração. Após esse período, as amostras tiveram suas umidades padronizadas para 40% da capacidade máxima de saturação do solo (Grisi,1995) e, posteriormente, procederam-se as análises.

Para a determinação do carbono da biomassa microbiana (Tate et al., 1988) e do nitrogênio da biomassa microbiana (Joergensen & Brookes, 1990) do solo foi utilizado o método de fumigação-extração.

A atividade microbiana foi medida em termos de respiração do solo (RA), a qual foi estimada pela quantidade de CO<sub>2</sub> liberada (Jenkinson & Powlson, 1976) em um período de oito dias. A incubação foi feita colocando em recipiente de vidro três frascos (snap cap de 100 ml), um com 50 g de solo, outro com 10 ml de NaOH 1 mol L<sup>-1</sup> e o terceiro com água. Os potes foram hermeticamente fechados e, após o período estabelecido, as soluções de NaOH foram tituladas com HCl 0,5 mol L<sup>-1</sup>, utilizando-se para isso duas gotas do indicador fenolftaleína.

Os índices microbiológicos determinados foram: relações carbono da biomassa microbiana/C orgânico (CBM:C), relação nitrogênio da biomassa microbiana/N total (NBM:N), relação carbono da biomassa microbiana/nitrogênio da biomassa microbiana (C:N microbiana) (Sparling, 1992) e o quociente metabólico ( $qCO_2$ ) (Anderson & Domsch, 1993).

Os dados de CO, N total, atributos e índices microbiológicos do solo e acúmulo de serapilheira foram analisados quanto à homogeneidade das variâncias dos erros, pelo teste de Cochran, e da normalidade, pelo teste de Lilliefors. Posteriormente, constatados que os dados foram paramétricos, foram realizadas comparações múltiplas das médias dos tratamentos pelo teste LSD de Fisher a 5 % de significância, quando a análise de variância mostrou resultado significativo no teste F ( $p < 5 \%$ ). Foram estabelecidas correlações de Pearson a 5 % de significância entre serapilheira, atributos químicos e microbiológicos do solo, a partir do agrupamento dos dados dos diferentes tratamentos. As análises estatísticas foram realizadas no programa estatístico SAEG® v.9.1.

Além disso, os dados foram submetidos à análise de componentes principais (ACP), com uso do programa Canoco® v.5.0, que teve propósito de sintetizar a variação multidimensional dos mesmos em um diagrama, ordenando-os nos componentes, de acordo com suas similaridades em torno das variáveis utilizadas (Ter Braak, 1986).

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Os solos coletados apresentaram acidez fraca e uma boa fertilidade natural, conforme a

classificação de Alvarez et al. (1999) (Tabela 2). O teor de CO não variou entre as áreas manejadas e não manejada (Tabela 3), sugerindo que a adição dos resíduos vegetais provenientes do corte das árvores não promoveu alterações imediatas nos teores de matéria orgânica do solo (MOS). De acordo com Bayer et al. (2000), normalmente as interferências nos estoques de MOS são lentas e, por isso, costumam ser necessários estudos a médio e longo prazo para a melhor visualização de variações.

O N total mostrou diferenças entre os tratamentos, apresentando maior média na Caatinga não manejada ( $1,84 \text{ g kg}^{-1}$ ) (Tabela 3), o que demonstra que os manejos promoveram redução do teor de N do solo e que o período inicial foi suficiente para detectar alterações na quantidade deste elemento. Os menores valores de N total foram associados aos tratamentos CR e CS1, que não diferenciaram entre si. Matias et al. (2009) não encontraram diferenças no teor de N do solo ao compararem uma área recém-desmatada (15 dias) ( $0,9 \text{ g kg}^{-1}$ ) com uma área de floresta nativa ( $1,1 \text{ g kg}^{-1}$ ).

Os diferentes manejos adotados apresentaram diferença no acúmulo de serapilheira (Tabela 3), sendo que a testemunha (T) apresentou o maior valor ( $9,54 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) em relação aos diferentes manejos (média de  $5,0 \text{ Mg ha}^{-1}$ ). Valor próximo a média obtida nas áreas manejadas foi verificado por Lima et al. (2010) em Caatinga no Sul do Piauí, que observaram acúmulo de serapilheira no período seco de  $4,7 \text{ Mg ha}^{-1}$ .

Para a maioria dos atributos microbiológicos do solo, não houve variação significativa entre os tratamentos. Esse resultado pode estar relacionado ao fato das coletas e análises terem sido realizadas em curto período de tempo após o manejo, cerca de um ano,

**Tabela 3.** Carbono orgânico, nitrogênio total, serapilheira, carbono e nitrogênio da biomassa microbiana e respiração acumulada de solo sob Caatinga submetida a manejo florestal no município de Contendas do Sincorá - BA.

**Table 3.** Organic carbon, total nitrogen, litter, carbon and nitrogen of microbial biomass and soil respiration accumulated of Caatinga under forest management in Contendas do Sincorá - BA.

Tratamento	CO	N	SERAP	CBM	NBM	RA
	— g kg <sup>-1</sup> —		Mg ha <sup>-1</sup>		— µg g <sup>-1</sup> —	
CR <sup>(1)</sup>	13,40a	1,39bc	4,99b	42,28bc	27,44a	162,27a
CS1	12,93a	1,46b	5,18b	29,58c	26,67a	166,45a
CS2	12,11a	1,26c	4,84b	49,17b	31,03a	179,49a
T	12,50a	1,84a	9,54a	69,49a	45,56a	175,75a

<sup>(1)</sup> CR - Corte raso; CS1 - Corte seletivo 1; CS2- Corte seletivo 2; T - Testemunha; SERAP – Serapilheira; CO – C orgânico; N – N total; CBM – C da biomassa microbiana; NBM – N da biomassa microbiana; RA – Respiração acumulada. Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Fisher a 5 %.

Os teores de C da biomassa microbiana (CBM) variou entre os tratamentos (Tabela 3), sendo superior na Caatinga não manejada (69,49 µg g<sup>-1</sup>) em relação à Caatinga manejada (média de 40,34 µg g<sup>-1</sup>). O menor valor foi observado no CS1 e no CR sugere que a adoção desses manejos não estimulou o fornecimento contínuo de compostos orgânicos oriundos da vegetação, o que se refletiu em uma condição distinta da apresentada pela testemunha. Esses resultados corroboram com Pereira (2013), que, estudando o teor do CBM em diferentes períodos de uma área nativa de Caatinga em Pernambuco, que foi submetida ao desmatamento, relataram redução nos valores a partir de 106 dias após o desmatamento (620,5 a 76,7 µg g<sup>-1</sup>).

O N da biomassa microbiana (NBM) não apresentou diferença entre tratamentos, variando entre 45,56 µg g<sup>-1</sup> (T) e 26,67 µg g<sup>-1</sup> (CS1). Maia et al. (2008), estudando uma área preservada de Caatinga e diferentes usos do solo no estado do Ceará, encontraram resultados semelhantes. Esses

autores observaram que a mata nativa não apresentou variação significativa em relação aos manejos quanto ao teor de NBM (0,02 a 0,03 g dm<sup>-3</sup>, respectivamente).

A respiração acumulada (RA) variou de 162,27 a 175,75 µg g<sup>-1</sup>, não apresentando diferenças estatísticas entre tratamentos (Tabela 3). Martins et al. (2010), estudando solos sob Caatinga em diferentes condições de conservação no estado do Pernambuco, encontraram maiores médias de RA em áreas conservadas (3,25 µg kg<sup>-1</sup>) em relação as áreas degradadas (2,13 µg kg<sup>-1</sup>). Por outro lado, Nunes et al. (2009) não constataram variação entre as médias de RA em área de Caatinga (65,0 µg kg<sup>-1</sup>) quando comparada a áreas que foram suprimidas para cultivo agrícola (70,0 µg kg<sup>-1</sup>).

Em relação aos índices microbiológicos, em geral, verificou-se pequena variação nos resultados, sendo o quociente metabólico ( $qCO_2$ ) o único índice que apresentou diferença entre os tratamentos (Tabela 4). O  $qCO_2$  foi superior nos tratamentos CR e CS1 (média de 690,60 mg g<sup>-1</sup> dia) em relação a testemunha (365,91 mg g<sup>-1</sup>). Isso indica uma maior perda de C nas áreas submetidas a estes dois manejos, quando comparadas a área de Caatinga não manejada.

