

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO VEGETAL**

**Nayara Christina Almeida Araújo**

**Carbono da biomassa microbiana e nas frações húmicas do solo sob diferentes sistemas de uso e manejo no cerrado mineiro**

**Montes Claros**

**2016**

**Nayara Christina Almeida Araújo**

**Carbono da biomassa microbiana e nas frações húmicas do solo sob diferentes sistemas de uso e manejo no cerrado mineiro**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Produção Vegetal do Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Produção Vegetal.

**Orientadora:** Profa. Dra. Leidivan Almeida Frazão

**Coorientadora:** Profa. Dra. Francinete Veloso Duarte

Montes Claros  
Dezembro de 2016

Araújo, Nayara Christina Almeida.

A658c  
2016

Carbono da biomassa microbiana e nas frações húmicas do solo sob diferentes sistemas de uso e manejo no cerrado mineiro / Nayara Christina Almeida Araújo. Montes Claros, 2016.

63 f.: il.

Dissertação (mestrado) - Área de concentração em Produção Vegetal. Universidade Federal de Minas Gerais / Instituto de Ciências Agrárias.

Orientador(a): Leidivan Almeida Frazão.

Banca examinadora: Leidivan Almeida Frazão, Francinete Veloso Duarte, Rodinei Facco Pegoraro, Maria das Dores Magalhães Veloso.

Inclui referências.

1. Biomassa – Teses. 2. Químicos – Teses. 3. Solo – Uso – Teses. I. Frazão, Leidivan Almeida. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Instituto de Ciências Agrárias. III. Título.

CDU: 664



Universidade Federal de Minas Gerais  
Instituto de Ciências Agrárias  
Mestrado em Produção Vegetal



### ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Aos 23 dias do mês de dezembro de 2016 às 8:00 horas, sob a presidência do Professora Leidivan Almeida Frazão, D. Sc. (ICA/UFMG) e com a participação dos Professores Maria das Dores Magalhães Veloso, D. Sc. (UNIMONTES), Rodinei Facco Pegoraro, D. Sc. (ICA/UFMG) e Francinete Veloso Duarte D. Sc. (ICA/UFMG), reuniu-se a banca de defesa de dissertação de **NAYARA CHRISTINA ALMEIDA ARAUJO REGO**, aluna do Curso de Mestrado em Produção Vegetal. O resultado da defesa de dissertação intitulada:

Conteúdo da biomassa microbiana e nos fungos hímicos do solo após diferentes formas de uso e manejo no cerrado mineiro

foi expresso pelo conceito "**A**" (nota 950), sendo a aluna considerada (aprovado/reprovado) aprovado. E, para constar, eu, Professora Leidivan Almeida Frazão, Presidente da banca, lavrei a presente ata que depois de lida e aprovada, será assinada por mim e pelos demais membros da banca examinadora.

OBS.: O aluno somente receberá o título após cumprir as exigências do ARTIGO 89 do regulamento do Curso de Mestrado em Produção Vegetal, conforme apresentado a seguir:

Art. 89 - Para dar andamento ao processo de efetivação do grau obtido, o candidato deverá, após a aprovação de sua Dissertação e a realização das modificações propostas pela banca examinadora, encaminhar à secretaria do colegiado do curso, com a presença do orientador, 3 (três) exemplares da dissertação e 1 (um) CD, no prazo de 60 (sessenta) dias.

Montes Claros, 23 de dezembro de 2016.

  
Leidivan Almeida Frazão  
Orientadora

  
Rodinei Facco Pegoraro  
Membro

  
Francinete Veloso Duarte  
Co-Orientadora

  
Maria das Dores Magalhães Veloso  
Membro

*Dedico*

A toda minha família, em especial, a meu  
Esposo Eugênio e aos meus pais, José Antônio e  
Vera, pelo amor, confiança e apoio.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por tudo e, principalmente, pela vida.

À minha orientadora Profa. Dra. Leidivan Almeida Frazão, pela contribuição no desempenho deste trabalho, pelo exemplo de profissionalismo, pela orientação e apoio nos momentos difíceis, pela confiança e pelo incentivo que muito contribuiu para minha formação.

À minha Coorientadora Profa. Dra. Francinete Veloso Duarte pela confiança e ensinamentos.

