

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

**SUBSTÂNCIAS HÚMICAS E BIOMASSA MICROBIANA DE SOLOS
CULTIVADOS COM EUCALIPTO POR ATÉ TRÊS ROTAÇÕES
SUCESSIVAS**

MONALISA FAGUNDES OLIVEIRA

VITÓRIA DA CONQUISTA
BAHIA - BRASIL
MAIO – 2019

MONALISA FAGUNDES OLIVEIRA

**SUBSTÂNCIAS HÚMICAS E BIOMASSA MICROBIANA DE SOLOS
CULTIVADOS COM EUCALIPTO POR ATÉ TRÊS ROTAÇÕES
SUCESSIVAS**

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

Orientadora: Prof^a. Patrícia Anjos Bittencourt Barreto-Garcia

VITÓRIA DA CONQUISTA
BAHIA - BRASIL
MAIO – 2019

MONALISA FAGUNDES OLIVEIRA

**SUBSTÂNCIAS HÚMICAS E BIOMASSA MICROBIANA DE SOLOS
CULTIVADOS COM EUCALIPTO POR ATÉ TRÊS ROTAÇÕES
SUCESSIVAS**

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

Aprovada em 17 de maio de 2019.

Comissão Examinadora:

Prof^a. Caroline Valverde dos Santos (D.Sc., Ciência do Solo) – UESB

Prof. Valdemiro Conceição Júnior (D.Sc. Ciência Animal) – UESB

Prof^a. Patrícia Anjos Bittencourt Barreto-Garcia (D.Sc., Produção Vegetal) - UESB
Orientadora

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus, pela força e por iluminar sempre o meu caminho.

Ao meu pai Carmerindo Gonçalves Oliveira *in memoriam*.

A toda minha família, pelo incentivo e por acreditar no meu sonho, em especial minha irmã Horaclita, mãe Lenivalda e minha tia Mariza.

A minha orientadora Patrícia Barreto-Garcia por acreditar no meu potencial, por ser sempre paciente e ser mais que uma orientadora, uma pessoa indescritível.

A secretária da Pós-Graduação Fabrícia Gomes, pelo apoio e ombro amigo.

Aos amigos que fiz durante o mestrado: Paulo, Aline, Flávia, Ivan, Danusia e Nice.

Aos amigos que mesmo longe ou durante a caminhada me ajudaram em algum momento: Jhuly, Vanessa, Fernando, Bruno, Igor, Juliana, Iago, Thaimara, Igor e Francielle e Doane.

Ao laboratório de Microbiologia do Solo, na pessoa do professor Divino, pela colaboração na execução do meu trabalho.

Ao prof. Miro pela disponibilidade e concessão das áreas em estudo.

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

À CAPES pela concessão da bolsa de Mestrado.

Obrigada a todos!

SUMÁRIO

RESUMO.....	xii
ABSTRACT	xiv
1. INTRODUÇÃO GERAL	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1. Aspectos sobre a cultura do eucalipto.....	4
2.2. Matéria orgânica do solo	5
2.3. Substâncias Húmicas.....	6
2.4. Biomassa Microbiana do Solo.....	8
3. ARTIGOS	11
ARTIGO 1: Substâncias húmicas de solos cultivados com eucalipto por até três rotações sucessivas.....	12
Resumo.....	12
Abstract.....	12
Introdução	13
Material e Métodos.....	14
Resultados e Discussão.....	17
Conclusões	21
Referências.....	21
ARTIGO 2: Biomassa e atividade microbiana de solos cultivados com eucalipto por até três rotações sucessivas	24
Resumo.....	25
Abstract.....	25
Introdução	26
Material e Métodos.....	27
Resultados e Discussão.....	30

Conclusões	35
Referências.....	35
4. CONCLUSÕES GERAIS	38
5. REFERÊNCIAS	39

RESUMO

OLIVEIRA, Monalisa Fagundes, M.Sc., Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, maio de 2019. **Substâncias húmicas e biomassa microbiana de solo sob plantações de eucalipto por até três rotações sucessivas.** Orientadora: Patrícia Anjos Bittencourt Barreto-Garcia.

O estudo teve como objetivo avaliar o efeito do cultivo de eucalipto, por até três rotações sucessivas, na distribuição de carbono nas frações humificadas da MOS e na biomassa e atividade microbiana do solo. O estudo foi realizado em plantações comerciais de *Eucalyptus urophylla* em primeira, segunda e terceira rotação, utilizando um fragmento de floresta nativa como referência. Para as substâncias húmicas, as coletadas de solo foram realizadas a partir da abertura de trincheiras, retirando-se amostras de três profundidades: 0-10, 10-20 e 20-40 cm. Para a biomassa microbiana, as amostras de solo foram retiradas da camada de 0-10 cm do solo. A determinação das substâncias húmicas foi realizada por fracionamento químico. Para estimar o carbono e o nitrogênio da biomassa microbiana do solo foi utilizado o método da fumigação-extração. A atividade microbiana foi determinada com base no CO₂ liberado das amostras durante incubação. O cultivo de eucalipto por até três rotações sucessivas influencia a estabilização da matéria orgânica do solo na camada superficial (0-10 cm), com reflexos nos teores de C da fração ácidos húmicos e na relação EA/HUM, inferiores em relação a floresta nativa. Os teores de C orgânico do solo e C da biomassa microbiana foram indicadores mais discriminantes para aferir as alterações ocasionadas pelo tempo de cultivo de eucalipto. Dentre os índices microbiológicos, o quociente metabólico foi mais sensível, evidenciando que as rotações sucessivas promovem aumento da eficiência dos microrganismos.

Palavras-chave: carbono, matéria orgânica do solo; microbiota do solo; rotações, ciclagem de nutrientes; plantações de *Eucalyptus*

ABSTRACT

OLIVEIRA, Monalisa Fagundes, M.Sc., Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, may, 2019. **Humic substances and microbial biomass of soil under eucalyptus plantations for up to three successive rotations.** Adviser: Patrícia Anjos Bittencourt Barreto-Garcia.

The objective of this study was to evaluate the effect of eucalyptus cultivation, by up to three successive rotations, on the carbon distribution in the humified fractions of MOS and biomass and microbial activity of the soil. The study was carried out in commercial plantations of *Eucalyptus urophylla* in first, second and third rotation using a native forest fragment as reference. For the humic substances, the soil samples were taken from the opening of trenches, taking samples of three depths: 0-10, 10-20 and 20-40 cm. For the microbial biomass, the soil samples were removed from the 0-10 cm layer of soil. The determination of the humic substances was performed by chemical fractionation. To estimate the carbon and nitrogen of the soil microbial biomass, the fumigation-extraction method was used. The microbial activity was determined based on the CO₂ released from the samples during incubation. Eucalyptus cultivation for up to three successive rotations influences the stabilization of soil organic matter in the superficial layer (0-10 cm), with lower C concentrations of the humic acid fraction and EA / HUM ratio, compared to the native forest . The levels of soil organic C and microbial biomass C were more discriminatory indicators to measure the changes caused by the eucalyptus cultivation time. Among the microbiological indexes, the metabolic quotient was more sensitive, evidencing that the successive rotations promote increase of the efficiency of the microorganisms.

Keywords: carbon; organic matter; soil microbiota; rotations; nutrient cycling, eucalyptus plantations.

1. INTRODUÇÃO GERAL

No Brasil, as florestas plantadas ocupam 7,8 milhões de hectares, sendo responsável por mais de 90% de toda a madeira utilizada para fins produtivos. Deste total, 5,7 milhões de hectares corresponde ao gênero *Eucalyptus*, cuja expansão dos plantios no país representou um acréscimo de 0,5% entre os anos de 2015 e 2016. Na Bahia, a área ocupada pelo gênero é de 612 mil hectares, com crescimento de 2,4 % ao ano (IBA,2017) e grande expectativa de expansão na região Sudoeste do estado (MENDES et al.,2016).

Dentre as principais razões da cultura do eucalipto ser uma das mais difundidas no Brasil, está a sua extensa diversidade, com grande capacidade de adaptação a diferentes condições de clima e solo. Tal capacidade está relacionada à características intrínsecas ao gênero, como sua elevada eficiência nutricional, que favorece o suprimento da sua demanda de nutrientes (GAMA-RODRIGUES & BARROS, 2002). Como resultado dessa eficiência, baixas taxas de decomposição são comumente verificadas em plantações de eucalipto (COSTA et al., 2005; VIERA et al.,2013; PINTO et al., 2016). Em contrapartida, de acordo com Gama-Rodrigues e Barros (2002), isso proporciona ao eucalipto uma maior capacidade de conservação de carbono e nutrientes em sua biomassa.

De maneira geral, o eucalipto, a exemplo de outras culturas florestais, incrementa ou mantém os reservatórios de C orgânico do solo (COS), quando comparadas a culturas agrícolas e floresta nativa, exercendo um efeito positivo sobre a redução dos níveis de CO₂ atmosférico (MELO et al., 2005; GIÁCOMO et al., 2008; DENARDIN et al., 2014). No entanto, acredita-se que, após vários ciclos de cultivo, pode haver uma redução das reservas de C orgânico do solo (COS) das florestas manejadas intensamente, devido as altas taxas de exportação de biomassa (GONÇALVES et al., 2001).

Além de alterações na quantidade, o COS pode sofrer mudanças em sua qualidade, notadamente no grau de oxidação e labilidade (BLAIR et al., 1995; SHANG e TIESSEN, 1997). De acordo com o uso e manejo do solo, o carbono pode se acumular em frações lábeis ou estáveis da matéria orgânica do solo (MOS), o que determina sua permanência no solo (BAYER et al.,2004). Sendo assim, o tempo de

cultivo do solo com plantios florestais pode exercer influência tanto sobre a quantidade quanto sobre a qualidade do C orgânico do solo.

Para avaliar a qualidade do C orgânico do solo são utilizadas técnicas de fracionamento físico e químico. Tais técnicas permitem separar o COS em frações, que expressam os fluxos provenientes da mineralização e da estabilização dos compostos orgânicos do solo (PILLON et al., 2002). Dentre os métodos químicos, está o fracionamento das substâncias húmicas (SH) baseado na solubilidade diferencial destas frações em meio alcalino e ácido.

As substâncias húmicas integram o compartimento da MOS de maior reatividade e, por isso, estão envolvidas em maior parte das reações químicas que ocorrem no solo (ROSA et al.,2017). Em virtude dessa forte interação com a fração mineral do solo, a quantidade e proporção com que as frações das substâncias húmicas são encontradas no solo pode constituir um importante indicador da sua qualidade. As SH são compostas por diferentes frações, que variam de acordo com a sua solubilidade, sendo divididas em três categorias: ácidos fúlvicos, que atuam em mecanismos de transporte de cátions no solo; ácidos húmicos, que são responsáveis pela maior parte da CTC de origem orgânica em camadas superficiais; e humina, que apresenta baixa reatividade e está ligada ao processo de agregação das partículas do solo (BARRETO et al.,2008).

Mudanças na dinâmica do C orgânico do solo também podem ocasionar alterações em diferentes propriedades do solo (químicas, físicas e biológicas) (BAYER et al.,2004). Dentre os atributos biológicos do solo, a biomassa microbiana do solo (BM) tem função catalítica sobre a MOS, controlando os processos de mineralização e imobilização de nutrientes.

A biomassa microbiana do solo costuma ser avaliada por meio da quantificação dos seus teores de C (CBM) e N (NBM) e da sua atividade (respiração basal). Os métodos mais utilizados para determinação do CBM e NBM são o da fumigação-extração (VANCE et al., 1987) e da fumigação-incubação (JENKISON e POWLSON,1976), ambos baseados na esterilização parcial de amostras de solo com clorofórmio. Já a respiração basal é mensurada pela liberação de CO₂ com a respiração dos microrganismos, podendo refletir o aumento ou decréscimo dos níveis de matéria orgânica no solo (CAPUANI et al.,2012).

Embora estudos preliminares sobre BM e frações do COS já tenham sido realizados com objetivo de avaliar a influência da qualidade dos resíduos depositados

de acordo com a idade dos plantios de eucalipto (Barreto et al., 2008; Barreto et al.; 2014), ainda são escassas informações sobre o tema em solos cultivados com eucalipto em rotações sucessivas. Tais informações podem permitir avaliar a influência do tempo de cultivo sobre a dinâmica do C orgânico no solo.