Índices elevados de quociente metabólico estão relacionados a maiores perdas de C do sistema na forma de CO<sub>2</sub> sendo estes, característicos de ecossistemas que foram submetidos a algum tipo de interferência ou estresse (Melloni et al., 2008). Nunes et al. (2009), estudando uma área de Caatinga no Ceará, encontraram um  $qCO_2$  menor para uma área de mata nativa (0,25 mg mg<sup>-1</sup> dia) quando comparada a uma área que foi desmatada para fins agrícolas (0,55 mg mg<sup>-1</sup> dia).

**Tabela 4.** Relações microbiológicas de solo sob Caatinga submetida a manejo florestal no município de Contendas do Sincorá - BA.

**Table 4.** Microbiological soil relations of Caatinga under forest management in Contendas do Sincorá - BA.

Tratamento	C:N mic	CBM:C	NBM:N	$qCO_2$
		%	%	$mg\ g^{-1}\ dia$
CR <sup>(1)</sup>	1,17a	0,04a	0,20a	632,81a
CS1	1,18a	0,03a	0,18a	748,38a
CS2	1,70a	0,08a	0,25a	524,55ab
T	1,88a	0,06a	0,25a	365,91b

<sup>(1)</sup> CR - Corte raso; CS1 - Corte seletivo 1; CS2- Corte seletivo 2; T - Testemunha; C:N mic – relação C da biomassa microbiana/N da biomassa microbiana; CBM:C – relação C da biomassa microbiana/C orgânico; NBM:N – relação N da biomassa microbiana/N total;  $qCO_2$  - Quociente metabólico. Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Fisher a 5 %.

A relação C:N microbiana apresentou média de 1,48. Esse resultado foi inferior ao encontrado por Vasconcellos et al. (2013) em área de Mata Atlântica (2,27). Segundo Gama-Rodrigues & Gama-Rodrigues (2008), essa relação pode ser utilizada como um índice para expressar a qualidade nutricional da MOS e a eficiência da biomassa microbiana em imobilizar CO e N do solo, sendo que menor o seu valor, maior é a eficiência da biomassa microbiana (BM).

O índice CBM:C variou de 0,03 a 0,08 % (Tabela 4), valores bem inferiores ao encontrado por Sampaio et al. (2008) em uma região de transição entre Caatinga e Cerrado (0,39 %). De acordo com Anderson & Domsch (1989), valores maiores de CBM:C representam uma maior ciclagem de nutrientes, e por consequência, uma maior eficiência na conversão de C orgânico em CBM.

O índice NBM:N apresentou média de 0,22 %, valor próximo ao encontrado por Xavier et

al. (2006) em área de transição entre Caatinga e Cerrado no estado do Ceará (0,21 %).

A análise de correlação entre atributos químicos e atributos microbiológicos do solo mostrou associações significativas. A serapilheira acumulada se correlacionou positivamente com a RA e com a relação C:N microbiana (Tabela 5), indicando a influência que a deposição de resíduos orgânicos exerce sobre o comportamento da comunidade de microrganismos do solo, por constituir fonte de energia e nutrientes.

**Tabela 5.** Coeficientes de correlação de Pearson entre as variáveis dos atributos do solo sob Caatinga submetida a manejo florestal no município de Contendas do Sincorá - BA.

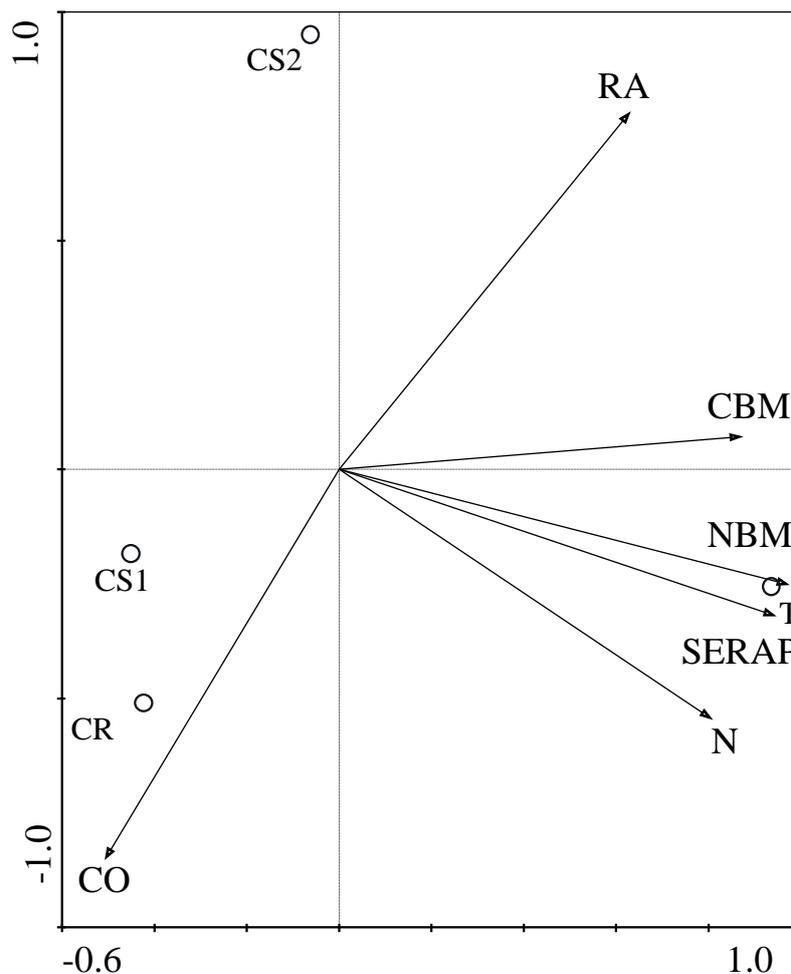
**Table 5.** Pearson correlation coefficients between the variables of soil attributes of Caatinga under forest management in Contendas do Sincorá - BA.

	SERAP	CO	N	CBM	NBM	C:N mic	RA	$qCO_2$	CBM:C
CO	-0,04 <sup>ns</sup>								
N	0,15 <sup>ns</sup>	-0,14 <sup>ns</sup>							
CBM	0,24 <sup>ns</sup>	-0,06 <sup>ns</sup>	0,45 <sup>**</sup>						
NBM	-0,17 <sup>ns</sup>	0,05 <sup>ns</sup>	0,43 <sup>**</sup>	0,13 <sup>ns</sup>					
C:N mic	-0,49 <sup>**</sup>	-0,07 <sup>ns</sup>	0,12 <sup>ns</sup>	0,67 <sup>***</sup>	-0,57 <sup>***</sup>				
RA	0,36 <sup>*</sup>	-0,32 <sup>ns</sup>	0,30 <sup>ns</sup>	0,63 <sup>***</sup>	-0,05 <sup>ns</sup>	0,60 <sup>***</sup>			
$qCO_2$	-0,02 <sup>ns</sup>	-0,04 <sup>ns</sup>	-0,36 <sup>*</sup>	-0,90 <sup>***</sup>	-0,26 <sup>ns</sup>	-0,48 <sup>**</sup>	-0,33 <sup>*</sup>		
CBM:C	0,27 <sup>ns</sup>	-0,40 <sup>*</sup>	0,42 <sup>*</sup>	0,92 <sup>***</sup>	0,11 <sup>ns</sup>	0,62 <sup>***</sup>	0,678 <sup>**</sup>	-0,81 <sup>***</sup>	
NBM:N	-0,30 <sup>ns</sup>	0,10 <sup>ns</sup>	0,04 <sup>ns</sup>	-0,03 <sup>ns</sup>	0,91 <sup>***</sup>	-0,68 <sup>***</sup>	-0,20 <sup>ns</sup>	-0,16 <sup>ns</sup>	-0,04 <sup>ns</sup>

\*, \*\* e \*\*\*: Significativos a 10, 5 e 1 %; SERAP - serapilheira; CO - carbono orgânico; CBM - carbono da biomassa microbiana; NBM - nitrogênio da biomassa microbiana; C:N mic - relação C/N microbiana; RA - respiração microbiana acumulada;  $qCO_2$  - quociente metabólico; CBM:C - relação C da biomassa microbiana/C orgânico; NBM:N - relação N da biomassa microbiana/N total.

A RA também apresentou associação positiva com o CBM e com o CBM:C do solo (Tabela 5). Esta correlação indica que maiores taxas de decomposição não implicaram em menores acúmulos de C na biomassa microbiana do solo e que a BM é eficiente na conversão do C orgânico do solo em C microbiano.