Aos professores da banca examinadora, pela participação e por todas as sugestões prestadas.

A todos os professores do Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, pelos ensinamentos transmitidos.

À Profa. Márcia Vitória Santos, por gentilmente disponibilizar as áreas para realização das pesquisas.

Ao Prof. Dr. Regynaldo Arruda Sampaio, pela disponibilização do Laboratório de Análise de Resíduos para Aproveitamento Agrícola e realização dos trabalhos.

Ao Prof. Dr. Demerson Arruda Sanglard, pela disponibilização do Laboratório de Biotecnologia para realização dos trabalhos.

Aos Técnicos de Laboratório, Márcio Neves Rodrigues e Flávia Echila Ribeiro Batista, pelo auxílio e orientação na condução dos trabalhos em laboratórios. A todos os colegas de mestrado, pelo apoio e amizade.

Aos alunos de graduação e pós-graduação, Daniela Freitas, Leliane Duarte, Igor Costa, Agda Loureiro, Ariel Duarte, Taynan Marinho, Luana Larissa, Juliana Martins, Jailson Ramos, William Primo, Luiz Henrique, Paula Melo e Jaqueline Nascimento que muito contribuíram para a realização deste trabalho.

Aos colegas do grupo de estudos em ILPF e bolsistas PIC-Jr, pela contribuição neste trabalho.

À Universidade Federal de Minas Gerais, especialmente, ao Instituto de Ciências Agrárias pela oportunidade da realização de um curso de graduação e pós-graduação com ensino gratuito e de qualidade.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES – pela concessão da bolsa de mestrado.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (Fapemig) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo suporte financeiro.

A toda minha família, em especial, à minha mãe, Vera, ao meu pai Tony e aos meus irmãos Patrícia e Adson, pelo incentivo para seguir o caminho acadêmico, à minha afilhada Emanueli, pela doçura e compreensão nos momentos de ausência.

Aos meus amigos pelo apoio. Em especial, ao Jonathan e à Gracielle, pelo apoio imensurável nesta fase final do trabalho.

Ao meu Esposo Eugênio José da Silveira pelo encorajamento na finalização dessa dissertação.

Enfim, a todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

*" A imaginação é mais importante que a ciência, porque a ciência é limitada, ao passo que a imaginação abrange o mundo inteiro"*

*Albert Einstein*

## CARBONO DA BIOMASSA MICROBIANA E NAS FRAÇÕES HÚMICAS DO SOLO SOB DIFERENTES SISTEMAS DE USO E MANEJO NO CERRADO MINEIRO

### RESUMO

Os sistemas integrados de produção agrícola são vistos como alternativas viáveis para o uso sustentável do solo. O objetivo deste trabalho foi avaliar os atributos microbiológicos e as frações húmicas da matéria orgânica do solo em áreas submetidas a diferentes sistemas de uso e manejo do solo no município de Curvelo – MG. O estudo foi conduzido na Fazenda Experimental do Moura da Universidade Federal dos Vales Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM), localizada no Município de Curvelo - MG. Para isso foram selecionados sete sistemas de uso: três sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta, com variações de cultivos entre o Eucalipto urograndis, milho, capim-marandu e java; monocultivos de java (JAVA) e capim-marandu (MAR); consórcio entre java e o capim-marandu (J+M) e pastagem de baixa produtividade (PAST). As amostras de solo foram coletadas, no inverno (julho de 2015) e verão (janeiro de 2016), em três profundidades para determinar o carbono da biomassa microbiana (C-BMS), a respiração basal (C-CO<sub>2</sub>) e os quocientes microbiano e metabólico do solo. Para o fracionamento das SHs em fração humina (HUM), fração ácidos húmicos (FAH) e fração ácidos fúlvicos (FAF), coletaram-se amostras apenas no verão (janeiro de 2016) nas três profundidades. Calculou-se a relação FAH/FAF e a relação entre o extrato alcalino (FAF+FAH) e a HUM (EA/HUM). Os atributos microbiológicos do solo foram mais influenciados pela época do ano do que pelos sistemas de manejo. O carbono na biomassa microbiana variou entre 79 e 598 mg kg<sup>-1</sup> de solo e o quociente microbiano entre 0,40 e 2,84 %, sendo estes valores maiores no período chuvoso. Já o quociente metabólico variou entre 0,18 e 2,03 e foi menor neste mesmo período, o que indica que os microorganismos gastaram menos energia, ao utilizar o substrato disponível, incorporando mais C à sua biomassa. A respiração basal do solo não diferiu, para as duas épocas, com exceção do MAR que apresentou médias menores para o período seco. No período seco, para a profundidade de 5-10 cm, o ILPF-J apresentou valor de C-BMS de 222 mg kg<sup>-1</sup> de solo superior àqueles encontrados nos monocultivos e na PAST. Os maiores valores de COT e NT e C das frações húmicas foi encontrado na VN. A FAF diminuiu em camadas mais profundas de solo, principalmente na VN, por ser uma fração bastante solúvel no solo. Os valores de relação FAH/FAF acima de 1,0 comprovaram o predomínio da fração FAH em relação à FAF, resultado atribuído à intensa humificação da MOS. A fração HUM foi superior às demais frações, em todas as profundidades avaliadas, e os baixos valores da relação EA/HUM indicam maior recalcitrância da MOS nos sistemas avaliados. O sistema ILPF-M apresentou aumento no teor de NT e C-HUM, em relação à PAST, e estes resultados estão relacionados ao grau de degradação em que a pastagem se encontra, aportando menor quantidade de material vegetal ao solo. A VN, por se tratar de um ambiente em equilíbrio dinâmico, apresentou melhor qualidade de solo (QS), quando comparada com os demais tratamentos. Porém os sistemas integrados de produção (ILPF e ILP) apresentaram melhorias na QS, em relação à pastagem de baixa produtividade, podendo ser indicados para recuperação de solos degradados.