Portanto, o objetivo deste estudo foi avaliar o efeito do cultivo de eucalipto, por até três rotações sucessivas, na distribuição de carbono nas frações humificadas da MOS e na biomassa e atividade microbiana do solo.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Aspectos sobre a cultura do eucalipto

No Brasil, a expansão das áreas produtivas com plantações de espécies florestais exóticas tem estimula o mercado florestal no país (WINK et al.,2015). Espécies do gênero *Eucalyptus* são as mais plantadas, verificando-se um progressivo aumento das suas áreas, que representou acréscimo de 2,4 % a.a. nos últimos cinco anos. Atualmente os plantios do gênero ocupam 5,7 milhões de hectares, estando, em sua maioria, estabelecidos sobre solos de baixa fertilidade (GAMA-RODRIGUES et al.,2005).

Os estados que detêm a maioria desses plantios são Minas Gerais, São Paulo, Paraná, Santa Catarina, Bahia e Mato Grosso do Sul, representando cerca de 87,1% da área total brasileira de eucalipto. O estado da Bahia possui menos de 10% dessa área, com cerca de 612.199 ha no ano de 2016 (IBÁ,2017), porém com expectativa de atingir um milhão de hectares até o ano 2020, o que corresponderá a um crescimento de 40% (MENDES et al.,2016). Tal previsão está relacionada aos diversos incentivos para esse estado com a Associação Baiana das Empresas de Base Florestal (ABAF) em parcerias com entidades, que deverá atingir o litoral nordeste, sul, sudoeste e oeste da Bahia (MENDES et al. ,2016).

O gênero *Eucalyptus* apresenta características como rápido crescimento, alta produtividade, boa capacidade de adaptação, elevada eficiência nutricional e utilização para diversas finalidades como na produção de óleos e madeira para a indústria de celulose e papel, para geração de biomassa energética e serraria, e na proteção e recuperação de áreas degradadas (MORA & GARCIA,2000).

Na maior parte dos plantios comerciais de eucalipto no Brasil são adotadas rotações entre seis e sete anos de idade, a depender da finalidade da madeira. A rotação compreende o intervalo de tempo médio de produção previsto e normalmente leva em consideração fatores silviculturais, econômicos e a sustentabilidade da floresta (JÖBSTL, 2011). A capacidade de brotação das espécies do gênero *Eucalyptus* permite a exploração dos plantios por duas, três ou até quatro rotações, sem necessidade de uma nova implantação, além de favorecer a ocorrência de efeitos

benéficos relacionados a manutenção dos resíduos da colheita de uma rotação para outra.

Devido aos ciclos longos de cultivo e produção contínua de serapilheira, o eucalipto possibilita que o solo esteja sempre coberto com uma camada espessa de folhas e detritos, protegendo o solo e atenuando os efeitos da erosão (MORA & GARCIA,2000). Isso também permite que parte dos nutrientes armazenados nas árvores retorne ao solo e seja liberado para as plantas por meio da ciclagem de nutrientes.

Outra característica do gênero *Eucalyptus* é a sua elevada eficiência nutricional, que favorece o suprimento da sua demanda de nutrientes (GAMA-RODRIGUES & BARROS, 2002) e, ao mesmo tempo, ocasiona baixas taxas de decomposição (GAMA-RODRIGUES & BARROS, 2002; COSTA et al., 2005; VIERA et al.,2013; PINTO et al., 2016). Isso pode incrementar os estoques de carbono do solo, possibilitando uma maior capacidade de conservação de carbono e nutrientes em sua biomassa (GAMA-RODRIGUES e BARROS, 2002). No entanto, o cultivo do solo com eucalipto por rotações sucessivas pode ocasionar alteração dos estoques de C orgânico do solo (COSTA et al.,2013).

Além de alterações na quantidade do C orgânico, o uso e manejo do solo também pode ocasionar mudanças em sua qualidade (BLAIR et al., 1995; SHANG e TIESSEN, 1997). Lima et al. (2006) avaliaram mudanças na matéria orgânica de solos sob plantios de eucalipto e verificaram ganhos no estoque de C orgânico total, atingindo o pico no final da segunda e terceira rotação de cultivo para duas regiões de estudo. A taxa de acumulação de carbono orgânico total nas duas regiões foi de 0,57 e 0,35 Mg C ha⁻¹ ano⁻¹.

2.2. Matéria orgânica do solo

A matéria orgânica do solo (MOS) é constituída da combinação de componentes de origem biológica em diferentes estádios evolutivos de decomposição, como também microrganismos e materiais vegetais não decompostos (CARDOSO & ANDREOTE,2016). Os teores e características da matéria orgânica resultam das taxas de produção, alteração e decomposição de resíduos orgânicos, que são dependentes de diversos fatores, dentre eles a temperatura, aeração, pH e disponibilidade de água e

nutrientes (Nascimento et al., 2010). Ou seja, resulta do balanço entre a entrada de resíduos orgânicos e a liberação de CO₂ com o processo de decomposição.

Em solos sob vegetação nativa, normalmente não ocorrem muitas oscilações nos estoques de MOS, mantendo um equilíbrio. No entanto, mesmo nesses ecossistemas, verifica-se variação das médias mensais de fluxo de CO₂ do solo, ocasionada por vários fatores inclusive os edafoclimáticos (COSTA et al., 2013).

A conservação da MOS é primordial para manutenção das propriedades químicas, biológicas e físicas do solo, tanto em ambientes temperados quanto tropicais (BATISTA et al., 2014). O principal componente da matéria orgânica do solo é o carbono orgânico (Steiner et al., 2011), que compreende cerca de 58 % do conteúdo total. Por essa razão, perdas do carbono orgânico do solo (COS) podem gerar diversas consequências, como o aumento da erosão e redução da fertilidade do solo (SIX et al., 2002). Segundo Moreira & Siqueira (2006), a conservação do COS proporciona melhorias nas propriedades químicas, físicas e biológicas do solo, por constituir fonte de nutrientes e substrato microbiano.

A MOS pode ser dividida em uma fração lábil (ativa) e uma fração estável, correspondente a fração passiva ou humificada (VARGAS et al., 2013). O aumento, manutenção ou decréscimo do carbono nestas frações permite avaliar os prováveis impactos decorrentes do uso e manejo do solo (SILVA et al., 2011). O carbono lábil corresponde ao não protegido, estando presente em materiais parcialmente decompostos, resíduos microbianos, células vivas e produtos em transformação. O estoque passivo de C é representado pelas substâncias húmicas, as quais estão em forma quase estática no solo, sofrendo transformações mais lentas em relação a outras frações orgânicas do solo (MOREIRA & SIQUEIRA, 2006).

2.3. Substâncias Húmicas

A matéria orgânica do solo e dos resíduos pode ser dividida em dois grandes grupos: um denominado de fração não-humificada, composto pelos restos vegetais e animais ainda em pouca decomposição e pelos compostos orgânicos como as proteínas, açúcares, ceras, graxas e resinas; e o outro de fração humificada, formado pelas substâncias húmicas (CANELLAS et al., 2001). Estima-se que 80 a 90 % da

matéria orgânica de solos minerais seja constituída pelas substâncias húmicas (MENDONÇA; MATOS, 2005; ROSA et al., 2017).

As substâncias húmicas (SH) são o produto das transformações químicas e biológicas que ocorrem nos resíduos vegetais e animais e da atividade dos microrganismos do solo (PRIMO et al., 2011). Embora as SH apresentem baixa reatividade, elas são responsáveis por mecanismos de agregação de partículas, a qual interfere na infiltração, retenção de água e na atividade e biomassa microbiana (Martins e Alves, 2015) e em grande parte dos solos tropicais representa a maior parte do carbono do solo (BENEDITES et al., 2003).

A duração das substâncias húmicas do solo pode atingir anos e chegar em casos excepcionais a 20.000 anos, porém em outras ocasiões podem ter uma curta duração, como na maioria dos solos tropicais que apresentam baixo teor de argila (MENDONÇA, 1995). A sua redução no solo também está relacionada às práticas de manejo, que podem estimular a maior ou menor atividade microbiana e enzimática do solo.

As substâncias húmicas são compostas por diferentes frações, que variam de acordo com a sua solubilidade. De maneira generalista, essas frações são divididas em três categorias: ácidos fúlvicos (AF), ácidos húmicos (AH) e huminas (HUM). Podem ser fracionadas quimicamente e fisicamente, porém o método químico é o mais utilizado para estudar a dinâmica da matéria orgânica no solo. Segundo Canellas et al. (2001) os AF, são aqueles que apresentam grande parte de grupamento funcionais oxigenados e são solúveis tanto em meio ácido como em meio básico (solúvel em qualquer pH); os AH são insolúveis em meio fortemente ácido (pH menor que 2), devido a protonação dos grupamentos funcionais ocorre o colapso da estrutura e precipitação das macromoléculas; e as HUM são aquelas que representam a matéria orgânica ligada à fração mineral do solo, o que a torna insolúvel em todas as faixas de pH.

A fração AH é responsável pela maior parte da CTC de origem orgânica em camadas superficiais do solo (Barreto et al., 2008) e corresponde a fração reativa mais estável da matéria orgânica humificada (CANELLAS et al., 2001), sendo a fração mais estudada. A fração AF corresponde a compostos de maior solubilidade por apresentar maior polaridade e menor tamanho molecular, estando diretamente relacionada ao mecanismo de transporte de cátions (PFLEGER et al., 2017).

A quantidade e proporção com que as frações das substâncias húmicas são encontradas no solo pode constituir um indicador da sua qualidade, uma vez que as SH possuem uma forte interação com a fração mineral do solo (FONTANA et al., 2001), podendo ser utilizada como atributo para classificação do solo (SANTOS et al., 2013).

A partir das quantidades de carbono nas frações das SH, podem ser obtidos índices como as relações AH/AF e (AF+AH)/HUM (ácidos fúlvicos + ácidos húmicos/humina). A razão AH/AF indica a perda seletiva da fração mais solúvel (AF), como resultado da movimentação do carbono no solo. Já o índice (AF+AH)/HUM indica a iluviação de matéria orgânica. Desta forma, esses índices são utilizados para avaliar o processo de humificação e representam o nível de evolução da matéria orgânica do solo (PFLEGER et al., 2017).

Vários estudos sobre SH já foram realizados em plantações de eucalipto no Brasil (SOARES et al., 2017; PULROLNIK et al., 2009; e RAMOS et al., 2013). Entretanto, ainda não existem registros de estudos que tenham avaliado o efeito de rotações sucessivas de eucalipto nas substâncias húmicas.

2.4. Biomassa Microbiana do Solo

A biomassa microbiana (BM) constitui um compartimento da matéria orgânica do solo, que contém de 1% a 4% de C e de 3% a 5% de N (PEREZ et al., 2005). Sofre influência direta de fatores bióticos e abióticos, manifestando alta sensibilidade diante de mudanças ocasionadas no sistema (GAMA-RODRIGUES et al., 2005). Por tais razões, a BM costuma ser utilizada como importante indicador de alterações ocasionadas pelo manejo do solo (BALOTA et al., 1998).

Segundo Moreira & Siqueira (2006), a biomassa microbiana do solo corresponde a parte ativa da matéria orgânica, sendo composta por organismos vivos, essencialmente actinomicetos, bactérias, fungos, nematoides, dentre outros. Representa a principal fonte de enzima no solo, sendo responsável por grande parte da sua atividade biológica, já que catalisa transformações bioquímicas e exerce papel tanto de fonte quanto de dreno de carbono e nutrientes. Desta forma, regula a troca de nutrientes entre a atmosfera e o sistema solo-planta-organismo.

Dentre as principais formas de avaliar a biomassa microbiana do solo está a quantificação da sua atividade e dos seus teores de C (CBM) e de N (NBM). Para

avaliação da atividade microbiana do solo (AM), vários parâmetros podem ser utilizados, estando entre os principais a respiração basal e a atividade de enzimas como a desidrogenase, urease e fosfatase (DE-POLLI & GUERRA, 1997). A respiração basal é mensurada pela liberação de CO₂ com a respiração dos microrganismos, podendo refletir o aumento ou decréscimo de matéria orgânica no solo. Elevados valores de respiração nem sempre indicam condições desejáveis: uma alta taxa de respiração pode significar, em curto prazo, liberação de nutrientes e, em longo prazo, perda de carbono orgânico do solo para a atmosfera (PARKIN et al., 1996).

Os teores de carbono e nitrogênio da biomassa microbiana refletem a quantidade destes elementos que a BM imobiliza em suas células (ALVES et al., 2011). Podem ser estimados diretamente por microscopia dos componentes celulares (fungos e bactérias), como também de maneira indireta pelos métodos de fumigação-incubação (JENKISON e POWLSON, 1976) e fumigação-extração (VANCE et al., 1987), ambos baseados na esterilização parcial de amostras de solo com clorofórmio.

Segundo Gama-Rodrigues et al. (1997), os valores da biomassa microbiana de carbono permitem estimar a perda ou acúmulo de carbono em virtude de determinado tipo de manejo. Os mesmos autores mencionam que um maior valor de CBM indica maior a reserva de carbono no solo e menor velocidade de decomposição da matéria orgânica.