A análise de componentes principais (ACP), considerando os valores de serapilheira acumulada e de CO, N, CBM, NBM e RA (Figura 1), mostrou autovalores de 64,3 % para o eixo horizontal (CP1) e 29,7 % para o eixo vertical (CP2), o que representa 94 % da variância total acumulada nos dois primeiros eixos. Com base nesta análise foi possível identificar os atributos do solo que mais influenciaram na diferenciação dos quatro tratamentos avaliados.



CR - Corte raso; CS1 - Corte seletivo 1; CS2- Corte seletivo 2; T - Testemunha; CO – C orgânico; N – nitrogênio total; RA – respiração acumulada; CBM e NBM – C e N da biomassa microbiana; SERAP – serapilheira.

**Figura 1.** Diagrama de ordenação produzido pela análise de componentes principais dos atributos do solo sob Caatinga submetida a manejo florestal no município de Contendas do Sincorá - BA.

**Figure 1.** Diagram produced by principal component analysis of soil attributes of Caatinga under forest management in Contendas do Sincorá - BA.

A dispersão gráfica dos tratamentos em relação aos eixos, demonstra dissimilaridade da Caatinga não manejada, posicionada à direita do gráfico e próxima a CP1, em relação as áreas

manejas, que agruparam-se à esquerda (Figura 1). Além disso, nota-se aproximação entre os tratamentos CR e CS1, que ficaram posicionados no quadrante inferior esquerdo. O primeiro mais próximo de CP1 e o segundo entre CP1 e CP2. Isso indica similaridade entre estes dois manejos quanto a nível interferência ocasionada nos atributos do solo.

Também foi possível observar um distanciamento do CS2, que ficou posicionado no quadrante superior esquerdo e mais próximo a CP2, o que mostra diferenciação em relação aos outros dois manejos avaliados. Esse posicionamento do CS2 sugere que esse tratamento promoveu um menor impacto negativo nos atributos químicos e microbiológicos do solo quando comparado aos outros dois manejos. A RA e o CO foram as variáveis mais relevantes para explicar a localização deste tratamento mais próximo a CP2, apresentando valores de correlação de -0,60 e 0,65, respectivamente.

Já o posicionamento dos tratamentos CS1 e T, próximos a CP1 (Figura 1) foram mais explicados pelas variáveis N (0,42), CBM (0,46), NBM (0,49) e serapilheira (0,48), indicando que esses atributos foram mais discriminantes para detectar as alterações ocasionadas pelo manejo florestal da Caatinga. Assim, a dissimilaridade da testemunha em relação aos demais tratamentos é decorrência dos maiores valores de CBM, NBM e serapilheira verificados nesse tratamento, indicando um maior equilíbrio da área.

Os resultados relacionados a CP1 também caracterizam a estreita associação entre CBM e NBM e destas variáveis com a serapilheira acumulada e com o nitrogênio do solo. Martins et al. (2010), utilizando a ACP para avaliar áreas da Caatinga com diferentes níveis de degradação, encontraram o CBM como um dos atributos mais sensíveis na distinção dos ambientes.

## **CONCLUSÕES**

O C da biomassa microbiana foi um indicador sensível de alterações ocasionadas pelo manejo florestal.

Dentre os índices microbianos, o quociente metabólico foi mais discriminante, indicando

que os manejos corte raso e corte seletivo por diâmetro promoveram maiores perdas de carbono nos em relação a Caatinga não manejada.

A análise conjunta dos atributos microbianos mostrou similaridade entre o corte raso e o corte seletivo por diâmetro, o que denota que estes manejos ocasionaram maior alteração no solo.

## REFERÊNCIAS

Alvarez VH, Novais RF, Barros NF, Cantarutti RB, Lopes AS. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: Ribeiro AC, Guimarães PTG, Alvarez VH. *Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 5ª Aproximação*. Viçosa – MG; 1999.

Anderson TH, Domsch KH. Ratios of microbial biomass carbon to total organic carbon in arable soils. *Soil Biology and Biochemistry* 1989; 21:471-479.

Anderson JPE, Domsch KH. The metabolic quotient of CO<sub>2</sub> ( $qCO_2$ ) 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* 1993; 25(3): 393-395.

Araújo EA, Ker JC, Neves JCL, Lani JL. Qualidade do solo: conceitos, indicadores e avaliação. *Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias* 2012; 5: 187-206.

Barreto PAB, Gama-Rodrigues EF, Gama-Rodrigues AC, Barros NF, Fonseca S. Atividade microbiana, carbono e nitrogênio da biomassa microbiana em plantações de Eucalipto, em sequência de idades. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 2008; 2: 611-619.

Bayer C, Mielniczuk J, Martin-Neto L. Efeito de sistemas de preparo e de cultura na dinâmica da matéria orgânica e na mitigação das emissões de CO<sub>2</sub>. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 2000; 24: 599-607.

Brasil. Decreto s/nº de 21 de setembro de 1999. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*, Brasília, DF (1999 set. 21); Art. 1-5.

Brasil. Lei 4.771 de 15 de setembro de 1965. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*, Brasília, DF (1965 set. 15); Art. 1-50.

Brasil. Lei 12.651 de 25 de maio de 2012. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*, Brasília, DF (2012 maio 25); Art. 1-84.

Brasil. *Manejo sustentável dos recursos florestais da Caatinga / MMA*. Natal: MMA; 2008.

Costa CCA, Camacho RGV, Macedo ID, Silva PCM. Análise comparativa da produção de serapilheira em fragmentos arbóreos e arbustivos em área de Caatinga na Flona de Açu-RN. *Revista Árvore* 2010; 34: 259-265.

Cunha EQ, Stone LF, Ferreira EPB, Didonet AD, Moreira JAA. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo sob produção orgânica impactados por sistemas de cultivo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 2012; 16:56-63.

D'Andréa AF, Silva MLN, Curi N, Siqueira JO, Carneiro MAC. Atributos biológicos indicadores da qualidade do solo em sistemas de manejo na região do Cerrado no sul do Estado de Goiás. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 2002; 26: 913-923.

Embrapa Informação Tecnológica. *Preservação e uso da Caatinga*. Embrapa Semi-Árido. Brasília, DF. 39 p. il. (ABC da Agricultura Familiar, 16). 2007.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. *Manual de métodos de análise de solo*. 2.ed. Rio de Janeiro. 1997.

Fialho JS, Gomes VFF, Oliveira TS, Silva Junior JMT. Indicadores de qualidade do solo em áreas sob vegetação natural e cultivo de bananeira na Chapada do Apodi – CE. *Revista Ciência Agronômica* 2006; 37: 250-257.

Fracetto FJC, Fracetto GGM, Cerri CC, Feigl BJ, Siqueira Neto M. Estoques de carbono e nitrogênio no solo cultivado com mamona na Caatinga. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 2012, 36:1545-1552.

Gama-Rodrigues EF, Gama-Rodrigues AC. Biomassa microbiana e ciclagem de nutrientes. In: Santos GA, Silva LS, Canellas LP, Camargo FAO. *Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais & subtropicais*. 2 ed; 2008.

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

Guerra AMN, Pessoa MF, Maracajá PB. Estudo fitossociológico em dois ambientes da Caatinga localizada no assentamento Moacir Lucena, Apodi-RN – BRASIL. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável* 2014; 9(1): 141 -150.

Jenkinson DS, Powlson DS. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil. V. Method

for measuring soil biomass. *Soil Biology and Biochemistry* 1976; 8: 209-213.

Joergensen RG, Brookes PC. 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* 1990; 22:1033-1027.

Lima SS, Leite LFC, Aquino AM, Oliveira FC, Castro AAJF. Serapilheira e teores de nutrientes em Argissolo sob diferentes manejos no norte do Piauí. *Revista Árvore* 2010; 34(1): 75-84.

Maia SMF, Xavier FAS, Oliveira TS, Mendonça ES, Araújo Filho JA. Frações de nitrogênio em Luvissole sob sistemas agroflorestais e convencional no semi-árido Cearense. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 2008; 32(1): 381-392.

Martins CM, Galindo ICL, Souza ER, Poroca H. A. Atributos químicos e microbianos do solo de áreas em processo de desertificação no semiárido de Pernambuco. *Revista Brasileira de Ciências do Solo* 2010; 34:1883-1890.

Matias MCB, Salviano AAC, Leite LFC, Araújo ASF. Biomassa microbiana e estoques de C e N do solo em diferentes sistemas de manejo, no Cerrado do Estado do Piauí. *Acta Scientiarum Agronomy* 2009; 31(3): 517-521.