**Palavras-chave:** Biomassa microbiana. Respiração basal. Fracionamento químico.



## CARBON IN THE MICROBIAL BIOMASS AND IN THE HUMIC FRACTIONS OF THE SOIL UNDER DIFFERENT USE AND MANAGEMENT SYSTEMS IN THE CERRADO OF MINAS GERAIS

### ABSTRACT

The Integrated agricultural production systems are seen as viable alternatives to sustainable land use. This work aimed to evaluate the microbiological attributes and the humic fractions of soil organic matter in areas submitted to different systems of land use and management in the city of Curvelo - MG. This work was conducted at *Fazenda Experimental do Moura da Universidade Federal dos Vales Jequitinhonha e Mucuri*, UFVJM (Experimental Farm of Moura, Federal University of Jequitinhonha and Mucuri Valleys - UFVJM), located in the city of Curvelo, in the State of Minas Gerais. Seven systems of use were selected: three crop-livestock-forest integration systems, with crop variations among *Eucalyptus urograndis*, maize, marandu grass and java; Monocultures of java (JAVA) and marandu grass (MAR); consortium between java and maradu grass (J + M) and low productivity pasture (PAST). The soil samples were collected in winter (July 2015) and summer (January 2016) at three depths to determine microbial biomass carbon (C-BMS), basal respiration (C-CO<sub>2</sub>), and the microbial metabolic quocient of soil. For the fractionation of SHs in humic fraction (HUM), humic acid fraction (FAH) and fulvic acid fraction (FAF), samples were collected only in summer (January 2016) at the three depths. The FAH / FAF ratio and the relation between the alkaline extract (FAF + FAH) and the HUM (EA / HUM) were calculated. Soil microbiological attributes were more influenced by the time of year than by the management systems. The carbon in the microbial biomass varied between 79 and 598 mg kg<sup>-1</sup> of soil and the microbial quotient between 0.40 and 2.84%, being these values higher in the rainy period. The metabolic quotient ranged from 0.18 to 2.03 and was lower in the same period, indicating that the microorganisms spent less energy by using the available substrate, incorporating more C to their biomass. The basal respiration of the soil did not differ for the two seasons, with the exception of the MAR that presented smaller averages for the dry period. In the dry period, for the depth of 5-10 cm, the ILPF-J presented a C-BMS value of 222 mg kg<sup>-1</sup> of soil superior to those found in monocultures and in PAST. The highest values of TOC and NT and C of the humic fractions were found in the VN. The FAF decreased in deeper layers of the soil, mainly in the VN, being a very soluble fraction in the soil. The values of FAH / FAF ratio above 1.0 showed the predominance of FAH fraction in relation to FAF, a result attributed to intense humification of MOS. The HUM fraction was higher than the other fractions in all evaluated depths, and the low values of the EA / HUM ratio indicate higher recalcitrance of the MOS in the evaluated systems. The ILPF-M system presented an increase in NT and C-HUM content in relation to PAST, and these results are related to the degree of degradation that the pasture is, contributing with less amount of plant material to the soil. As the VN is an environment in dynamic equilibrium, the environment presented better soil quality (QS) when compared to the other treatments. However, the integrated production systems (ILPF and ILP) presented improvements in QS in relation to low yield pasture and may be indicated for the recovery of degraded soils.