Além dos valores absolutos de AM, CBM e NBM, a biomassa microbiana também pode ser avaliada por índices microbianos, como o quociente metabólico (qCO₂), o quociente microbiano (qMic) e a relação C/N microbiana.

O qCO₂ representa a quantidade de C-CO₂ evoluída por unidade de carbono microbiano e indica o nível de estresse da biomassa microbiana (MOREIRA & SIQUEIRA, 2006). É uma importante ferramenta para a compreensão das transformações e perdas nos compartimentos orgânicos do solo (SILVA et al., 2007). Segundo Dionísio et al. (2016), o qCO₂ prevê que a biomassa microbiana torna-se mais competente quando menos carbono é perdido na forma de CO₂ pela respiração, proporcionando, conseqüentemente, maior incorporação de carbono aos tecidos microbianos.

O qMic é definido pela relação entre o carbono da biomassa microbiana e o carbono orgânico total do solo. Valores elevados de qMic inferem que a matéria orgânica do solo é ativa e, portanto, está prontamente disponível a ser decomposta pela microbiota (DADALTO et al., 2015).

Diversos estudos sobre BM já foram realizados em plantações de eucalipto no Brasil (GAMA-RODRIGUES et al., 1997; GAMA-RODRIGUES et al., 2005; BARRETO et al. 2008; PULROLNIK et al. 2009). No entanto, não existem registros de estudos que tenham avaliado o efeito de rotações sucessivas de eucalipto na biomassa microbiana do solo. Os resultados obtidos até o presente mostraram que: 1) o cultivo de eucalipto promoveu maior imobilização de N na biomassa microbiana, quando comparado com outras culturas florestais (Gama-Rodrigues et al., 1997); 2) o cultivo do eucalipto não promoveu redução dos teores de CBM e NBM, quando comparado com áreas de pastagem e Cerrado (Pulrolnik et al., 2009); e 3) a variação de qualidade da serapilheira do eucalipto com o aumento da idade não afetou os teores de CBM e NBM ou a atividade microbiana do solo (Barreto et al., 2008).

ARTIGO 1:

Substâncias húmicas de solos cultivados com eucalipto por até três rotações sucessivas

O artigo segue as normas da Revista Scientia Forestalis

Substâncias húmicas de solos cultivados com eucalipto por até três rotações sucessivas

Humic substances of soils cultivated with eucalyptus for up to three successive rotations

RESUMO

O objetivo do estudo foi avaliar o efeito do cultivo de eucalipto, por até três rotações sucessivas, na distribuição de carbono nas substâncias húmicas da matéria orgânica do solo até a profundidade de 40 cm. O estudo foi realizado em plantações comerciais de *Eucalyptus urophylla* em primeira, segunda e terceira rotação, utilizando um fragmento de floresta nativa como referência. Foram coletadas amostras de solo nas profundidades 0-10, 10-20 e 20-40 cm. A quantificação das frações das substâncias húmicas foi realizada por fracionamento químico, com base na solubilidade diferencial em meio alcalino e ácido. O cultivo de eucalipto por até três rotações sucessivas influencia a estabilização da matéria orgânica do solo na profundidade superficial (0-10 cm), com reflexos nos teores de C da fração ácidos húmicos e na relação EA/HUM, inferiores em relação a floresta nativa.

Palavras-chave: fracionamento; ácidos húmicos; tempos de cultivo.

ABSTRACT

The objective of the study was to evaluate the effect of eucalyptus cultivation, by up to three successive rotations, on the carbon distribution in the humic substances of the organic matter of the soil up to 40 cm depth. The study was carried out in commercial plantations of *Eucalyptus urophylla* in first, second and third rotation using a native forest fragment as reference. Soil samples were collected at depths 0-10, 10-20 and 20-40 cm. The fractionation of the humic substances was determined by chemical fractionation, based on the differential solubility in alkaline and acidic medium. Eucalyptus cultivation for up to three successive rotations influences the soil organic matter stabilization at the superficial depth (0-10 cm), with reflections on the C content of the humic acid fraction and the EA / HUM ratio, lower than the native forest.

Keywords: fractionation; humic acids; growing time.

INTRODUÇÃO

Os plantios do gênero *Eucalyptus*, devido a sua capacidade de brotação, podem ser conduzidos por até quatro rotações sucessivas, sem necessidade de uma nova implantação. Essa condução, aliada aos longos ciclos da cultura, pode favorecer a manutenção da qualidade do solo, uma vez que o acúmulo de resíduos possibilita a cobertura do piso florestal, atenuando os efeitos da erosão, e o retorno de parte do carbono e nutrientes armazenados nas árvores.

Outra característica do gênero *Eucalyptus* é a sua elevada eficiência nutricional, que favorece o suprimento da sua demanda de nutrientes (GAMA-RODRIGUES & BARROS, 2002) e, por outro lado, ocasiona baixas taxas de decomposição (COSTA et al., 2005; VIERA et al., 2013; PINTO et al., 2016). Isso pode incrementar os estoques de carbono do solo, já que possibilita uma maior capacidade de conservação de carbono e nutrientes na fitomassa acumulada (GAMA-RODRIGUES e BARROS, 2002). No entanto, é possível que estes estoques de C no solo sejam alterados com o tempo de cultivo do eucalipto, após rotações sucessivas, dada a exportação de biomassa com as colheitas.

Além de alterações na quantidade do C orgânico, o uso e manejo do solo também pode ocasionar mudanças em sua distribuição nas frações da matéria orgânica do solo (MOS) (BAYER et al., 2004). O fracionamento da MOS pode ser realizado por métodos químicos ou físicos. Dentre os métodos químicos, está o fracionamento das substâncias húmicas (SH) baseado na solubilidade diferencial destas frações em meio alcalino e ácido, que permite a obtenção de três frações: ácidos fúlvicos (AF), que atuam em mecanismos de transporte de cátions no solo, apresentam grande quantidade de grupamentos funcionais oxigenados e são solúveis tanto em meio alcalino como ácido; ácidos húmicos (AH), que são responsáveis pela maior parte da CTC de origem orgânica em camadas superficiais e são insolúveis em meio fortemente ácido; e humina (HUM), que apresenta baixa reatividade e representa os compostos mais estáveis, intimamente ligados aos minerais do solo, e por isso não são extraídas em meio alcalino (CANELLAS et al., 2001).

As SH são produto de transformações químicas e biológicas nos resíduos vegetais e da ação dos microrganismos do solo (PRIMO et al., 2011). Por essa razão, a distribuição das frações humificadas e seus conteúdos de carbono podem ser utilizadas como indicadores de alterações ocasionadas pelo uso e manejo do solo. Vários

estudos sobre SH já foram realizados em plantações de eucalipto no Brasil (SOARES et al.,2017; PULROLNIK et al.,2009; e RAMOS et al.,2013). Entretanto, ainda não existem registros de estudos que tenham avaliado o efeito de rotações sucessivas de cultivo de eucalipto nas substâncias húmicas.

Nesse contexto, este estudo objetivou avaliar o efeito do cultivo de eucalipto, por até três rotações sucessivas, na distribuição de carbono nas substâncias húmicas da matéria orgânica do solo até a profundidade de 40 cm.

MATERIAL E MÉTODOS

Descrição da área de coleta

O estudo foi realizado em plantações comerciais de eucalipto, localizadas no município de Vitória da Conquista-Bahia, distrito do Pradoso (coordenadas geográficas: 14° 49' S e 40° 59' W). O clima da região é o tropical de altitude, tipo Cwb, segundo a classificação de Köppen, com precipitação média anual de 734 mm, e estação seca de maio a setembro.

As áreas de estudo foram selecionadas com base no tempo a que foram submetidas ao cultivo de eucalipto, obtendo-se uma sequência de áreas com número progressivo de rotações. Dessa forma, foram avaliadas três áreas de eucalipto: R1 – em primeira rotação, cultivada a quatro anos, estabelecida em regime de alto fuste, por meio de mudas seminais, em espaçamento de 3 x 4 m; R2 – em segunda rotação, cultivada a nove anos, conduzida em regime de talhadia após realização do primeiro corte aos cinco anos de idade, em espaçamento de 3 x 3 m; R3 – em terceira rotação, cultivada a 14 anos, também conduzida em regime de talhadia e em espaçamento 3 x 3 m. Além destas três áreas, uma área de floresta nativa (FN), localizada nas adjacências dos plantios, foi utilizada como referência.

Além de considerar as rotações de cultivo, a escolha das áreas de estudo foi baseada no material genético (*Eucalyptus urophylla*, reproduzido de forma seminal), condição edafoclimática e histórico de implantação e preparo do solo, comum a todas as áreas. Os plantios foram estabelecidos em área de pastagem degradada e capoeira baixa após limpeza com trator de esteiras e preparo do solo com aração e subsolagem nas linhas de plantio a 50 cm de profundidade. O solo das áreas de estudo é

classificado como Latossolo Amarelo Distrófico, de textura argiloarenosa e com características químicas e físicas conforme Tabela 1.

A vegetação do fragmento de floresta nativa é classificada como Floresta Estacional Decidual e apresenta predominância de espécies da família Fabaceae, sobretudo do gênero *Parapiptadenia* (IBGE, 2012). Localiza-se em uma zona de transição entre Caatinga e Mata Atlântica, possuindo área total de cerca de 20 hectares.

Tabela 1. Caracterização química e composição granulométrica de solo (profundidade 0-10 cm) sob diferentes tempos de cultivo de eucalipto e sob floresta nativa

Tratamento ⁽¹⁾	pH	P	Al	H+Al	K	Ca	Mg	Argila	Areia	Silte	De
		mg dm ⁻³			cmolc dm ⁻³				g kg ⁻¹		g cm ⁻³
R1	4,5	1	1,2	5,6	0,15	0,5	0,5	370	550	80	1,17
R2	4,6	1	0,9	6,4	0,12	0,7	0,7	460	470	70	1,11
R3	4,4	2	1,3	6,9	0,13	0,4	0,8	470	455	75	1,23
FN	4,7	2	0,8	6,0	0,18	0,8	0,8	370	580	50	1,18

⁽¹⁾ R1: Eucalipto em primeira rotação de cultivo, com quatro anos de idade; R2: Eucalipto em segunda rotação, totalizando nove anos de cultivo; R3: Eucalipto em terceira rotação, totalizando 14 anos de cultivo; FN: Floresta nativa; De: densidade do solo. Análises realizadas conforme EMBRAPA (2017): pH em água; P e K (extraíveis por Mehlich-1), Ca²⁺, Mg²⁺ e Al³⁺ (por KCl 1 mol L⁻¹); granulometria pelo método da pipeta e densidade pelo método do anel volumétrico. Foram utilizadas quatro amostras compostas por 20 amostras simples, de cada área de estudo.

Coletas de solo e análises químicas

Para as coletas de solo, em cada área foram instaladas quatro parcelas de 20 x 20 m. As amostras foram retiradas de três profundidades do solo (0-10, 10-20 e 20-40 cm), a partir da abertura de trincheiras de 50 x 50 cm. Em cada parcela, foram coletadas cinco amostras simples para formar uma amostra composta de cada profundidade de cada.

Após a coleta, as amostras foram secas ao ar, destorroadas e passadas por peneira de 2 mm, para obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA). Foi realizada a determinação dos teores de C orgânico total do solo (COS) por meio do método da oxidação úmida (MATOS & MENDONÇA, 2017). Adicionou-se em erlenmeyers de 250 ml: 0,5 g de solo (TFSA), 5 ml de K₂CrO₇ mol L⁻¹ e 15 ml de H₂SO₄, que foram aquecidos a 170°C por 30 minutos e titulados com sulfato ferroso amoniacal 0,1 mol L⁻¹.

A quantificação das substâncias húmicas – frações ácidos fúlvicos (AF), ácidos húmicos (AH) e humina (HUM) – foi realizada por meio de fracionamento químico, seguindo a metodologia de Matos & Mendonça (2017). Assim, pesou-se 1,0 g de solo (TFSA) em tubos de centrifuga de 50 ml, adicionando-se 10 ml de NaOH 0,1 mol l⁻¹ e procedendo-se agitação em agitador vertical por 1 hora a 12 rpm. Após descanso por 24 horas, os tubos foram centrifugados por 20 min a 3000 g (FCR- força centrífuga relativa). O sobrenadante foi transferido para um recipiente de 50 ml, adicionando-se novamente 10 ml de NaOH 0,1 mol l⁻¹ nos tubos de centrifuga, que foram agitados manualmente, deixados em descanso por 1 hora e novamente submetidos à centrifugação por 20 min a 3000 g (FCR). O sobrenadante foi adicionado no mesmo recipiente de 50 ml citado anteriormente. Esse procedimento foi repetido mais uma vez. O resíduo remanescente nos tubos, que continha a fração humina, foi levado para secagem em estufa (45°C), por 72 horas.