Melloni R, Meloni EGP, Alvarenga MIN. Indicadores da qualidade do solo. *Informe Agropecuário* 2008; 29:17-29.

Menezes RSC, Sampaio EVSB, Giongo V, Pérez-Marin AM. Biogeochemical cycling in terrestrial ecosystems of the Caatinga Biome. *Brazilian Journal of Biology* 2012; 72: 643-653.

Ministério do Meio Ambiente - MMA. *Plano de Manejo da Floresta Nacional Contendas do Sincorá*. 2006. Available from: [http://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/imgs-unidades-coservacao/contendas\\_do\\_sincora1.pdf](http://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/imgs-unidades-coservacao/contendas_do_sincora1.pdf).

Monteiro MT, Gama-Rodrigues EF. Carbono, nitrogênio e atividade da biomassa microbiana em diferentes estruturas de serapilheira de uma floresta natural. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 2004; 28: 819-826.

Nunes LAPL, Araújo Filho JÁ, Holanda Junior EV, Menezes RIQ. Impacto da queimada e de enleiramento de resíduos orgânicos em atributos biológicos de solo sob caatinga no semi-árido nordestino. *Revista Caatinga* 2009; 22:131-140.

Pereira VL. *Impacto do desmatamento da caatinga sobre a comunidade microbiana do solo* [dissertação]. Recife: Universidade Federal de Pernambuco; 2013.

Sampaio DB, Araújo ASF, Santos VB. Avaliação de indicadores biológicos de qualidade do solo sob sistemas de cultivo convencional e orgânico de frutas. *Ciência e agrotecnologia* 2008; 32(2): 353-359.

Silva JMC, Tabarelli M, Fonseca MT, Lins LV. *Biodiversidade da caatinga: áreas e ações prioritárias para a conservação*. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente: Universidade Federal de Pernambuco; 2003.

Silva RR, Silva MLN, Cardoso EL, Moreira FMS, Curi N, Alovise AM. T. Biomassa e atividade microbiana em solo sob diferentes sistemas de manejo na região fisiográfica Campos das Vertentes – MG. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 2010; 34:1585-1592.

Souto PC, Souto JS, Santos RV, Bakke IA, Sales FCV, Souza BV. Taxa de decomposição da serapilheira e atividade microbiana em área de Caatinga. *Cerne* 2013; 19(4): 559-565.

Souza AL, Lopes CPB. *Florestas nativas: estrutura, dinâmica e manejo*. Viçosa, MG: Ed. UFV; 2013.

Tate KR, Ross DJ, Feltham CW. A direct extraction method to estimate soil microbial C: Effects of experimental variables and some different calibration procedures. *Soil Biology and Biochemistry* 1988; 20:329-335.

Ter Braak CJF. Canonical correspondence analysis: A new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis. *Ecology* 1986; 67: 1167-1179.

Vasconcellos RLF, Bini D, Paula AM, Andrade JB, Cardoso EJBN. Nitrogênio, carbono e compactação do solo como fatores limitantes do processo de recuperação de matas ciliares. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 2013; 37:1164-1173.

Xavier FAZ, Maia SMF, Oliveira TS, Mendonça ES. Biomassa microbiana e matéria orgânica leve em solos sob sistemas agrícolas orgânico e convencional na Chapada da Ibiapaba – CE. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 2006; 30: 247-258.

**ARTIGO 2:**

**Frações oxidáveis do carbono orgânico do solo sobre Caatinga submetida a  
manejo florestal**

*O artigo segue as normas da Revista Ceres.*

## **Frações oxidáveis do carbono orgânico do solo sobre Caatinga submetida a manejo florestal**

### **RESUMO**

O uso inadequado dos recursos da Caatinga ocasiona alterações na qualidade da matéria orgânica do solo, assim como nas suas propriedades físicas, químicas e biológicas. O manejo incorreto desse bioma também causa alterações no carbono orgânico do solo (CO) e nas suas respectivas frações, o que provoca modificações na qualidade do CO e na ciclagem de nutrientes do solo. O objetivo do presente estudo foi avaliar a distribuição das diferentes frações do CO em solo sob Caatinga submetida a diferentes manejos florestais na Floresta Nacional Contendas do Sincorá – BA. Foram avaliados três tipos de manejo florestal (corte raso, corte seletivo de árvores com diâmetro a altura do peito superior a 5 cm e corte seletivo por espécie), utilizando como testemunha a Caatinga não manejada. As amostras de solo foram coletadas em parcelas de 20 x 20 m, na profundidade de 0-10 cm. Foram determinadas as frações oxidáveis do CO. As frações mais lábeis do CO (F1+F2) apresentaram redução na Caatinga manejada em relação a não manejada, sendo indicadores discriminantes de diferenças entre os tipos de manejo estudados. As frações mais recalcitrantes (F3 e F4) não mostraram efeito do manejo florestal nas áreas.

**Palavras-chave:** Matéria orgânica; fracionamento químico; carbono lábil.

### **Carbon organic in oxidizable fractions in Caatinga under forest management**

### **ABSTRACT**

The inappropriate use of the Caatinga of resources leads to changes in the quality of the organic matter in the soil as well as in their physical, chemical and biological properties. The incorrect management of this biome also causes changes in soil organic carbon (CO) and its fractions, which

causes changes in the quality of CO and cycling of soil nutrients. The aim of this study was to evaluate the distribution of the different fractions of soil organic carbon in soil of Caatinga under different forest management in Floresta Nacional Contendas do Sincorá - BA. It evaluated three types of forest management (clearcut, selective cut of trees with diameter at breast height greater than 5 cm and selective cut by species), using the Caatinga not managed with the control. Soil samples were collected in 20 x 20 m plots at a depth of 0-10 cm. It determined the oxidizable fractions CO. The labile fractions of CO (F1+F2) showed reduction in Caatinga under managed relative to unmanaged, and differential indicators of differences between types of management studies. The most recalcitrant fractions (F3 e F4) did not show the effect of forest management areas, possibly because the initial management period, which was not enough to notice changes.

**Key words:** organic matter, chemical fractionation, labile carbon.

## INTRODUÇÃO

A Caatinga, bioma característico do Nordeste do Brasil, estende-se por oitos estados desta região até o norte do estado de Minas Gerais (Guerra *et al.*, 2014). Apesar de ser um bioma com representativa biodiversidade, a exploração de madeira para lenha e carvão e a abertura de áreas para cultivos agrícolas vem acarretando a redução da sua cobertura vegetal.

O manejo e o uso incorreto da vegetação da Caatinga, além de ocasionar a degradação dos recursos naturais do bioma, provoca alterações na fertilidade natural dos seus solos (Araújo *et al.*, 2011). Uma das alternativas para a exploração dos recursos naturais da Caatinga de forma sustentável é o Manejo Florestal Sustentável (MF), que é regulamentado por lei desde o Código Florestal de 1965 (Brasil, 1965). O MF é um conjunto de intervenções realizadas em uma área florestal, baseando-se no potencial existente da floresta e visando uma produção sustentável do ponto de vista econômico, ambiental e social (Brasil, 2008). É considerado um grande aliado na conservação da biodiversidade.

A matéria orgânica do solo (MOS), composta por resíduos orgânicos em diversos estágios de decomposição (Roscoe & Machado, 2002), costuma responder às alterações decorrentes da implantação de diferentes sistemas de manejo ou cultivo (Martins *et al.*, 2009). O carbono orgânico (CO) é um dos principais componentes da MOS e, por essa razão, o conhecimento a respeito das suas alterações pode auxiliar na escolha dos melhores sistemas de manejo a serem adotados (Steiner *et al.*, 2011; Guareschi *et al.*, 2013). As frações do CO são consideradas indicadores mais sensíveis de mudanças no solo quando comparadas aos seus teores totais (Xavier *et al.*, 2006).

Diferentes metodologias são empregadas para fracionar o CO. O método proposto por Chan *et al.* (2001) consiste em um fracionamento químico, que permite a separação de quatro frações (F1, F2, F3 e F4) com graus crescentes de oxidação de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (3, 6, 9 e 12 mol L<sup>-1</sup>, respectivamente) (Guareschi *et al.*, 2013). As frações F1 e F2 são associadas a maior disponibilidade de nutrientes e são consideradas as de maior labilidade no solo (Maia *et al.*, 2007). Por esse motivo, estas frações costumam ser mais responsivas às alterações no solo (Batista *et al.*, 2014). Já as frações F3 e F4 são menos lábeis e estão mais relacionadas com compostos de maior estabilidade química e massa molar (Rangel *et al.*, 2008).