**Keywords:** Microbial biomass. Basal respiration. Chemical fractionation.

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Aw	–	Tropical de Savana
BaCl <sub>2</sub>	–	Cloreto de Bário
BMS	–	Biomassa Microbiana no Solo
CO	–	Monóxido de Carbono
CO <sub>2</sub>	–	Dióxido de Carbono
COT	–	Carbono Orgânico Total
CTC	–	Capacidade de Troca de Cátions
EA	–	Extrato Alcalino
F	–	Fumigadas
FAF	–	Frações Ácido Fúlvico
FAH	–	Fração Ácido Húmico
FEM	–	Fazenda Experimental do Moura
GEE	–	Gases de Efeito Estufa
HCl	–	Ácido Clorídrico
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	–	Ácido Sulfúrico
HUM	–	Fração Humina
ILPF	–	Integração Lavoura Pecuária Floresta
ILP	–	Integração Lavoura Pecuária
ILPF-J	–	Sistema de integração Lavoura-Pecuária-Floresta, consorciado com eucalipto, milho e java
ILPF-J+M	–	Sistema de integração Lavoura-Pecuária-Floresta, consorciado com eucalipto, milho, capim-marandu e java
ILPF-M	–	Sistema de integração Lavoura-Pecuária-Floresta, consorciado com eucalipto, milho e capim-marandu
J+M	–	Consórcio de campim-marandu + java
JAVA	–	Monocultivo de Java
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	–	Sulfato de Potássio
K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	–	Dicromato de Potássio
MAR	–	Monocultivo de campim-marandu
MOS	–	Matéria Orgânica no Solo
N	–	Nitrogênio
NaOH	–	Hidróxido de Sódio
NF	–	Não fumigadas
NT	–	Nitrogênio Total
PD	–	Plantio Direto
pH	–	Potencial Hidrogeniônico
qCO <sub>2</sub>	–	Quociente metabólico
qMIC	–	Quociente microbiano

RBS	–	Respiração Basal no Solo
RELAÇÃO C/N	–	Carbono/Nitrogênio
SHs	–	Substâncias húmicas
SAFs	–	Sistemas Agroflorestais
TFSA	–	Terra fina seca ao ar
UFVJM	–	Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
VN	–	Vegetação Nativa

## LISTA DE FIGURAS

<b>REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>17</b>
Figura 1 - Fracionamento da matéria orgânica e das substâncias húmicas presentes no solo...	21
<b>Artigo 1 - ATRIBUTOS MICROBIOLÓGICOS DO SOLO SOB DIFERENTES SISTEMAS DE USO E MANEJO NO CERRADO MINEIRO .....</b>	<b>27</b>
Fig. 1 - Localização da área experimental no Município de Curvelo-MG .....	31
Fig. 2 - Distribuição mensal da precipitação pluviométrica no período de condução do experimento e média do período entre 2000 e 2016 em Curvelo-MG.....	31
Fig. 3 - Croqui da área experimental localizada no município de Curvelo-MG .....	33
Fig. 4 - Minitrincheira para coleta nas amostras de solo no local de estudo .....	34
Fig. 5 - Armazenamento das amostras em sacos com respiro para a determinação de análises microbiológicas do solo .....	35
<b>Artigo 2 - CARBONO E NITROGÊNIO TOTAL E NAS FRAÇÕES HÚMICAS DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO SOB DIFERENTES SISTEMAS DE USO E MANEJO NO CERRADO MINEIRO .....</b>	<b>49</b>
Figura 1: Croqui da área experimental, destacando a região amostrada, localizada no município de Curvelo-MG.....	53