O extrato alcalino coletado nos recipientes de 50 mL, que continha as frações ácidos fúlvicos e ácidos húmicos, teve seu pH ajustado para 2 ± 0,1 com solução de H₂SO₄ (20%). Após o ajuste do pH, as soluções ficaram em repouso por 18 horas para total precipitação da fração húmica. Decorrido o tempo, as mesmas foram centrifugadas por 5 minutos a 3000 g (FCR). O sobrenadante, que continha a fração ácidos fúlvicos, foi transferido pra um balão de 50 ml e teve seu volume completado com água deionizada. Ao resíduo retido nos tubos, que continha a fração ácidos húmicos, foi adicionado 30 ml de NaOH 0,1 mol l⁻¹, homogeneizado e transferido para um balão de 50 ml, completando o volume e com NaOH mol l⁻¹.

Para a quantificação do carbono das frações AF e AH, utilizou-se 5 ml do extrato da fração, que foi adicionado em erlenmeyer de 250 ml, juntamente com 10 ml de K₂Cr₂O₇ 0,033 mol L⁻¹ e 10 ml de H₂SO₄ concentrado. Após isso, os erlenmeyers foram aquecidos a 170° C por 30 minutos e, após esfriamento por 15 minutos, acrescentou-se água deionizada até o volume final de 80 ml e cinco gotas de difenilamina. A titulação foi realizada com sulfato ferroso amoniacal 0,03 mol L⁻¹. Para determinação do carbono da fração humina, foi utilizado 0,5 g da fração, que foi transferida para erlenmeyer de 250 ml, adicionando-se 5 ml da solução K₂Cr₂O₇ 0,167 mol L⁻¹ e 15 ml de H₂SO₄ concentrado. Após aquecimento (170 °C) e resfriamento do erlenmeyer, acrescentou-se água deionizada até o volume final de 80 ml e 0,3 ml de difenilamina. A titulação foi realizada com sulfato ferroso amoniacal 0,1 mol L⁻¹.

A partir dos valores de teores de carbono nas frações humificadas (AF, AH e

HUM) foram calculadas as relações: AH/AF (Ácidos Húmicos/ Ácidos Fúlvicos) e (AF+AH) /HUM (ácidos fúlvicos + ácidos húmicos/humina).

Análise estatística

Os dados foram submetidos aos testes de Lilliefors e Bartlett para avaliação da normalidade e homogeneidade. Para verificação das diferenças entre as rotações de eucalipto, foi realizada a análise de variância, segundo um delineamento inteiramente casualizado (teste F a 5%), tendo em vista que as parcelas foram distribuídas casualmente, com quatro tratamentos e quatro repetições. Adotou-se o teste de Tukey ao nível de 5% de significância para comparação de médias.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao analisar a profundidade 0-40 cm, não foi observado efeito do tempo de cultivo nos teores de carbono, tanto para o total das substâncias húmicas (TSH) quanto para as frações (Tabela 2). O teor médio de carbono do TSH foi de 20,3 g kg⁻¹, o que corresponde a um estoque de 82,5 Mg de C ha⁻¹ na camada 0-40 cm. Resultados próximos foram observados por Soares et al. (2017), em solo argiloso sob eucalipto no leste do Rio Grande do Sul (cerca de 101 Mg de C ha⁻¹). Por outro lado, estoques inferiores foram verificados por Pegoraro et al. (2014) em solos arenosos sob eucalipto de longa e curta rotação e sob floresta nativa (60, 36 e 49 Mg ha⁻¹, respectivamente).

Em todas as áreas estudadas, os maiores acúmulos de C foram observados na fração humina, que representou cerca de 58% do TSH (Tabela 2). Diversos estudos em solos sob cultivos florestais e agrícolas também constataram que a fração humina constituía maior proporção do carbono orgânico do solo, correspondendo a valores entre 36 e 67% (BARRETO et al., 2008; RAMOS et al., 2013; PFLEGER et al., 2017; MIRANDA et al., 2007; PULROLNIK et al., 2009). Os maiores teores de C na fração humina pode ser decorrente da maior estabilidade dessa fração. Segundo Longo & Espíndola (2000) a maior permanência dessa fração no solo está relacionada a sua insolubilidade e resistência à biodegradação, originada pela formação de complexos metálicos estáveis e, ou, complexos argilo-húmicos.

Por sua vez, a fração que apresentou menor participação na composição do C das SH foram os ácidos fúlvicos (AF), variando entre 13 e 19%. Os ácidos húmicos (AH) tiveram participação intermediária, representando cerca de 25% do TSH. Este

padrão de distribuição de C nas SH (HUM > AH > AF) é comumente relatado na literatura (PFLEGER et al.,2017; RAMOS et al.,2013; PULROLNIK et al.,2009). As menores proporções de AF e AH estão relacionadas a mobilidade destas frações, que podem ser translocadas, polimerizadas ou mineralizadas, o que reduz seu teor residual no solo (FONTANA et al., 2006; HAN et al., 2016).

Tabela 2 – Contribuição relativa do carbono das substâncias húmicas em relação ao C orgânico total do solo e relações entre os conteúdos de carbono das substâncias húmicas de solo (profundidade 0-40 cm) sob diferentes tempos de cultivo de eucalipto e floresta nativa.

Frações	Tratamentos ⁽¹⁾			
	R1	R2	R3	FN
	Carbono (g kg ⁻¹)			
AF ⁽²⁾	3,12 (1,15) a	3,64 (1,99) a	2,55 (0,34) a	4,07 (0,19) a
AH	4,29 (1,29) a	6,49 (2,50) a	4,50 (1,02) a	5,65 (1,91) a
HUM	12,33 (2,66) a	11,77 (2,45) a	11,45 (1,38) a	11,47 (3,03) a
TSH	19,75 (3,40) a	21,91 (2,45) a	18,51 (1,38) a	21,20 (3,03) a
	Contribuição relativa % ⁽³⁾			
AF	16,23 (6,73) a	16,70 (8,70) a	13,91 (2,66) a	19,24 (0,91) a
AH	21,52 (3,13) a	28,67 (6,65) a	24,32 (5,09) a	27,14 (10,83) a
HUM	62,24 (7,22) a	54,62 (11,50) a	61,77 (5,29) a	53,60 (11,44) a
	Índices			
AH/AF	1,78 (0,88) a	2,44 (1,49) a	1,90 (0,23) a	1,32 (0,54) a
EA/HUM	0,63 (0,18) a	0,93 (0,34) a	0,77 (0,24) a	1,03 (2,89) a

⁽¹⁾ R1: Eucalipto em primeira rotação de cultivo, com quatro anos de idade; R2: Eucalipto em segunda rotação, totalizando nove anos de cultivo; R3: Eucalipto em terceira rotação, totalizando 14 anos de cultivo; FN: Floresta nativa; AF⁽²⁾ – Ácidos Fúlvicos; AH – Ácidos Húmicos; HUM – Humina; TSH – Total das Substâncias Húmicas; AH/AF – relação Ácidos Húmicos/ Ácidos Fúlvicos; EA/HUM – relação entre elementos solúveis em álcali (AF+AH) e humina. ⁽³⁾ Valores entre parênteses referem-se ao desvio padrão da média (n=4). As letras minúsculas iguais, na linha, que comparam o teor de C e os percentuais de cada substância associado ao CO entre os tratamentos não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 %.

As relações AH/AF e EA/HUM também não variaram entre os tratamentos, o que demonstra que o cultivo de eucalipto não alterou a dinâmica de estabilização do carbono orgânico no solo. O valor médio de AH/AF foi 1,9. Valores desta relação

superiores a um demonstram predomínio da fração ácidos húmicos sobre os ácidos fúlvicos e indicam que a MOS encontra-se em processo de transformação (PFLEGER et al., 2017), enquanto valores próximos de um sugerem maior equilíbrio entre as frações humificadas reativas (CANELLAS et al., 2001). Resultados próximos aos do presente estudo foram observados por Pflieger et al. (2017), que verificaram valores da relação AF/AH entre 1,4 e 2,9 em solos sob plantios de *Pinus* e sob vegetação natural.

A razão EA/HUM apresentou valores menores ou próximos de um. Isso confirma a predominância da fração mais estável em relação as frações solúveis da MOS. O valor médio observado (0,83) se aproxima dos encontrados por Fontana et al. (2006), em solos sob diferentes sistemas de cultivo no Cerrado, e por Pflieger et al. (2017), em solos sob plantações de *Pinus*.

No que diz respeito à distribuição das frações humificadas no perfil do solo, de modo geral, observou-se redução dos teores de C com o aumento da profundidade, embora com variação significativa apenas da camada superficial em relação às profundidades 10-20 e 20-40 cm (Tabela 3). Esta diminuição em profundidade está relacionado a maior deposição de resíduos orgânicos e *turnover* de raízes finas, que intensifica o acúmulo de matéria orgânica nas camadas mais superficiais do solo, e ainda ao fato da movimentação do carbono no interior do perfil ocorrer de forma lenta, que gera um gradiente a partir da superfície (BARRETO et al., 2011; PFLEGER et al., 2017). Resultados semelhantes foram encontrados por Pflieger et al. (2017), Pulrolnik et al. (2009), Rosa et al. (2017) e Ramos et al. (2013).

Ao analisar cada uma das profundidades, observou-se diferenças significativas entre tratamentos apenas na profundidade de 0-10 cm (Tabela 3), especificamente para os teores de C da fração AH e para a relação EA/HUM. A fração AH exibiu teor superior da floresta nativa em relação a área de primeira rotação, embora esta última não tenha se distinguido das áreas de segunda e terceira rotação. Segundo Barreto et al. (2008), a presença de altos teores de C na fração ácidos húmicos pode sugerir um estágio mais avançado de mineralização da matéria orgânica, corroborando com os resultados do presente estudo, que demonstraram maior teor de AH na FN e aumento de cerca de 72% na segunda e terceira rotação em relação a primeira rotação.

Tabela 3 - Carbono das substâncias húmicas (g kg⁻¹) e relações entre frações humificadas até 40 cm de profundidade de solo sob eucalipto em diferentes tempo de cultivo.

Frações	Tratamentos ⁽¹⁾			
	R1	R2	R3	FN
Profundidade 0-10 cm				
AF ⁽²⁾	3,05 (1,40) Aa	4,56 (5,35) Aa	3,27 (0,69) Aa	4,29 (0,95) Aa
AH	3,10 (0,97) Ab	5,90 (1,30) Aab	4,83(2,03) Aab	9,17 (3,69) Aa
HUM	14,22 (2,53) Aa	14,21(3,31) Aa	13,59 (2,27) Aa	10,58(1,64) Aba
TSH	20,37 (2,63) Aa	23,48 (3,04) Aa	21,69 (3,81) Aa	24,05 (2,56) Aa
AH/AF	1,23 (0,64) a	2,41(1,69) a	1,47 (0,51) a	2,63 (0,32) a
EA/HUM	0,44 (0,12) b	0,51 (0,15) b	0,59 (0,17) b	1,33 (0,52) a
Profundidade 10-20 cm				
AF	2,88 (1,57) Aa	2,21 (1,45) Ba	2,36 (1,48) Aa	3,67 (0,30) Aa
AH	4,96 (1,63) Aa	3,50 (0,59) Aa	5,40 (4,21) Aa	3,63 (0,42) Ba
HUM	12,93 (4,52) ABa	11,43 (2,38) Ba	10,98 (2,90) Ba	9,27 (2,93) Ba
TSH	20,77 (4,33) Aa	17,15 (1,05) Ba	18,75 (3,45) Aa	16,58 (2,97) Ba
AH/AF	2,12 (1,23) a	2,07 (1,10) a	2,64 (1,77) a	1,00 (0,18) a
EA/HUM	0,70 (0,40) a	0,54 (0,31) a	0,71(0,40) a	0,84 (0,24) a
Profundidade 20-40 cm				
AF	3,28 (1,79) Aa	3,89 (0,69) Ba	2,43 (1,26) Aa	4,56 (0,44) Aa
AH	4,56 (3,12) Aa	5,55 (3,47) Aa	3,67 (0,94) Ba	4,83 (3,16) Ba
HUM	11,08 (2,48) Ba	12,06 (2,50) Ba	8,73 (3,91) Ba	12,45 (4,78) A
TSH	18,92 (5,83) Aa	23,39 (3,35) Aa	14,84 (1,87) Ba	22,14 (2,52) Aa
AH/AF	1,89 (1,50) a	1,89 (1,24) a	1,76 (0,67) a	1,06 (0,68) a
EA/HUM	0,70 (0,25) a	0,95 (0,37) a	0,89 (0,59) a	1,08 (0,84) a

⁽¹⁾ R1: Eucalipto em primeira rotação de cultivo, com quatro anos de idade; R2: Eucalipto em segunda rotação, totalizando nove anos de cultivo; R3: Eucalipto em terceira rotação, totalizando 14 anos de cultivo; FN: Floresta nativa; ⁽²⁾AF – Ácidos Fúlvicos; AH – Ácidos Húmicos; HUM – Humina; TSH – Total das Substâncias Húmicas; AH/AF – relação Ácidos Húmicos/ Ácidos Fúlvicos; EA/HUM – relação entre elementos solúveis em álcali (AF+AH) e humina. ⁽³⁾Valores entre parênteses referem-se ao desvio padrão da média (n=4). As letras minúsculas iguais, na linha, que comparam os tratamentos, e as letras maiúsculas, na coluna, que comparam as profundidades, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 %.