Portanto, compreender como se dá a distribuição das frações do CO em áreas de floresta manejada pode evidenciar alterações no solo e auxiliar na indicação do manejo florestal mais adequado à manutenção das características do meio. Assim, este trabalho tem por objetivo avaliar a distribuição das diferentes frações do CO do solo sob Caatinga submetida a diferentes tipos de manejo florestal.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

O estudo foi conduzido na Floresta Nacional (FLONA) Contendas do Sincorá, no município de Contendas do Sincorá, na região Sudoeste do da Bahia. A FLONA abrange uma área de 11.216 ha e tem sua vegetação predominante classificada como Caatinga Arbórea, em estágio sucessional tardio, já que sua área não passou por nenhum tipo de intervenção antrópica desde

1997 (MMA, 2006). Constitui a primeira unidade de conservação dessa categoria no estado da Bahia, sendo criada pelo Decreto s/nº de 21 de setembro de 1999.

A região apresenta relevo plano e clima semiárido quente (BSwh), segundo a classificação de Köppen. O solo da área de estudo pertence classe Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico (MMA, 2006) e apresenta textura franca.

A área de estudo na FLONA está inserida na Zona de Manejo dos Recursos, definida no Plano de Manejo da unidade de conservação, onde é prevista a realização de pesquisa, programas de manejo e geração de tecnologias. É composta por três condições de corte em manejo florestal e uma condição de caatinga não manejada, que foi utilizada como testemunha (Tabela 1).

Tabela 1: Características dos tratamentos avaliados em área de Caatinga na Floresta Nacional Contendas do Sincorá - BA.

<b>Tratamento</b>	<b>Características</b>
Corte raso (CR)	Retirada de todos os arbustos e árvores, independentemente do tamanho ou da espécie.
Corte seletivo 1 (CS1)	Corte seletivo de todas as árvores com diâmetro a altura do peito (DAP) superior a 5 cm.
Corte seletivo 2 (CS2)	Corte seletivo das espécies <i>Commiphora leptophloeos</i> (Mart.) J.B. Gillett, <i>Pseudobombax simplicifolium</i> A. Robyns e <i>Jatropha mollissima</i> (Pohl.) Baill.
Testemunha (T)	Caatinga não manejada, utilizada como referência.

O manejo florestal foi realizado em maio de 2015, a partir da instalação de dezesseis parcelas de 20 x 20 m, que foram lançadas e demarcadas na área experimental, totalizando quatro repetições por tratamento.

As coletas de solo foram realizadas em maio de 2016. Em cada uma das parcelas experimentais, coletaram-se 10 amostras simples de solo (camada 0-10 cm) para formar uma amostra composta, as quais foram analisadas e caracterizadas quimicamente, conforme os procedimentos descritos pela Embrapa (1997): 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>; C orgânico por oxidação com K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 0,167 mol L<sup>-1</sup> em meio ácido (Walkley & Black, 1947). Para a análise granulométrica, foi utilizado o método da pipeta (Tabela 2).

Tabela 2: Caracterização química e composição granulométrica do solo sob Caatinga submetida a manejo florestal no município de Contendas do Sincorá - BA.

Trat. <sup>(1)</sup>	pH	P	N	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>	g kg <sup>-1</sup>	_____	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	_____	_____	_____	g/kg <sup>-1</sup>	_____
CR	6,30	3,00	1,39	0,21	3,80	1,70	1,90	200	360	440
CS1	6,40	3,00	1,46	0,21	3,80	1,80	2,00	180	410	410
CS2	6,40	4,00	1,26	0,21	4,10	1,60	2,00	210	370	420
T	6,60	4,00	1,84	0,20	4,80	1,90	1,70	190	430	380

<sup>(1)</sup> Trat. – Tratamento; CR – Corte raso; CS1 – Corte seletivo 1; CS2 – Corte seletivo 2; T – Testemunha.

As amostras de solo inicialmente foram secas ao ar, homogêneas e passadas em peneira com malha de 2 mm. Posteriormente, foram maceradas com o auxílio de um almofariz de porcelana.

As frações do CO foram determinadas por oxidação úmida utilizando o método proposto por Chan *et al.* (2001) com alterações propostas por Mendonça & Matos (2005) e outras adaptações. Foram adicionados a frascos de erlenmeyer: 0,5 g de solo peneirado e macerado, 10

mL de  $K_2Cr_2O_7$  0,167 mol L<sup>-1</sup> e quantidades de ácido sulfúrico concentrado de 2,5, 5 e 10 mL, além dos 20 mL proposto por Walkley e Black (1947). Esse fracionamento resultou no preparo de quatro soluções aquosas ácidas resultantes das proporções 0,25:1, 0,5:1, 1:1 e 2:1, que corresponderam a 3, 6, 9 e 12 mol L<sup>-1</sup> de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, respectivamente. A oxidação foi realizada com o auxílio de uma fonte externa de calor (150 °C) e, posteriormente, a titulação dos extratos obtidos foi feita com solução de Fe(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>.H<sub>2</sub>O 0,5 mol L<sup>-1</sup>, utilizando-se três gotas do indicador difenilamina.

A partir da comparação das concentrações de C obtidas com graus crescentes de oxidação, foram determinadas quatro frações: Fração 1 (F1) - CO oxidável em solução de 3 mol L<sup>-1</sup> de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>; Fração 2 (F2) - CO oxidável correspondente a diferença entre o CO obtido nas soluções de 6 e 3 mol L<sup>-1</sup> de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>; Fração 3 (F3) - CO oxidável obtido pela diferença entre o CO extraído na solução de 9 mol L<sup>-1</sup> e de 6 mol L<sup>-1</sup> de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>; e Fração 4 (F4) - CO oxidável encontrado com a diferença entre o CO extraído nas soluções de 12 e 9 mol L<sup>-1</sup> de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. As duas primeiras frações (F1 e F2) são consideradas mais lábeis e as demais (F3 e F4) mais recalcitrantes.

Os dados foram analisados quanto à homogeneidade das variâncias dos erros, pelo teste de Cochran, e da normalidade, pelo teste de Lilliefors. Posteriormente, constatados que os dados foram paramétricos, foram realizadas comparações múltiplas das médias dos tratamentos pelo teste LSD de Fisher a 5 % de significância, quando a análise de variância mostrou resultado significativo no teste F ( $p < 5\%$ ). Além disso, foram estabelecidas correlações de Pearson a 5% de significância entre os teores de argila, CO total e das frações. As análises estatísticas foram realizadas empregando-se o programa estatístico SAEG® v.9.1.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

O solo da área estudada apresentou teores de argila entre 180 e 210 g kg<sup>-1</sup> (Tabela 2) e teor médio de CO de 16,11 kg<sup>-1</sup> (Tabela 3). Esse valor é superior a média observada por Menezes *et al.* (2012) em Argissolo sob Caatinga com cerca de 147 g kg<sup>-1</sup> de argila (8,9 g kg<sup>-1</sup> de CO). De acordo

com Costa *et al.* (2004), em solos argilosos ocorre uma maior proteção física da matéria orgânica do solo (MO) em relação a decomposição pelos microorganismos edáficos, o que pode explicar os maiores valores observados de CO no presente estudo.

Tabela 3: Carbono orgânico total e frações de carbono oxidáveis em solo sob Caatinga submetida a manejo florestal no município de Contendas do Sincorá - BA.

Tratamento	CO <sup>(2)</sup>	F1	F2	F3	F4	F1+F2	F3+F4
g kg <sup>-1</sup>							
CR <sup>(1)</sup>	16,06a	5,19a	1,41c	4,40a	2,08a	6,59c	6,48a
CS1	16,22a	5,70a	3,79b	1,99a	4,98a	9,49b	6,97a
CS2	15,69a	6,19a	1,82bc	2,65a	3,23a	8,01bc	5,89a
T	16,48a	6,45a	5,83a	3,14a	0,88a	12,28a	4,05a

(1) CR - Corte raso; CS1 - Corte seletivo 1; CS2- Corte seletivo 2; T - Testemunha; <sup>(2)</sup>CO – C orgânico; F1 – C oxidado por K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> em meio ácido de 3 mol L<sup>-1</sup> H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>; F2 - diferença do C oxidado por K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> em meio ácido 6 e 3 mol L<sup>-1</sup> H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>; F3 - diferença do C oxidado por K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> em meio ácido com 9 e 6 mol L<sup>-1</sup> H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>; F4 - diferença do C oxidado por K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> em meio ácido com 12 e 9 mol L<sup>-1</sup> H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>; F1+F2 – frações lábeis; F3+F4 – frações recalcitrantes. Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Fisher a 5 %.