## LISTA DE TABELAS

<b>Artigo 1 - ATRIBUTOS MICROBIOLÓGICOS DO SOLO SOB DIFERENTES SISTEMAS DE USO E MANEJO NO CERRADO MINEIRO .....</b>	<b>26</b>
<b>Tabela 1.</b> Composição granulométrica e classificação textural do solo (0-30 cm) da área experimental localizada em Curvelo/MG .....	32
<b>Tabela 2.</b> Características químicas do Latossolo Vermelho distrófico típico na camada de 0-30 cm, antes da implantação do experimento ocupado com pastagem de <i>B. decumbens</i> .....	32
<b>Tabela 3.</b> Carbono da biomassa microbiana (C-BMS) em Latossolo Vermelho distrófico típico sob diferentes sistemas de manejo, nos períodos seco e chuvoso, em Curvelo (MG).....	38
<b>Tabela 4.</b> Teores de Carbono Orgânico Total (COT) nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-20cm, em Latossolo Vermelho distrófico típico sob diferentes sistemas de manejo em Curvelo (MG).....	39
<b>Tabela 5.</b> Quociente microbiano (qMIC) em Latossolo Vermelho distrófico típico sob diferentes sistemas de manejo, nos períodos seco e chuvoso, em Curvelo (MG).....	40
<b>Tabela 6.</b> Respiração basal do solo (RBS) em Latossolo Vermelho distrófico típico sob diferentes sistemas de manejo, nos períodos seco e chuvoso, em Curvelo (MG).....	42
<b>Tabela 7.</b> Quociente metabólico (qCO <sub>2</sub> ) em Latossolo Vermelho distrófico típico sob diferentes sistemas de manejo, nos períodos seco e chuvoso, em Curvelo (MG).....	44
<b>Artigo 2 - CARBONO E NITROGÊNIO TOTAL E NAS FRAÇÕES HÚMICAS DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO SOB DIFERENTES SISTEMAS DE USO E MANEJO NO CERRADO MINEIRO .....</b>	<b>48</b>
<b>Tabela 1:</b> Teores de Carbono Orgânico Total (COT), Nitrogênio Total (NT) e relação C/N, em Latossolo Vermelho distrófico típico sob diferentes sistemas de manejo, em Curvelo (MG).....	56
<b>Tabela 2:</b> Teores de carbono nas frações das substâncias húmicas, relação FAH/FAF e EA/HUM, em Latossolo Vermelho distrófico típico sob diferentes sistemas de manejo, em Curvelo (MG).....	58

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO GERAL.....</b>	<b>14</b>
<b>2 OBJETIVOS .....</b>	<b>16</b>
2.1 OBJETIVO GERAL.....	16
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	16
<b>3 REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>17</b>
3.1 SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO.....	17
3.1.1 <i>Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF)</i> .....	17
3.2 DINÂMICA DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO .....	18
3.2.1 <i>Teores de carbono e nitrogênio do solo</i> .....	18
3.2.2 <i>Biomassa microbiana do solo</i> .....	19
3.2.3 <i>Respiração basal e quocientes microbiano e metabólico do solo</i> .....	20
3.2.4 <i>Frações húmicas da matéria orgânica do solo</i> .....	21
3.3 REFERÊNCIAS .....	22
<b>4 ARTIGOS .....</b>	<b>27</b>
4.1 ARTIGO 1 - ATRIBUTOS MICROBIOLÓGICOS DO SOLO SOB DIFERENTES SISTEMAS DE USO E MANEJO NO CERRADO MINEIRO .....	27
4.2 ARTIGO 2 - CARBONO E NITROGÊNIO TOTAL E NAS FRAÇÕES HÚMICAS DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO SOB DIFERENTES SISTEMAS DE USO E MANEJO NO CERRADO MINEIRO.....	49
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>63</b>

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

O cultivo de pastagens é um dos principais usos do solo na região do Cerrado, porém estima-se que entre 50% e 70% das áreas de pastagens do Brasil estão em algum estágio de degradação (DIAS-FILHO, 2014). De acordo com Aidar e Kluthucouski (2003), a degradação das pastagens deve-se ao manejo inadequado dos animais, à inexistência ou manejo equivocado de adubação, à presença de impedimentos físicos do solo ao desenvolvimento das raízes e aos baixos investimentos tecnológicos. Isso acaba tornando esse modelo produtivo insustentável.