A relação AH/AF não detectou diferença entre tratamentos em nenhuma das três profundidades estudadas, apresentando valores entre 1,0 e 2,6 (Tabela 3). Já a relação EA/HUM evidenciou diferenças apenas na profundidade 0-10 cm, que apresentou resultado superior da floresta nativa (1,33) em relação as áreas de eucalipto (média de 0,51) (Tabela 3). Isso indica que o cultivo de eucalipto favoreceu uma maior participação da fração humina em relação a soma das demais frações (AF e AH), ou seja, uma maior estabilidade da MOS. É possível que este resultado esteja relacionado a maior recalcitrância dos resíduos depositados pelo eucalipto, como efeito da sua baixa qualidade nutricional e orgânica, conforme relatado por diversos autores na literatura (COSTA et al., 2005; PEGORARO et al., 2011; PINTO et al., 2016). Resultados de relação EA/HUM também inferiores a um foram observados por Fontana et al. (2006), em solos sob diferentes sistemas de cultivo no Cerrado (média de 0,60), e por Silva et al. (2015) em área de revegetação com *Eucalyptus camaldulensis* (0,27).

Na profundidade 0-10 cm, o teor médio de C do TSH foi de 22,4 g kg⁻¹ (Tabela 3). Este resultado se aproxima dos valores médios observados por Pflieger et al. (2017) (24,5 g kg⁻¹) e Barreto et al. (2008) (26,8 g kg⁻¹), em solos sob *Pinus* e floresta nativa, respectivamente.

A ocorrência de variações significativas apenas na camada mais superficial do solo está relacionada ao fato da cobertura florestal exercer maior influência sobre as camadas superficiais do solo, dado ao aporte contínuo de material orgânico, oriundo da queda de folhas, galhos e casca das árvores (GATTO et al.,2010) e da intensa ciclagem de raízes finas (PFLEGER et al.,2017). Esse resultado está em concordância com vários estudos realizados em solos sob sistemas florestais, que observaram maior variação entre tratamentos ao considerar a profundidade 0-10 cm (PFLEGER et al.,2017; ROSA et al.,2017 e RAMOS et al.,2013).

CONCLUSÃO

O cultivo de eucalipto por até três rotações sucessivas influencia a estabilização da matéria orgânica do solo na profundidade superficial (0-10 cm), com reflexos nos teores de C da fração ácidos húmicos e na relação EA/HUM, inferiores em relação a floresta nativa.

REFERÊNCIAS

BARRETO, P.A.B.; GAMA-RODRIGUES, E.F.D.; 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.581-590, 2014.

BARRETO, A. C.; FREIRE, M. B. G. S.; NACIF, P. G. S.; ARAÚJO, Q. R.; FREIRE, F. J.; INÁCIO, E. S. B. Fracionamento químico e físico do carbono orgânico total em um solo de m submetido a diferentes usos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, n. 4, 2008.

BARRETO, P. A. B.; GAMA-RODRIGUES. E. F.; GAMARODRIGUES, A. C.; BARROS, N. F.; ALVES, B. J. R. FONSECA, S. Mineralização de nitrogênio e carbono em solos sob plantações de eucalipto, em uma sequência de idades. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 34:735-745, 2010.

CANELLAS, L. P.; SANTOS, G. A.; RUMJANEK, V. M.; MORAES, A. A.; GURIDI, F. Distribuição da matéria orgânica e características de ácidos húmicos em solos com adição de resíduos de origem urbana. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 12, p. 1529-1538, dez. 2001.

FONTANA, A.; PEREIRA, M. G.; LOSS, A.; CUNHA, T. J. F.; SALTON, J. C. Atributos de fertilidade e frações húmicas de um Latossolo Vermelho no Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 5, p. 847-853,2006.

GATTO, A.; BARROS, N.F.B.; NOVAIS, R.F.; SILVA, I; R.; LEITE, H.G.; LEITE, F.P.; VILLANI, E.M.A. Estoques de carbono no solo e na biomassa Em plantações de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 34:1069-1079, 2010

HAN, L.; SUN, K.; JIN, J.; XING, B. Some concepts of soil organic carbon characteristics and mineral interaction from a review of literature. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 94, p. 107-121,2016

MENDONÇA, E. S.; MATOS, E. S. Matéria orgânica do solo: métodos de análises. Viçosa, MG: UFV, 2017.

MIRANDA, C. C.; CANELLAS, L. P.; NASCIMENTO, M. T. Caracterização da matéria orgânica do solo em fragmentos de mata atlântica e em plantios abandonados de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 31, n. 5, 2007

LONGO, R.M. & ESPÍNDOLA, C.R. C-orgânico, N-total e substâncias húmicas sob influência da introdução de pastagens (*Brachiaria* sp.) em áreas de Cerrado e Floresta Amazônica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 24:723-729. 2000.

PEGORORO, R. F.; SILVA, I. R.; NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; FONSECA, S.; DAMBROZ, C. S. Estoques de carbono e nitrogênio nas frações da matéria orgânica em Argissolo sob eucalipto e pastagem. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 2, p. 261–273, 2011.

PFLEGER, P.; CASSOL, P. C.; MAFRA, A. L. Substâncias húmicas em cambissolo sob vegetação natural e plantios de pinus em diferentes idades. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 27, n. 3, p. 807-817, jul.-set., 2017.

PULRONIK, K.; BARROS, N.F. de; SILVA, I.R.; NOVAIS, R.F.; BRANDANI, C.B. Estoques de carbono e nitrogênio em frações lábeis e estáveis da matéria orgânica de solos sob eucalipto, pastagem e cerrado no vale do Jequitinhonha-MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.1125-1136, 2009.

ROSA, D. M.; NÓBREGA, L. H. P.; MAULI, M. M.; LIMA, G. P. DE; PACHECO, F. P. Substâncias húmicas do solo cultivado com plantas de cobertura em rotação com milho e soja. **Revista Ciência Agronômica**, 2017.

SOARES, E. M. B.; SILVA, I. R.; BARROS, N. F.; TEIXEIRA, R. S.; FONSECA, S.; VASCONCELOS, A. DE A.; SOUZA, R. N. Soil organic matter fractions under second-rotation eucalyptus plantations in eastern Rio Grande do Sul. **Revista Árvore**, 2017.

ARTIGO 2:

**Biomassa e atividade microbiana de solos cultivados com eucalipto por até
três rotações sucessivas**

O artigo segue as normas da Revista Scientia Forestalis

Biomassa e atividade microbiana de solos cultivados com eucalipto por até três rotações sucessivas

Biomass and microbial activity of soils cultivated with eucalyptus for up to three successive rotations

RESUMO

O objetivo deste estudo foi caracterizar a atividade e biomassa microbiana em solos cultivados com eucalipto por até três rotações sucessivas. O estudo foi realizado em plantações comerciais de *Eucalyptus urophylla* em primeira, segunda e terceira rotação, utilizando um fragmento de floresta nativa como referência. Foram coletadas amostras de solo na profundidade 0-10 cm. Para determinar os teores de carbono e o nitrogênio da biomassa microbiana do solo foi utilizado o método da fumigação-extração. A atividade microbiana foi estimada pela quantidade de CO₂ liberada durante período de incubação. Os teores de C orgânico do solo e C da biomassa microbiana foram indicadores mais discriminantes para aferir as alterações ocasionadas pelo tempo de cultivo de eucalipto. Dentre os índices microbiológicos, o quociente metabólico foi mais sensível, evidenciando que as rotações sucessivas promovem aumento da eficiência dos microrganismos.

Palavras-chave: matéria orgânica, microbiota do solo, rotações de cultivo, ciclagem de nutrientes, plantações de eucalipto.

ABSTRACT

The objective of this study was to characterize the activity and microbial biomass in soils cultivated with eucalyptus for up to three successive rotations. The study was carried out in commercial plantations of *Eucalyptus urophylla* in first, second and third rotation using a native forest fragment as reference. Soil samples were collected at depth 0-10 cm. To determine the carbon and nitrogen contents of soil microbial biomass, the fumigation-extraction method was used. Microbial activity was estimated by the amount of CO₂ released during the incubation period. The levels of soil organic C and microbial biomass C were more discriminatory indicators to measure the changes caused by the eucalyptus cultivation time. Among the microbiological indexes, the

metabolic quotient was more sensitive, evidencing that the successive rotations promote increase of the efficiency of the microorganisms.

Key words: organic matter, soil microbiota, crop rotations, nutrient cycling, eucalyptus plantations.

INTRODUÇÃO

No Brasil, grande proporção da área de florestas plantadas é constituída pelo gênero *Eucalyptus*, que se encontra distribuído nas mais variadas condições de clima e solo do país, como resultado da sua extensa diversidade, boa adaptabilidade e rápido crescimento (FERNANDES et al., 2018). No estado da Bahia, a área ocupada pelo gênero corresponde a cerca de 612 mil hectares, com crescimento anual de 2,4 % (IBA,2017) e grande expectativa de expansão na região Sudoeste do estado (MENDES et al.,2016).

Devido aos ciclos longos de cultivo e deposição contínua de material senescente da parte aérea e do sistema radicular, as plantações de *Eucalyptus* propiciam o acúmulo de uma espessa camada orgânica na superfície do solo. Esta camada exerce importante papel no retorno de nutrientes e na manutenção ou aumento dos níveis de matéria orgânica do solo (MOS). Assim, mudanças no sistema de manejo e tempo de cultivo podem ocasionar alterações nas taxas de adição e decomposição da MOS.

Alguns compartimentos da MOS são capazes de detectar, mais rapidamente, a ocorrência de mudanças associadas ao uso e manejo do solo, podendo-se destacar a biomassa microbiana, que mostra-se extremamente sensível à influência de fatores bióticos e abióticos (GAMA-RODRIGUES et al., 2005). A biomassa microbiana do solo (BM) tem função catalítica, controlando os processos de mineralização-mobilização de nutrientes na MOS, sendo influenciada por fatores como textura do solo e sistema de manejo (VENZKE FILHO et al., 2008). Dessa forma, a análise da BM poderia ser usada como indicador de mudanças na MOS ocasionadas pelo tempo de cultivo do eucalipto, no entanto, estudos relacionados a este tema ainda são escassos.

Diante do exposto, o objetivo deste estudo foi avaliar o efeito do cultivo de eucalipto, por até três rotações sucessivas, na atividade e teores de C e N da biomassa microbiana do solo.

MATERIAL E MÉTODOS

Descrição da área de coleta

O estudo foi realizado em plantações comerciais de eucalipto, localizadas na fazenda Baixão (coordenadas geográficas: 14° 49' S e 40° 59' W), distrito de Pradoso, pertencente ao município de Vitória da Conquista, Sudoeste do estado da Bahia.. O clima da região é o tropical de altitude, tipo Cwb, segundo a classificação de Köppen, com precipitação média anual de 734 mm e estação seca de maio a setembro. O solo é classificado como Latossolo Amarelo Distrófico, apresenta textura argiloarenosa e características químicas conforme Tabela 1.

Tabela 1. Caracterização química e composição granulométrica de solo sob eucalipto em diferentes tempos de cultivo e sob floresta nativa

Tratamento	pH	P	Al	H+Al	K	Ca	Mg	Argila	Areia	Silte	De
R1	4,5	1	1,2	5,6	0,15	0,5	0,5	370	550	80	1,17
R2	4,6	1	0,9	6,4	0,12	0,7	0,7	460	470	70	1,11
R3	4,4	2	1,3	6,9	0,13	0,4	0,8	470	455	75	1,23
FN	4,7	2	0,8	6,0	0,18	0,8	0,8	370	580	50	1,18

(¹) R1: Eucalipto em primeira rotação de cultivo, com quatro anos de idade; R2: Eucalipto em segunda rotação, totalizando nove anos de cultivo; R3: Eucalipto em terceira rotação, totalizando 14 anos de cultivo; FN: Floresta nativa; De: densidade do solo. Análises realizadas conforme EMBRAPA (2017): pH em água; P e K (extraíveis por Mehlich-1), Ca²⁺, Mg²⁺ e Al³⁺ (por KCl 1 mol L⁻¹); granulometria pelo método da pipeta e densidade pelo método do anel volumétrico. Foram utilizadas quatro amostras compostas por 20 amostras simples, de cada área de estudo.