Os teores de CO do solo não variaram significativamente entre os tratamentos, indicando que os diferentes manejos não propiciaram alterações em curto prazo na matéria orgânica do solo. Esse resultado era esperado, tendo em vista que o manejo das áreas foi realizado a apenas 12 meses da ocasião de coleta. Segundo Bayer *et al.* (2000), as interferências ocasionadas pelo manejo nos estoques de MO são consideradas lentas, sendo necessários estudos a médio e longo prazo para a melhor visualização desse comportamento.

A fração mais lábil (F1) contribuiu, em média, com 39 % do teor de CO total do solo, não diferindo significativamente entre os tratamentos. Em solos florestais, as maiores proporções do CO encontradas nessa fração, em comparação com as demais, são devido a presença de resíduos vegetais que apresentam maior biodisponibilidade e fácil mineralização (Rangel *et al.*, 2008; Barreto *et al.*, 2011). O teor médio de C encontrado na F1 foi superior ao observado por Maia *et al.* (2007) em área de Caatinga no Ceará (4,1 g kg<sup>-1</sup>).

A fração F2 contribuiu em média com 22 % do CO e apresentou variação entre os tratamentos (Tabela 3). O maior valor foi observado na testemunha (5,83 g kg<sup>-1</sup>) em relação as áreas manejadas, que variaram entre si, demonstrando que a Caatinga não manejada favoreceu o acúmulo de C nessa fração. O tratamento CR, que não diferiu do corte seletivo 2 (CS2), apresentou o menor teor de C nesta fração (1,41 g kg<sup>-1</sup>) entre os manejos. De acordo com Mendonça & Matos (2005), as frações mais lábeis do CO (F1 e F2) são capazes de indicar o resultado que as diferentes práticas de manejo podem ocasionar no teor de CO do solo.

A soma das frações F1+F2 representou, em média, 61% do C orgânico do solo. Maiores proporções do CO nas frações mais lábeis (F1+F2) indicam que maiores entradas de MO através da decomposição dos resíduos vegetais (Rangel *et al.*, 2008).

O maior valor de F1+F2 foi observado nas áreas de Caatinga não manejada (12,28 g kg<sup>-1</sup>), enquanto o menor valor foi encontrado no tratamento CR (6,59 g kg<sup>-1</sup>), mas este não diferiu do CS2, que não se diferenciou do CS1. Isso sugere que todos manejos promoveram redução do teor de C nessas frações, provavelmente em decorrência da retirada parcial ou total da vegetação, que ocasionou diminuição do aporte de resíduos vegetais. De acordo com Guareschi *et al.* (2013), o aporte de resíduos vegetais no solo desencadeia alterações na qualidade e conteúdo da MO, o que pode promover alterações no teor de CO das frações mais lábeis.

As frações F3 e F4 não variaram entre os tratamentos (Tabela 3). A contribuição dessas frações foi de 20 % e 19 % do teor de CO, respectivamente. É possível que este resultado esteja associado ao fato das coletas de solo terem sido realizadas em curto tempo após o manejo florestal,

apenas um ano, que não estaria sendo suficiente para ocasionar diferenças no acúmulo de C das frações recalcitrantes.

Segundo Loss *et al.* (2010) é desejável que haja um balanço entre os teores de CO das frações com maior disponibilidade de nutrientes (F1 e F2) em relação as frações responsáveis pela proteção física e química da MOS (F3 e F4). Com base nesta informação e de acordo com a tabela 3, o solo sob a caatinga não manejada apresenta mais MO de maior labilidade em relação a quantidade de MO mais recalcitrante. Martins *et al.* (2015) encontraram um balanço desfavorável das frações oxidáveis em área de ecótono com presença de Caatinga, Cerrado e Mata Atlântica, onde os valores das frações recalcitrantes (21,8 g kg<sup>-1</sup>) foram superiores as frações lábeis (13,1 g kg<sup>-1</sup>).

A análise de correção entre serapilheira acumulada, C orgânico do solo e frações do carbono mostrou apenas uma associação significativa. O CO se correlacionou positivamente apenas com a fração F1 (Tabela 4), o que pode ser explicado pela maior influência desta fração na composição do C orgânico do solo, representando maior proporção quando comparada com as outras frações (Tabela 3).

Tabela 4: Coeficientes de correlação de Pearson entre as variáveis dos atributos do solo sob Caatinga submetida a manejo florestal no município de Contendas do Sincorá - BA.

	CO	SERAP	F1	F2	F3
SERAP	-0,12 <sup>ns</sup>				
F1	0,70***	-0,06 <sup>ns</sup>			
F2	0,14 <sup>ns</sup>	-0,08 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>		
F3	-0,09 <sup>ns</sup>	-0,09 <sup>ns</sup>	-0,23 <sup>ns</sup>	-0,01 <sup>ns</sup>	
F4	0,07 <sup>ns</sup>	-0,30 <sup>ns</sup>	0,16 <sup>ns</sup>	-0,27 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>

\*, \*\* e \*\*\*: Significativos a 10, 5 e 1%; CO: carbono orgânico total; SERAP: serapilheira; F1 – C oxidado por K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> em meio ácido de 3 mol L<sup>-1</sup> H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>; F2 - diferença do C oxidado por K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>

em meio ácido 6 e 3 mol L<sup>-1</sup> H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>; F3 - diferença do C oxidado por K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> em meio ácido com 9 e 6 mol L<sup>-1</sup> H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>; F4 - diferença do C oxidado por K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> em meio ácido com 12 e 9 mol L<sup>-1</sup> H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.

Os resultados obtidos neste trabalho revelam que o manejo florestal não ocasiona grandes alterações de curto prazo na qualidade do C orgânico do solo. Sendo assim, estudos futuros devem ser realizados para avaliar a influência do tempo de realização do manejo na dinâmica da matéria orgânica e distribuição das frações do C orgânico do solo.

## **CONCLUSÕES**

Os teores de C orgânico das frações mais lábeis (F1+F2) mostraram redução na Caatinga manejada em relação a não manejada, todavia não discriminou diferenças entre os diferentes tipos de manejo estudados.

As frações mais recalcitrantes (F3 e F4) não foram sensíveis às alterações ocasionadas pelo manejo.

## **REFERÊNCIAS**

Araújo ER, Silva TO, Menezes RSC, Fraga VS & Sampaio EVSB (2011) Biomassa e nutrição mineral de forrageiras cultivadas em solos do semiárido adubados com esterco. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 5:890–895.

Barreto PAB, Gama-Rodrigues EF, Gama-Rodrigues AC, Fontes AG, Polidoro JC, Moço MKS, Machado RCR & Baligar VC (2011) Distribution of oxidizable organic C fractions in soils under cacao agroforestry systems in Southern Bahia, Brazil. *Agroforestry systems*, 81:213–220.

Batista I, Correia MEF, Pereira MG, Bieluczyk W, Schiavo JA & Rouws JRC (2014) Frações

oxidáveis do carbono orgânico total e macrofauna edáfica em sistema de integração lavoura-pecuária. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 38:797-809.

Bayer C, Mielniczuk J & Martin-Neto L (2000) Efeito de sistemas de preparo e de cultura na dinâmica da matéria orgânica e na mitigação das emissões de CO<sub>2</sub>. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 24:599-607.

Brasil (1999) Decreto s/nº, de 21 de setembro de 1999. Dispõe sobre a criação da Floresta Nacional Contendas do Sincorá. DOU, 22/09/1999, Artigo 1-5.

BRASIL. Lei 4.771 de 15 de setembro de 1965. Institui o novo Código Florestal. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*, Brasília, DF, 15 set 1965. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L4771.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L4771.htm)>. Acesso em 01 abr. 2015.

Brasil (2008) Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Biodiversidade e Florestas. Departamento de Florestas. Programa Nacional de Florestas. Unidade de Apoio do PNF no Nordeste. Manejo sustentável dos recursos florestais da Caatinga / MMA. Secretaria de Biodiversidade e Florestas. Departamento de Florestas. Programa Nacional de Florestas. Unidade de Apoio do PNF no Nordeste. Natal: MMA, 2008. 28p.

Chan KY, Boowman A & Oates A (2001) Oxidizable organic carbon fractions and soil quality changes in an oxic paleustalf under different pasture leys. *Soil Science*, 166:61–67.