As áreas de estudo foram selecionadas com base no tempo a que foram submetidas ao cultivo de eucalipto, obtendo-se uma sequência de áreas com número progressivo de rotações. Dessa forma, foram avaliadas três áreas de eucalipto: R1 – em primeira rotação, cultivada a quatro anos, estabelecida em regime de alto fuste, por meio de mudas seminais, em espaçamento de 3 x 4 m; R2 – em segunda rotação, cultivada a nove anos, conduzida em regime de talhadia após realização do primeiro corte aos cinco anos de idade, em espaçamento de 3 x 3 m; R3 – em terceira rotação, cultivada a 14 anos, também conduzida em regime de talhadia e em espaçamento 3 x 3 m. Além destas três áreas, uma área de floresta nativa (FN), localizada nas adjacências dos plantios, foi utilizada como referência.

Além de considerar as rotações de cultivo, a escolha das áreas de estudo foi baseada no material genético (*Eucalyptus urophylla*, reproduzido de forma seminal),

condição edafoclimática e histórico de implantação e preparo do solo, comum a todas as áreas. Os plantios foram estabelecidos em área de pastagem degradada e capoeira baixa após limpeza com trator de esteiras e preparo do solo com aração e subsolagem nas linhas de plantio a 50 cm de profundidade.

A vegetação do fragmento de floresta nativa é classificada como Floresta Estacional Decidual e apresenta predominância de espécies da família Fabaceae, sobretudo do gênero *Parapiptadenia* (IBGE, 2012). Localiza-se em uma zona de transição entre Caatinga e Mata Atlântica, possuindo área total de cerca de 20 hectares.

Para as coletas de solo, foram instaladas quatro parcelas de 20 x 20 m em cada área de estudo. Em cada parcela, foram coletadas 20 amostras simples de solo (camada 0-10 cm), que constituíram uma amostra composta de cada parcela. As coletas foram realizadas por caminhamento em duas diagonais cruzadas.

As amostras de solo foram analisadas para determinação dos teores de C orgânico (COS) e de nitrogênio total. Para o COS foi adotado o método da oxidação úmida (MATOS & MENDONÇA, 2017). Adicionou-se em erlenmeyers de 250 ml: 0,5 g de solo (TFSA), 5 ml de K_2CrO_7 mol L⁻¹ e 15 ml de H_2SO_4 , que foram aquecidos a 170°C por 30 minutos e titulados com sulfato ferroso amoniacal 0,1 mol l⁻¹. O N total foi determinado pelo método Kjeldahl, conforme Bataglia et al. (1983).

Para proceder as análises microbianas, as umidades das amostras foram ajustadas para 40% da capacidade máxima de saturação do solo, pelo método da proveta (EMBRAPA, 2017). Adicionou-se TFSA em uma proveta de 100 ml sobre uma bandeja com areia, após acrescentou-se com uma pisseta H_2O destilada lentamente, parando a irrigação quando o umedecimento atingiu 2/3 da altura do solo dentro da proveta. A amostra ficou em repouso por 24 horas. Após esse período retirou-se amostra do solo úmido em 3 posições (superior, media e inferior) dentro da frente de umedecimento. Tais amostras foram conduzidas a estufa a 105° C por 24 horas e, após isso, foram pesadas em balança de precisão.

Para estimar o carbono e o nitrogênio da biomassa microbiana do solo (CBM e NBM, respectivamente) foi utilizado o método da fumigação-extração, adotando a metodologia de Tate et al. (1988) para C e de Joergensen & Brookes (1990) para N. Assim, foram pesados 20 g de cada amostra de solo com 6 repetições (3 para fumigação e 3 para ausência de fumigação). Para fumigação, as amostras foram colocadas em dessecador juntamente com dois frascos de vidro (um contendo

clorofórmio e outro água), retirando-se o ar com bomba de vácuo. O dessecador com as amostras foi colocado em ambiente completamente escuro por 18 horas. Após esse período, procedeu-se a extração. No caso das amostras não fumigadas, procedeu-se a extração imediatamente.

O procedimento de extração foi realizado a partir da adição de 50 ml de sulfato de potássio (K_2SO_4) em cada frasco, seguido de agitação por 45 minutos e decantação por 30 minutos. Após isso, foi realizada filtração dos extratos, utilizando-se funil e papel filtro.

Para determinação do CBM, em tubo de ensaio, pipetou-se 2 ml de extrato, 3 ml de água deionizada, 2,5 ml da solução trabalho e 2,5 ml de ácido sulfúrico concentrado. Após agitação manual, os tubos de ensaio ficaram em repouso por 18 horas. A leitura da absorbância das soluções foi realizada em espectrofotômetro, utilizando comprimento de onda de 495 nm.

Para determinação do NBM, adicionou-se 0,75 ml do extrato em tubo de ensaio, em seguida acrescentou-se 1,75 ml o ácido cítrico tampão e 1,25 ml do reagente ninidrina. Os tubos foram aquecidos por 25 minutos em banho maria a 100° C e depois deixados em temperatura ambiente até esfriar. Na sequência, adicionou-se 4,5 ml de álcool etílico 50%. A leitura da absorbância foi realizada em espectrofotômetro, utilizando comprimento de onda de 570 nm.

A atividade microbiana (respiração acumulada do solo) foi estimada pela quantidade de CO_2 liberada (JENKINSON & POWLSON, 1976). Para cada amostra de solo, foram utilizados três frascos do tipo snap cap de 150 mL, um com solo (50 g), outro com NaOH (10 mL) e um com água, que foram incubados por 11 dias em recipiente de vidro de 3,5 L hermeticamente fechado. Ao final do período de incubação, adicionou-se à solução de NaOH 2 ml da solução saturada de $BaCl_2$ e duas gotas de fenolftaleína (1%), procedendo-se, em seguida, a titulação com HCl 0,5 mol L^{-1} .

A partir dos resultados obtidos, foram calculados os seguintes índices microbianos: relações C da biomassa microbiana/C orgânico (CBM:C), N da biomassa microbiana/N total (NBM:N) (SPARLING, 1992) e o quociente metabólico (qCO_2), que corresponde a relação entre a respiração acumulada e o C da biomassa microbiana (ANDERSON & DOMSCH, 1993), expresso em $mg CO_2 g^{-1} dia^{-1}$ de CBM.

Análise estatística

Os dados foram submetidos aos testes de Lilliefors e Bartlett para avaliação da normalidade e homogeneidade, e, quando necessário, convertidos. Para verificação das diferenças entre as rotações de eucalipto, foi realizada a análise de variância, segundo um delineamento inteiramente casualizado (teste F a 5%), tendo em vista que as parcelas foram distribuídas casualmente, com quatro tratamentos e quatro repetições. Adotou-se o teste de Tukey ao nível de 5% de significância para comparação de médias. De forma complementar, foi realizada uma avaliação conjunta dos atributos microbiológicos e químicos do solo por meio da análise componentes principais (ACP), empregado o programa XLSTAT®.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os teores de carbono orgânico total do solo foram influenciados pelas rotações de cultivo, verificando-se valor inferior na rotação 1 ($8,6 \text{ g kg}^{-1}$) em relação as rotações 2 e 3 (média de $17,1 \text{ g kg}^{-1}$), embora estas últimas não tenham se distinguido da floresta nativa (Tabela 2). Isso demonstra que o cultivo de eucalipto promoveu acréscimos nos teores de C do solo, possivelmente como resultado do aumento do aporte de material orgânico ao solo, tendo em vista que a área foi anteriormente ocupada por pastagem degradada. Este resultado está de acordo com Lima et al. (2006), que, ao substituir pastagem degradada por cultivo de eucalipto, observaram aumento dos teores de COS. Neste sentido, diversos estudos relatam que a retirada ou conversão de floresta em sistemas manejados provoca declínio dos estoques de MOS (Rosa et al., 2003; Canellas et al., 2007; Portugal et al., 2010; Freitas et al., 2018). Fernandes et al. (2012), em Latossolo Amarelo sob primeira rotação de eucalipto, encontraram valores baixos de C orgânico (entre $5,3$ e $6,1 \text{ g kg}^{-1}$). Já Barreto et al. (2008), em Argissolo Amarelo sob terceira rotação de cultivo de eucalipto encontraram valores entre $21,4$ a $29,4 \text{ g de C kg}^{-1}$.

Tabela 2. Carbono orgânico, nitrogênio total, carbono e nitrogênio da biomassa microbiana e atividade microbiana de solo sob diferentes tempos de cultivo de eucalipto e floresta nativa.

Tratamentos ⁽¹⁾	C	N	CBM	NBM	AM
	g kg ⁻¹		μg g ⁻¹		
R1	8,85 b	0,71 a	91,84 b	70,17 a	328,18 a
R2	18,03 a	0,94 a	101,00 b	75,38 a	276,86 a
R3	16,24 a	0,75 a	190,92 a	69,39 a	243,81 a
FN	18,77 a	1,29 a	163,68 ab	58,86 a	295,60 a
	C:N	C:N Mic	CBM:C	NBM:N	qCO ₂
			%		mg g ⁻¹ dia ⁻¹
R1	13,11 b	1,34 a	1,02 a	10,39 a	283,56 a
R2	20,36 a	1,56 a	0,56 a	8,81 a	254,60 a
R3	21,59 a	3,50 a	1,17 a	9,47 a	131,01 b
FN	14,87 b	3,48 a	0,90 a	4,43 a	168,37 b

⁽¹⁾ R1: Eucalipto em primeira rotação de cultivo, com quatro anos de idade; R2: Eucalipto em segunda rotação, totalizando nove anos de cultivo; R3: Eucalipto em terceira rotação, totalizando 14 anos de cultivo; FN: Floresta nativa; C – C orgânico; N – N total; CBM – C da biomassa microbiana; NBM – N da biomassa microbiana; AM – Atividade microbiana; C:N microbiana – 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; qCO₂ - Quociente metabólico. (2) Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5%.

Os teores de nitrogênio total não mostraram variação entre as rotações e nem destas em relação a floresta nativa (Tabela 2). Pulrolnik et al. (2009), estudando solos sob plantações de eucalipto com 20 anos de idade, também não observaram diferenças em comparação a floresta nativa, verificando valores entre 1,2 e 1,6 g de N kg⁻¹ de solo.

O carbono da biomassa microbiana (CBM) apresentou maiores teores na terceira rotação, cujo valor (190,9 μg g⁻¹) foi superior aos da primeira (91,8 μg g⁻¹) e segunda rotação (101,0 μg g⁻¹), que não se distinguiram entre si (Tabela 2). Esse resultado sugere que o maior tempo de cultivo da área sob terceira rotação favorece o aumento do CBM, possivelmente pelo maior acúmulo resíduos vegetais sobre o solo. Pulrolnik et al. (2009) constataram teor de CBM de 184,2 mg Kg⁻¹, em solos sob plantações de eucalipto com 20 anos de idade.

O N da biomassa microbiana (NBM) e a atividade microbiana (AM) não evidenciaram diferenças entre as rotações de eucalipto e a floresta nativa. O NBM apresentou valores médios de 58,9 μg g⁻¹ para a floresta nativa e 71,7 μg g⁻¹ para as

rotações. O valor médio de AM foi de 286,2 $\mu\text{g g}^{-1}$ (Tabela 2). Barreto et al. (2008) encontraram uma variação de 43,8 a 74,39 $\mu\text{g g}^{-1}$ para NBM e de 15,2 e 69,36 $\mu\text{g g}^{-1}$ para AM em solos sob plantações de eucalipto em sequência de idades. Pegoraro et al. (2011), comparando solos sob plantações de eucalipto e sob pastagem, não observaram diferenças significativas para o NBM.

A relação C:N do solo foi inferior na rotação 1 (13,0) e na floresta nativa (14,0) em relação as rotações 2 e 3 (média de 21,0), que não variaram entre si. Esse resultado indica que o aumento do tempo de cultivo promoveu aumento da relação C:N do solo. Este resultado pode ser atribuído a influência da serapilheira do eucalipto, que apresenta valores elevados de relação C:N (COSTA et al., 2005; PULROLNIK et al. 2009; PINTO et al., 2016) e das relações CEL:N e LIG:N (BARRETO et al., 2008), que conferem maior nível de recalcitrância e baixas taxas de decomposição.