Costa FS, Bayer C, Albuquerque JA & Fontoura SM (2004) Aumento da matéria orgânica num Latossolo Bruno em plantio direto. *Ciência Rural*, 34:103-107.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Manual de métodos de análise de solo. 2.ed. Rio de Janeiro. 1997.

Guareschi RF, Pereira MG & Perin A (2013) Oxidizable carbon fractions in Red Latosol under different management systems. *Revista Ciência Agronômica*, 44:242-250.

Guerra AMN, Pessoa MF & Maracajá PB (2014) Estudo fitossociológico em dois ambientes da Caatinga localizada no assentamento Moacir Lucena, Apodi-RN – BRASIL. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, 9:141 -150.

Loss A, Moraes AGL, Pereira GV, Silva EMR & Anjos LHC (2010) Carbono, matéria orgânica leve e frações oxidáveis do carbono orgânico sob diferentes sistemas de produção orgânica. *Comunicata Scientiae*, 1:57-64.

Loss A, Pereira MG, Costa EM & Beutler SJ (2014) Frações granulométricas e oxidáveis de matéria orgânica sob diferentes sistemas de uso do solo, no Paraná, Brasil. *Bioscience Journal*, 30:43-54.

Maia SMF, Xavier FAS, Oliveira TS, Mendonça ES & Araújo Filho JA (2007) Organic carbon pools in a Luvisol under agroforestry and conventional farming systems in the semi-arid region of Ceará, Brazil. *Agroforestry Systems*, 71:127-138.

Martins CM, Costa LV, Schaefer CEGR, Soares EMB & Santos SR (2015) Frações da matéria orgânica em solos sob formações decíduais no norte de Minas Gerais. *Revista Caatinga*, 28:10 – 20.

Martins EL, Coringa JES & Weber OLS (2009) Carbono orgânico nas frações granulométricas e substâncias húmicas de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico – LVAd sob diferentes agrossistemas. *Acta Amazonica*, 39:655-660.

Mendonça ES & Matos ES (2005) *Matéria orgânica do solo: Métodos de análises*. Viçosa: UFV. 108 p.

Menezes RSC, Sampaio EVSB, Giongo V & Pérez-Marin AM (2012) Biogeochemical cycling in terrestrial ecosystems of the Caatinga Biome. *Brazilian Journal of Biology* 72:643-653.

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

Rangel OJP, Silva CA, Guimarães PTG & Guilherme LRG (2008) Frações oxidáveis do carbono orgânico de Latossolo cultivado com cafeeiro em diferentes espaçamentos de plantio. *Ciência e Agrotecnologia*, 32:429-437.

Roscoe R & Machado PLOA (2002) *Fracionamento físico do solo em estudos da matéria orgânica*. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 86p.

Steiner F, Pivetta LA, Castoldi G, Costa MSSM & Costa LAM (2011) Carbono orgânico e carbono residual do solo em sistema de plantio direto, submetido a diferentes manejos. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias* 6:401-408.

Walkley A & Black IA (1934) An examination of the method for determining soil organic matter and proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37:29–38.

Xavier FAS, Maia SMF, Oliveira TS & Mendonça ES (2006) Biomassa microbiana e matéria orgânica leve em solos sob sistemas agrícolas orgânico e convencional na Chapada da Ibiapaba – CE. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 30:247-258.

### 3. CONCLUSÕES GERAIS

O C da biomassa microbiana foi um indicador sensível de alterações ocasionadas pelo manejo florestal.

Dentre os índices microbianos, o quociente metabólico foi mais discriminante, indicando que os manejos corte raso e corte seletivo por diâmetro promoveram maiores perdas de carbono nos em relação a Caatinga não manejada.

A análise conjunta dos atributos microbianos mostrou similaridade entre o corte raso e o corte seletivo por diâmetro, o que denota que estes manejos ocasionaram maior alteração no solo.

Os teores de C orgânico das frações mais lábeis (F1+F2) mostraram redução na Caatinga manejada em relação a não manejada, todavia não discriminou diferenças entre os diferentes tipos de manejo estudados.

As frações mais recalcitrantes (F3 e F4) não foram sensíveis às alterações ocasionadas pelo manejo.

#### 4. REFERÊNCIAS

- ALVES, A. R.; SOUTO, J. S.; SOUTO, P. C.; HOLANDA, A. C. Aporte e decomposição de serrapilheira em área de Caatinga, na Paraíba. **Revista de Biologia e Ciências da terra**, v. 6, p. 194-203, 2006.
- ARAÚJO, A. S. F.; MONTEIRO, R. T. R. Indicadores Biológicos de Qualidade do Solo. **Bioscience Journal**, v. 23, n.3, p. 66-75, 2007.
- 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.
- AMORIM, I. L.; SAMPAIO, E. V. S. B.; ARAÚJO, E. L. A. Flora e estrutura da vegetação arbustivo-arbórea de uma área de caatinga do Seridó, RN, Brasil. **Acta bot. bras.**, v. 19, p. 615-623, 2005.
- 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.; FONTES, A. G.; POLIDORO, J. C.; MOÇO, M. K. S.; MACHADO, R. C. R.; BALIGAR, V. C. Distribution of oxidizable organic C fractions in soils under cacao agroforestry systems in Southern Bahia, Brazil. **Agroforestry systems**, v. 81, n. 3, p. 213–220, 2011.
- 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.
- BATISTA, I.; CORREIA, M. E. F.; PEREIRA, M. G.; BIELUCZYK, W.; SCHIAVO, J. A.; ROUWS, J. R. C. Frações oxidáveis do carbono orgânico total e macrofauna edáfica em sistema de integração lavoura-pecuária. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p. 797-809, 2014.
- BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A. Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, p. 677-683, 2004.
- BEARE, M. H.; PARMELEE, R. W.; HENDRIX, P. F.; GHENG, W. Microbial and faunal interactions and effects on litter nitrogen and decomposition agroecosystems. **Ecological Monographs**, v. 62, n. 4, p. 569-591. 1992.
- BLAIR, G. J.; LEFROY, R. D. B.; LISLE, L. Soil carbon fractions based on their degree of oxidation, and the development of a carbon management index for agricultural systems. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 46, p. 1459-1466, 1995.
- BRASIL. Lei 4.771 de 15 de setembro de 1965. Institui o novo Código Florestal. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 15 set 1965. Disponível em:

<[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L4771.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L4771.htm)>. Acesso em 01 abr. 2015.

BRASIL. Lei 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, 25 mai 2012. Disponível em: < [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm)>. Acesso em 01 abr. 2015.

BRASIL. Ministério do Meio ambiente. Instrução Normativa n. 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. Disponível em: <<https://www.diariodasleis.com.br/busca/exibelink.php?numlink=216086>>. Acesso em: 25 out. 2016.

CALDEIRA, M. V. W.; SILVA, R. D.; KUNZ, S. H.; ZORZANELLI, J. P. F.; CASTRO, K. C.; GODINHO, T. O. Biomassa e nutrientes da serapilheira em diferentes coberturas florestais. **Comunicata Scientiae**, v. 4, n. 2, p. 111-119, 2013.

CAPUANI, S.; RIGON, J. P. G.; BELTRÃO, N. E. M; BRITO NETO, J. F. Atividade microbiana em solos, influenciada por resíduos de algodão e torta de mamona. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, p. 1269-1274, 2012.

COSTA, C. C. A.; OLIVEIRA, F. L.; CAMACHO, R. G. V.; DANTAS, I. M.; MARACAJÁ, P. B. Entomofauna presente no conteúdo da serapilheira em área de caatinga na floresta nacional do Açú-RN. **Revista Verde**, v. 8, p. 50 -56, 2013.

COSTA, C. C. A.; SOUZA, A. M.; SILVA, N. F.; CAMACHO, R. G. V.; DANTAS, I. M. Produção de Serapilheira na Caatinga da Floresta Nacional do Açú-RN. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 5, p. 246-248, 2007.

COUTINHO, L. M. O conceito de bioma. **Acta bot. bras.**, v. 20, p. 13-23, 2006.

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, p. 56-63, 2012.

DE-POLLI, H.; GUERRA, J. G. M. **Determinação do carbono da biomassa microbiana do solo: Método da fumigação-extração**. Seropédica: Embrapa-CNPAB, 1997. 10 p.

FERREIRA, G. M. **Atividade microbiana e agregação de um Latossolo Vermelho Distroférrico em Campinas, SP, sob usos e manejos distintos**. Campinas-SP, IAC, 2008, 70p. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) - Instituto Agrônômico de Campinas.