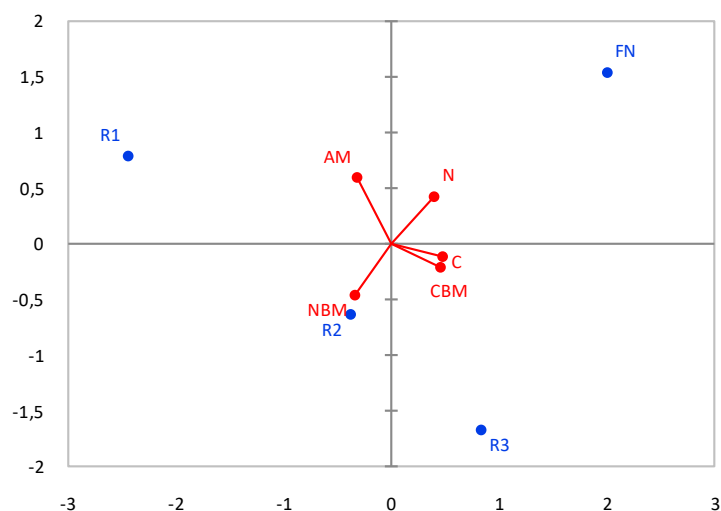
Por outro lado, de modo geral, os índices microbiológicos não evidenciaram diferenças entre as áreas estudadas. Apenas o $q\text{CO}_2$ (quociente metabólico) apresentou variação significativa, com maiores valores nas duas primeiras rotações em relação a rotação 3 e a floresta nativa (Tabela 2), demonstrando que o aumento do tempo de cultivo favoreceu a eficiência dos microrganismos em utilizar o substrato para sua atividade e também em incorporar o C à sua biomassa. Nota-se que o valor encontrado na terceira rotação (131,0 $\text{mg g}^{-1} \text{dia}^{-1}$) é menos da metade do observado na primeira rotação (283,6 $\text{mg g}^{-1} \text{dia}^{-1}$). Segundo Chaer & Tótola (2007), menores valores de quociente metabólico geralmente são associados com ecossistemas mais estáveis e maduros, enquanto valores mais elevados são indício de ecossistemas sob alguma condição de estresse ou distúrbio.

A relação C:N microbiana foi, em média, 2,5. Esse valor se aproxima do encontrado por Barreto et al. (2008), também em solos sob plantações com eucalipto (2,9).

Os índices CBM:C e NBM:N foram, em média, 0,9 e 8,3%, respectivamente (Tabela 2). Para a relação CBM:C, Pulrolnik et al. (2009) e Barreto et al. (2008) observaram valores inferiores (0,7 e 0,6 %, respectivamente), enquanto Gama-Rodrigues et al. (2005) verificaram valores superiores (média de 2,2%) em solos sob plantações de eucalipto. Para a relação NBM:N, Barreto et al. (2008) observaram valor médio de 3,6 %.

A análise de componentes principais (ACP) para os atributos microbiológicos (CBM, NBM e AM) e químicos (C e N) do solo (Figura 1) apresentou autovalores de

53,84% para o primeiro eixo (horizontal, CP1) e 30,97% para o segundo eixo (vertical, CP2), o que corresponde a 84,80% da variância total acumulada nos dois primeiros eixos.



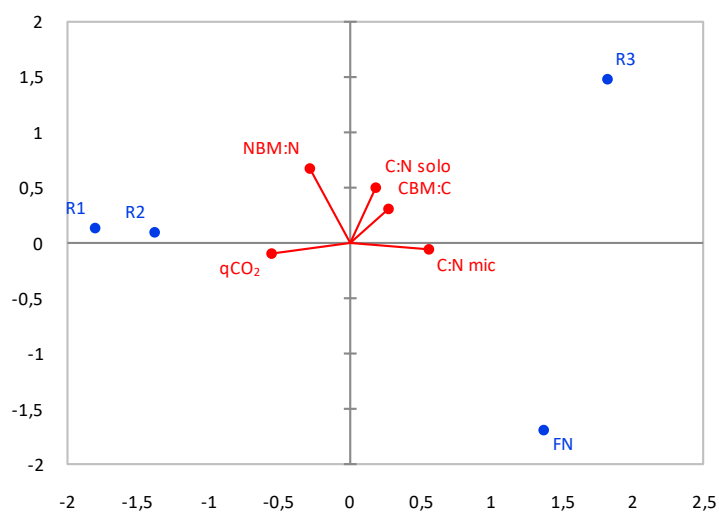
Em que: R1: Eucalipto em primeira rotação de cultivo, com quatro anos de idade; R2: Eucalipto em segunda rotação, totalizando nove anos de cultivo; R3: Eucalipto em terceira rotação, totalizando 14 anos de cultivo; FN: Floresta nativa; C – orgânico; N – N total; CBM – C da biomassa microbiana; NBM – N da biomassa microbiana; AM – atividade microbiana;

Figura 1. Diagrama de ordenação produzido pela análise de componentes principais dos atributos microbianos de solo sob diferentes tempos de cultivo de eucalipto e floresta nativa.

Os atributos do solo mais fortemente associados com o primeiro eixo de ordenação foram C, CBM e N, que apresentaram índices de correlação de 0,87; 0,81 e 0,73, nesta ordem, caracterizando uma estreita relação entre estes atributos. AM apresentou baixa correlação com este eixo (-0,56). O segundo eixo teve como atributos mais relevantes a AM (0,82), e NBM (-0,66). As variáveis que apresentaram menor correlação com este eixo foram C (-0,16), CBM (-0,30) e N (0,59), tendo, portanto, menor participação para explicar este componente principal. Barreto et al. (2008), também utilizando a ACP para interpretar a relação entre atributos químicos e microbianos de solos sob plantações de eucalipto, verificaram que C e N estiveram entre as variáveis mais correlacionadas com o primeiro eixo e, portanto, mais discriminantes para aferir alterações nos solos.

A dispersão gráfica (Figura 1) demonstra que houve dissimilaridade entre as quatro áreas estudadas. A rotação 1 e a floresta nativa localizaram-se no quadrante superior (à esquerda e direita do diagrama, nesta ordem) e estiveram fortemente correlacionadas com CP1 (0,87 e 0,63, respectivamente). Ou seja, estes resultados são decorrentes dos valores de C, N, CBM e NBM observados na R1 e na FN, tendo em vista que estas variáveis foram as mais importantes para a explicação da variância total dos resultados. Por sua vez, as rotações 2 e 3 agruparam-se no quadrante inferior, próximos de CP2, o que demonstra que AM, CBM e NBM, atributos mais correlacionados com o segundo eixo, foram as características mais discriminantes para detectar alterações ocasionadas pelo tempo de cultivo.

Para os índices microbianos (Figura 2), a ACP apresentou autovalores de 52,19% para o primeiro eixo (horizontal, CP1) e 25,18% para o segundo eixo (vertical, CP2), o que representa 77,37 % da variância total acumulada nos dois primeiros eixos. O diagrama de dispersão da ACP mostrou agrupamento das duas primeiras rotações, que ficaram posicionados no quadrante superior esquerdo, enquanto R3 e FN localizaram-se em quadrantes distintos à direita do diagrama. Isso indica dissimilaridade das rotações iniciais em relação a terceira rotação e floresta nativa no que diz respeito a eficiência da biomassa microbiana do solo na imobilização-mineralização de C e N (Figura 2).



Em que: R1: Eucalipto em primeira rotação de cultivo, com quatro anos de idade; R2: Eucalipto em segunda rotação, totalizando nove anos de cultivo; R3: Eucalipto em terceira rotação, totalizando 14

anos de cultivo; FN: Floresta nativa; CBM:C – relação C da biomassa microbiana: C orgânico; NBM:N – relação N da biomassa microbiana: N total; qCO_2 – Quociente metabólico.

Figura 2. Diagrama de ordenação produzido pela análise de componentes principais dos índices microbianos de solo sob diferentes tempos de cultivo de eucalipto e floresta nativa.

Os índices que mais fortemente se correlacionaram com o primeiro eixo de ordenação foram C:N mic (0,99) e qCO_2 (-0,98). Para o segundo eixo os índices mais relevantes foram NBM:N (0,83) e C:N solo (0,63). Isso reforça a importância da utilização de índices microbiológicos para aferir alterações no solo. De acordo com Monteiro & Gama-Rodrigues (2004) estes podem expressar a dinâmica do C e N de maneira mais adequada que os valores absolutos de biomassa microbiana.

A distribuição das áreas no diagrama da Figura 2 estaria refletindo o efeito do tempo de cultivo sobre os índices microbiológicos do solo, demonstrando a diferenciação da rotação mais avançada em relação a fase inicial de estabelecimento da cultura (rotação 1).

CONCLUSÕES

Os teores de C orgânico do solo e de C da biomassa microbiana foram indicadores mais discriminantes para aferir as alterações ocasionadas pelo tempo de cultivo de eucalipto. Dentre os índices microbiológicos, o quociente metabólico foi mais sensível, evidenciando que as rotações sucessivas promovem aumento da eficiência dos microrganismos.

REFERÊNCIAS

ANDERSON, T.H. & DOMSCH, K.H. The metabolic quotient (qCO_2) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. **Soil Biology and Biochemistry**, 25:393-395, 1993.

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 uma sequência de idades. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32:611-619, 2008.

BATAGLIA, O.C.; FURLANI, A.M.C.; TEIXEIRA, J.P.F.; FURLANI, P.R. & GALLO, J.R. Métodos de análise química de plantas. Campinas, Instituto Agrônomo, 1983.48p. (Boletim Técnico, 78).

CANELLAS, L. P.; BALDOTTO, M. A.; BUSATO, J. G.; MARCIANO, C. R.; MENEZES, S. C.; SILVA, N. M. da.; RUMJANEK, V. M.; VELLOSO, A. C. X.; SIMÕES, M. L.; MARTIN-NETO, L. Estoque e qualidade da matéria orgânica de um solo cultivado com cana-de-açúcar por longo tempo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 2007.

EMBRAPA. Manual de Métodos de. Análise de Solo. 3ª edição revista e ampliada. Embrapa. Brasília, DF. 2017.

FERNANDES, M. M.; CARVALHO, M. G. C.; Araujo, J. M. R.; Melo, F. R.; Silva, C. A.; Sampaio, F.M. T.; Lobato, M. G. R. Matéria orgânica e biomassa microbiana em plantios de eucalipto no Cerrado piauiense. **Floresta e Ambiente**, 2012.

FERNANDES, J.S.; CONCEIÇÃO JÚNIOR, V.; BARRETO-GARCIA, P. A. B. Field Performance of Eucalyptus Hybrids at Planalto da Conquista, Bahia, Brazil. **Floresta e Ambiente**, 2018.

FREITAS, L. de; OLIVEIRA, I. A. de; CASAGRANDE, J. C.; SILVA, L. S.; CAMPOS, M. C. C. Estoque de carbono de latossolos em sistemas de manejo natural e alterado. *Ciência Florestal*, 2018.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES (IBÁ). Relatório IBÁ – 2017. Indicadores de desempenho do setor nacional de árvores plantadas referentes ao ano de 2016.

JOERGENSEN, R.G. & BROOKES, P.C. Ninhydrin-reactive nitrogen measurements of microbial biomass in 0,5 M K₂SO₄ soil extracts. **Soil Biology and Biochemistry**, 22:1033-1027, 1990.

JENKINSON, D.S. & POWLSON, D.S. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil-I. Fumigation with chloroform. **Soil Biology and Biochemistry**, 8:167-177, 1976.

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**, 2005.

MENDONÇA, E. S.; MATOS, E. S. Matéria orgânica do solo: métodos de análises. Viçosa, MG: UFV, 2017.

PEGORORO, R. F.; SILVA, I. R.; NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; FONSECA, S.; DAMBROZ, C. S. Estoques de carbono e nitrogênio nas frações da matéria orgânica em Argissolo sob eucalipto e pastagem. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 2, p. 261–273, 2011.

PULRONIK, K.; BARROS, N.F. de; SILVA, I.R.; NOVAIS, R.F.; BRANDANI, C.B. Estoques de carbono e nitrogênio em frações lábeis e estáveis da matéria orgânica de solos sob eucalipto, pastagem e cerrado no vale do Jequitinhonha-MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.1125-1136, 2009.

PORTUGAL, A. F.; COSTA, O. D. V.; COSTA, L. M. da. Propriedades físicas e químicas do solo em áreas com sistemas produtivos e mata na região da Zona da Mata mineira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 2010.

ROSA, M. E. C., OLSZEWSKI, N., MENDONÇA, E. S., COSTA, L. M., & CORREIA, J. R. Formas de carbono em Latossolo Vermelho Eutroférico sob plantio direto no sistema biogeográfico do cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 2003.