FIALHO, J. S.; GOMES, V. F. F.; OLIVEIRA, T. S.; SILVA JUNIOR, J. M. T. Indicadores de qualidade do solo em áreas sob vegetação natural e cultivo de bananeira na Chapada do Apodi – CE. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 37, p. 250-257, 2006.

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.

GAMA-RODRIGUES, E. F.; GAMA-RODRIGUES, A. C. *Biomassa microbiana e ciclagem de nutrientes*. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais & subtropicais**. Porto Alegre, 2 ed., 2008, p. 159-170.

GARIGLIO, M. A. A rede de manejo florestal da Caatinga. In: GARIGLIO, M. A.; SAMPAIO, E. V. S. B.; CESTARO, L. A.; KAGEYAMA, P. Y. **Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da Caatinga**. Brasília: Serviço Florestal Brasileiro, Brasília, 2010, p. 199-204.

GUARESCHI, R. F.; PEREIRA, M. G.; PERIN, A. Oxidizable carbon fractions in Red Latosol under different management systems. **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, n. 2, p. 242-250, 2013.

HAUFF, S. N. **Representatividade do Sistema Nacional de Unidades de Conservação na Caatinga**. MMA, Brasília, 2010.

JANZEN, H. H. Soil carbon: A measure of ecosystem response in a changing world? **Canadian Journal of Soil Science**, v. 85, p. 467–480, 2005.

LEAL, I. R.; TABARELLI, M.; SILVA, J. M. C. Ecologia e conservação da Caatinga: Uma introdução ao desafio. In: LEAL, I. R.; TABARELLI, M.; SILVA, J. M. C. (Eds) **Ecologia e conservação da caatinga**. Ed. Universitária da UFPE. 2003. 822 p.

LIMA, B. G.; COELHO, M. F. B.; OLIVEIRA, O. F. Caracterização florística de duas áreas de Caatinga na região Centro-Sul do Ceará, Brasil. **Bioscience Journal**, v. 28, p. 277-296, 2012.

LIMA, H. V.; OLIVEIRA, T. S.; OLIVEIRA, M. M.; MENDONÇA, E. S.; LIMA, P. J. B. F. Indicadores de qualidade do solo em sistemas de cultivo orgânico e convencional no semi-árido cearense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 1085-1098, 2007.

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.

LISBOA, B. B.; VARGAS, L. K.; SILVEIRA, A. O.; MARTINS, A. F.; SELBACH, P. A. Indicadores Microbianos de Qualidade do Solo em Diferentes Sistemas de Manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 45-55, 2012.

LOPES, J. F. B.; ANDRADE, E. M.; LOBATO, F. A. O.; PALÁCIO, H. A. Q.; ARRAES, F. D. D. Deposição e decomposição de serapilheira em área da Caatinga. **Revista Agroambiente On-line**, v. 3, p. 72-79, 2009.

LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; BERNINI, T. A.; ZATORRE, N. P.; WADT, P. G. S. Fertilidade do solo e matéria orgânica em Vertissolo e Argissolo sob cobertura florestal e pastagem. **Comunicata Scientiae**, v. 5, n. 1, p. 01-10, 2014.

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.

MARCHIORI JÚNIOR, M.; MELO, W. J. Alterações na matéria orgânica e na biomassa microbiana em solo de mata natural submetido a diferentes manejos. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 35, p. 1177-1182, 2000.

MEDEIROS, P. H. A.; ARAÚJO, J. C.; BRONSTERT, A. Interception measurements and assessment of Gash model performance for a tropical semi-arid region. **Revista Ciência Agronômica**, v. 40, p. 165-174, 2009.

MORAES, L. F. D.; CAMPELO, E. F. C.; CORREIA, M. E. F.; PEREIRA, M. G. Biomassa microbiana em áreas em processo de restauração na Reserva Biológica de Poço das Antas, RJ. **Revista Caatinga**, v. 20, p. 54-63, 2007.

NAEL, M.; KHADEMI, H.; HAJABBASI, M. A. Response of soil quality indicators and their spatial variability to land degradation in central Iran. **Applied Soil Ecology**, v. 27, p. 221-232, 2004.

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.

PAREYN, F. G. C. Os recursos florestais nativos e a sua gestão no estado de Pernambuco – O papel do Manejo Florestal Sustentável. In: GARIGLIO, M. A.; SAMPAIO, E. V. S. B.; CESTARO, L. A.; KAGEYAMA, P. Y. **Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da Caatinga**. Brasília: Serviço Florestal Brasileiro, 2010, p. 99-113.

PAUPTIZ, J. Elementos da estrutura fundiária e uso da terra no semi-árido brasileiro. In: GARIGLIO, M. A.; SAMPAIO, E. V. S. B.; CESTARO, L. A.; KAGEYAMA, P. Y. **Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da Caatinga**. Brasília: Serviço Florestal Brasileiro, 2010, p. 49-64.

PEREIRA, S. V.; MARTINEZ, C. R.; PORTO, E. R.; OLIVEIRA, B. R. B.; MAIA, L. C. Atividade microbiana em solo do Semi-Árido sob cultivo de *Atriplex nummularia*. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 39, p. 757-762, 2004.

RANGEL, O. J. P.; SILVA, C. A.; GUIMARÃES, P. T. G.; GUILHERME, L. R. G. Frações oxidáveis do carbono orgânico de Latossolo cultivado com cafeeiro em diferentes espaçamentos de plantio. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 32, n. 2, p. 429-437, 2008.

RMFC - Rede de manejo florestal da Caatinga / Comitê Técnico Científico: **Protocolo de medições de parcelas permanentes**. Recife: Associação Plantas do Nordeste, 21 p. 2005.

REIS JÚNIOR, F. B.; MENDES, I. C. **Biomassa microbiana do solo**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados. 40 p. 2007 (Embrapa Cerrados. Documentos, 205).

SANTOS, P. S.; SOUZA, J. T.; SANTOS, J. M. F. F.; SANTOS, D. M.; ARAUJO, E. L. Diferenças sazonais no aporte de serrapilheira em uma área de Caatinga em Pernambuco. **Revista Caatinga**, v. 24, p. 94-101, 2011.

SILVA, H. F.; BARRETO, P. A. B.; SOUSA, G. T. O.; AZEVEDO, G. B.; GAMA-RODRIGUES, E. F.; OLIVEIRA, F. G. R. Decomposição de serapilheira foliar em três sistemas florestais no Sudoeste da Bahia. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 12, p. 164-172, 2014.

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, 382 p.

SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S.; GRISI, B. M.; HUNGRIA, M.; ARAÚJO, R. S. **Microrganismos e processos biológicos do solo: perspectiva ambiental**. Embrapa, Brasília, 1994, 142 p.

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.

STEINER, F.; PIVETTA, L. A.; CASTOLDI, G.; COSTA, M. S. S. M.; COSTA, L. A. M. Carbono orgânico e carbono residual do solo em sistema de plantio direto, submetido a diferentes manejos. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 6, n. 3, p. 401-408, 2011.

STENBERG, B. Monitoring soil quality of arable land: microbiological indicators. *Soil and Plant Science*, v. 49, p. 1-24, 1999.

TABARELLI, M.; SILVA, J. M. C. Áreas e ações prioritárias para a conservação da Caatinga. In: ARAÚJO, E. L.; MOURA, A. N.; SAMPAIO, E. V. S. B.; GESTINARI, L. M. S.; CARNEIRO, J. M. T. **Biodiversidade, conservação e uso sustentável da flora do Brasil**. Recife, 2002. 146 p.

VELLOSO, A. G.; SAMPAIO, E. V. S. B.; PAREYN, F. G. C. **Ecorregiões propostas para o bioma Caatinga**. Associação Plantas do Nordeste; Instituto de Conservação Ambiental The Nature Conservancy. Ed. Recife, 2002, 76 p.

VITAL, A. R. T.; GUERRINI, I. A.; FRANKEN, W. K.; FONSECA, R. C. B. Produção de serapilheira e ciclagem de nutrientes de uma Floresta Estacional Semidecidual em zona ripária. **Revista Árvore**, v. 28, p. 793-800, 2004.

XAVIER, F. A. S.; MAIA, S. M. F.; OLIVEIRA, T. S.; MENDONÇA, E. S. Biomassa microbiana e matéria orgânica leve em solos sob sistemas agrícolas orgânico e convencional na Chapada da Ibiapaba – CE. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p. 247-258, 2006.