SCHUMACHER M.V.; BRUN, E.J.; HERNANDES, J.I.; KÖNIG, F.G. Produção de serapilheira em uma floresta de *Araucaria angustifolia* (bertol.) kuntze no município de Pinhal Grande-RS. **Revista Árvore**, 2004.

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**, 30:195-207, 1992.

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

VENZKE FILHO, S.P.; FEIGL, B.J; PICCOLO, M.C., SIQUEIRA NETO, M.; CERRI.C.C. Biomassa microbiana do solo em sistema de plantio direto na região de Campos Gerais - Tibagi, PR. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32:599-610, 2008.

3. CONCLUSÕES GERAIS

O cultivo de eucalipto por até três rotações sucessivas influencia a estabilização da matéria orgânica do solo na profundidade superficial (0-10 cm), com reflexos nos teores de C da fração ácidos húmicos e na relação EA/HUM, inferiores em relação a floresta nativa.

Os teores de C orgânico do solo e de C da biomassa microbiana foram indicadores mais discriminantes para aferir as alterações ocasionadas pelo tempo de cultivo de eucalipto. Dentre os índices microbiológicos, o quociente metabólico foi mais sensível, evidenciando que as rotações sucessivas promovem aumento da eficiência dos microrganismos.

5. REFERÊNCIAS

ALVES, T. D. S.; CAMPOS, L. L.; ELIAS NETO, N.; MATSUOKA, M.; LOUREIRO, M. F. Biomassa e atividade microbiana de solo sob vegetação nativa e diferentes sistemas de manejos. **Acta Scientiarum**. Agronomy, Maringá, v. 33, n. 2, 2011.

BARRETO, P.A.B.; GAMA-RODRIGUES, E.F.D.; 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.581-590, 2014.

BARRETO, A. C.; FREIRE, M. B. G. S.; NACIF, P. G. S.; ARAÚJO, Q. R.; FREIRE, F. J.; INÁCIO, E. S. B. Fracionamento químico e físico do carbono orgânico total em um solo de m submetido a diferentes usos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, n. 4, 2008.

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 uma sequência de idades. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32:611-619, 2008.

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.

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.

BALOTA, E. L.; COLOZZI-FILHO, A.; ANDRADE, D. S. HUNGRIA, M. Biomassa microbiana e sua atividade em solos sob diferentes sistemas de prepare e sucessão de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 22:641-649, 1998.

BENITES, V.M.; MADARI, B.; MACHADO, P. L. O. DE A. Extração e Fracionamento Quantitativo de Substâncias Húmicas do Solo: um Procedimento Simplificado de Baixo Custo. Comunicado t écnico. EMPRAPA, Rio de Janeiro, RJ Outubro, 2003.

BLAIR, N. (2000).Impact of cultivation and sugar-cane green trash management on carbon fractions and aggregate stability for a Chromic Luvisol in ueensland, Australia. **Soil & Tillage Research**, 55: 183-191.

CANELLAS, L. P.; SANTOS, G. A.; RUMJANEK, V. M.; MORAES, A. A.; GURIDI, F. Distribuição da matéria orgânica e características de ácidos húmicos em solos com adição de resíduos de origem urbana. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 12, p. 1529-1538, dez. 2001.

CAPUANI, S.; RIGON, J. P. G.; BELTRAO, N. E. de M.; BRITO NETO, J. F. de. Atividade microbiana em solos, influenciada por resíduos de algodão e torta de mamona. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 12, p. 1269–1274, dez. 2012.

CARDOSO, E.L. J. B. N.; ANDREOTE, F.D. Microbiologia do solo. 2 ed. Piracicaba: ESALQ,2016.

COSTA, G. S.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; Cunha, G. M. Decomposição e liberação de nutrientes da serapilheira Foliar em povoamentos de *Eucalyptus grandis* no norte fluminense. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.29, n.4, p.563-570, 2005.

COSTA, E. M. da; SILVA, H. F.; RIBEIRO, P. R. de A. Matéria orgânica do solo e o seu papel na manutenção e produtividade dos sistemas agrícolas. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 9, n. 17, p. 1842-1860, 2013.

DADALTO, J.P.; FERNANDES, H.C.;TEIXEIRA,M.M.; CECON, P.R.;MATOS, A.T. Sistema de preparo do solo e sua influência na atividade microbiana. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.35, n.3, p.506-513, maio/jun. 2015.

DENARDIN, R. B. N.; MATTIAS, J. L.; WILDNER, L. P.; NESI, C. N.; SORDI, A.; KOLLING, D. F.; BUSNELLO, F. J.; CCERUTTI, T. Estoque de carbono no solo sob diferentes formações florestais, Chapecó – SC. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 24, n. 1, p. 59-69, 2014.

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.

DIONÍSIO, J. A.; PIMENTEL, I. C.; SIGNOR, D. Resumo: Biomassa Macrobiana do Solo (BMS) também conhecida como carbono da Biomassa Microbiana - C-BMS; Sua Importância; Indicador de qualidade de solo e protocolo. Ano de publicação: 2016.

FONTANA, A.; PEREIRA, M. G.; NASCIMENTO, G. B. do; EBELING, A. G. Matéria orgânica em solos de tabuleiros na região norte Fluminense-RJ. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 8, n. 1, p. 114-119, jan./dez. 2001.

GAMA-RODRIGUES, A. C.; BARROS, N. F. Ciclagem de nutrientes em floresta natural e em plantios de eucalipto e de dandá no sudeste da Bahia, Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.26, 2002.

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**, 29: 393-901,2005.

GAMA-RODRIGUES, E.F., GAMA-RODRIGUES, A.C. & BARROS, N.F. (1997) Biomassa microbiana de carbono e de nitrogênio de solos sob diferentes coberturas vegetais. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Viçosa, 21:361-365.

GIÁCOMO, R. G.; PEREIRA, M. G.; Fabiano de C. BALIEIRO⁴ Estoques de carbono e nitrogênio e distribuição das frações húmicas no solo sob diferentes coberturas florestais. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**. Recife, v.3, n.1, p.42-48, 2008.

GONCALVES, J. L. M.; MENDES, K. C. F. S.; SASAKI, C. M. Mineralização de nitrogênio em ecossistemas florestais naturais e implantados do estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**: 2001, vol.25, n.3, pp.601-616.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES (IBÁ). Relatório IBÁ – 2017. Indicadores de desempenho do setor nacional de árvores plantadas referentes ao ano de 2016.

JENKINSON, D.S. & POWLSON, D.S. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil-I. Fumigation with chloroform. **Soil Biology and Biochemistry**, 8:167-177, 1976.

JÖBSTL, H. A. Do altered prices and logging costs for logs of small diameters affect the optimum rotation of Norway spruce in mountainous regions Forest Policy and Economics, Amsterdam, v. 13, n. 4, p. 266-272, 2011.

MARTINS, C.M.; COSTA, L.M.; SCHAEFER, C.E.G.R. et al. Frações da Matéria Orgânica em Solos sob Formações Deciduais no Norte de Minas Gerais. **Revista Caatinga**, 28:10-20, 2015.

MELO, J. T. de; RESCK, D. V. S.; GOMES, A. C. Efeito de procedências de *Eucalyptus cloeziana* sobre os teores de nutrientes e de carbono orgânico em solo de cerrado. Planaltina, DF: Embrapa Cerado,2005.

MENDES, L.; TREICHEL, M.; BELING, R.R. Anúario brasileiro da silvicultura 2016. Santa Cruz do Sul: Editora Gazeta Santa Cruz,2016.

MENDONÇA, E. S.; MATOS, E. S. Matéria orgânica do solo: métodos de análises. Viçosa, MG: UFV, 2005. 107 p.

MORA, A.L.; GARCIA, C.H. A cultura do eucalipto no Brasil. São Paulo-SP, Sociedade Brasileira de Silvicultura: 2000.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. Microbiologia e bioquímica do solo. Lavras: UFLA, 2006.

NASCIMENTO, P. C.; LANI, J. L.; MENDONÇA, E.S.; ZOFFOLI, H. J. O.; PEIXOTO, H. T. M. Teores e características da matéria orgânica de solos hidromórficos do Espírito Santo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 2, p. 339-348, 2010.

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

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

PFLEGER, P.; CASSOL, P. C.; MAFRA, A. L. Substâncias húmicas em cambissolo sob vegetação natural e plantios de pinus em diferentes idades. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 27, n. 3, p. 807-817, jul.-set., 2017.

PINTO, H. C. A.; BARRETO, P. A. B.; GAMA-RODRIGUES, E. F.; OLIVEIRA, F. G. R. B.; PAULA, A.; AMARAL, A. R.. (2016). Decomposição da serapilheira foliar de floresta nativa e plantios de *Pterogyne nitens* e *Eucalyptus urophylla* no sudoeste da bahia **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 26, n. 4, p. 1141-1153, out.-dez., 2016.

PILLON, C. N. (2000) Alteração no conteúdo e qualidade da matéria orgânica do solo induzidas por sistemas de culturas em plantio direto. Tese (Doutorado em Ciência do Solo), Porto Alegre-RS, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 232p.

PRIMO, D. C.; MENEZES, R. S. C.; SILVA, T. O. da. Substâncias húmicas da matéria orgânica do solo: uma revisão de técnicas analíticas e estudos no nordeste brasileiro. **Scientia Plena**, 2011.

PULRONIK, K.; BARROS, N.F. de; SILVA, I.R.; NOVAIS, R.F.; BRANDANI, C.B. Estoques de carbono e nitrogênio em frações lábeis e estáveis da matéria orgânica de

solos sob eucalipto, pastagem e cerrado no vale do Jequitinhonha-MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.1125-1136, 2009.

RAMOS, D.D.; SILVA, E.F.; ENSINAS, S.C.; SOUZA, N.H.; POTRICH, D.C.; FREITAS, M.E.; FORMAGIO, A.S.N.; Vieira, M.C.. Stocks of carbon, total nitrogen and humic substances in soil under different cropping systems. *Semina: Ciências Agrárias*, 2013.

ROSA, D. M.; NÓBREGA, L. H. P.; MAULI, M. M.; LIMA, G. P. DE; PACHECO, F. P. Substâncias húmicas do solo cultivado com plantas de cobertura em rotação com milho e soja. **Revista Ciência Agronômica**, 2017.

SANTOS, D.C.; OLIVEIRA FARIAS, M.; LIMA, C.L.R.; KUNDEI, R.J.; PILLON, C.N.; FLORES, C.A. Fracionamento químico e físico da matéria orgânica de um Argissolo Vermelho sob diferentes sistemas de uso. **Ciência Rural**, v. 43, n. 5, 2013.

SIX, J.; FELLER, C.; DENEFF, K.; OGLE, S.M.; MORAES, J.C. & ALBRECHT, A. Soil organic matter, biota and aggregation in temperate and tropical soils - Effects of no-tillage. **Agronomie**, 22:755-775, 2002.

SILVA, E. F.; LOURENTE, E. P. R.; MARCHETTI, M. E.; MERCANTE, F. M.; FERREIRA, A. K. T.; FUJII, G. C. Frações lábeis e recalcitrantes da matéria orgânica em solos sob integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 10, p. 1321- 1331, 2011.

SILVA, I.R.; MENDONÇA, E.S. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (Ed.). Fertilidade do solo. Viçosa: **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 2007.

SHANG, C. & TIESSEN, H. Organic matter lability in a tropical oxisol: evidence from shifting cultivation, chemical oxidation, particle size, density and magnetic fractionations. **Soil Science**, Baltimore, 162 (11): 795-807, 1997.

SOARES, E. M. B.; SILVA, I. R.; BARROS, N. F.; TEIXEIRA, R. S.; FONSECA, S.; VASCONCELOS, A. DE A.; SOUZA, R. N. Soil organic matter fractions under second-rotation eucalyptus plantations in eastern Rio Grande do Sul. **Revista Árvore**, 2017.

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

VANCE, E.D.; BROOKES, P.C. & JENKINSON, D.S. An extraction method for measuring soil microbial biomass. **Soil Biology and Biochemistry**, 19:703-707, 1987.

VARGAS, R.; RANGEL, O. J. P. Indicadores de qualidade do solo em agroecossistemas. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental - RBGA**, Pombal – Pb - Brasil, v. 7, n. 1, p. 102 - 129, jan./mar. 2013.

VIERA, M.; SCHUMACHER, M. V.; LIBERALESSO, E.; CALDEIRA, M. V.W.; WATZLAWICK, L.F. (2013). Plantio misto de *Eucalyptus* spp. com leguminosas arbóreas fixadoras de nitrogênio. **Floresta e Ambiente**, Seropédica , v. 20, 2013.

WINK, C.; REINERT, D. J.; TORNQUIST, C. G.; SILVA, I. R. Dinâmica do Carbono e Nitrogênio em Plantações de Eucalipto no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 2015, vol.39, n.6, pp.1623-1632.