Neste contexto, a busca por atividades que consigam suprir a demanda atual por alimentos, fibras e energia, sem o desmatamento de novas áreas de vegetação nativa, é um desafio para pesquisadores e para a sociedade contemporânea. Logo se faz necessária a adoção e o desenvolvimento de técnicas e sistemas de produção sustentáveis e que aumentem a produtividade dos agroecossistemas.

Em áreas de pastagem de baixa produtividade tem sido indicada a implantação dos sistemas integrados de produção. A integração de árvores em meio às pastagens e/ou lavouras é uma técnica promissora na melhoria da qualidade dos atributos físicos, químicos e microbiológicos de solos degradados pelos sistemas de usos intensivos do solo, além de ser sustentável.

A integração Lavoura-Pecuária-Floresta (iLPF) é uma estratégia de produção sustentável, que integra atividades agrícolas, pecuárias e florestais, contemplando a adequação ambiental, a valorização do homem e a viabilidade econômica (BALBINO *et al.*, 2011). A iLPF é eficiente, no sequestro e estoque de carbono no solo e em biomassa, promovendo a redução das emissões de gases do efeito estufa (GEE) para a atmosfera. Em razão desses benefícios potenciais, a iLPF foi inserida dentro do Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura (Plano ACB), do Ministério da Agricultura, que tem como objetivo recuperar 15 milhões de hectares de áreas degradadas e reduzir as emissões de GEE até 2020 (BRASIL, 2012).

A mudança no uso do solo provoca alterações nas características físicas, químicas e biológicas do solo. Neste contexto, para verificar alterações no manejo em curto prazo em ecossistemas, faz-se necessária a utilização e o entendimento de indicadores de qualidade do solo. Esses indicadores devem ser sensíveis, para avaliar os processos do solo, que interfiram na promoção das formas de vida que dele dependem (DUMANSKI; PIERI, 2000).

Dentre os bioindicadores capazes de estimar os níveis de matéria orgânica do solo (MOS) e da qualidade do solo, tem-se a biomassa e a atividade microbiana (MELE; CARTER, 1993), os quais são eficientes na orientação de mudanças das técnicas de produção sensíveis aos impactos causados pelo manejo do solo (GAMA- RODRIGUES; GAMA-RODRIGUES; BARROS, 1997; GAMA-RODRIGUES *et al.*, 2008). Adicionalmente, a quantificação dos teores de carbono (C) e nitrogênio total e, nas frações das substâncias húmicas (SHs) da MOS também são parâmetros utilizados como indicadores de qualidade do solo. A manutenção de maiores teores de C, nas formas mais estáveis das SHs indica solos mais preservados e manejo conservacionista (CANELLAS, *et al.*, 2003), por aumentar o tempo de residência e estabilização do carbono no solo.

Assim, espera-se que a conversão de pastagem de baixa produtividade em sistemas de iLPF seja eficiente na recuperação da qualidade do solo, e o carbono microbiano e as frações estáveis na MOS são indicadores sensíveis para expressar essas mudanças.



## 2 OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo geral

Avaliar os atributos microbiológicos e as frações húmicas da matéria orgânica do solo após a conversão de pastagem de baixa produtividade em diferentes sistemas de uso e manejo do solo no cerrado mineiro.

### 2.2 Objetivos específicos

- Avaliar o carbono da biomassa microbiana, a atividade e os quocientes microbianos do solo;
- Determinar os teores de carbono orgânico total (COT), nitrogênio total (NT) e relação C/N do solo;
- Separar e determinar o teor de COT das frações humificadas (ácido húmico, ácido fúlvico e humina) da matéria orgânica do solo.

### 3 REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1 Sistemas integrados de produção

Os sistemas agroflorestais (SAFs) são sistemas e tecnologias de uso do solo nos quais se utilizam as espécies lenhosas (árvores, arbustos, palmeiras, entre outras) no mesmo sistema de manejo de culturas agrícolas e/ou produção animal (ENGEL, 2003).

Segundo Balbino *et al.* (2011), os sistemas de integrados de produção podem ser classificados em quatro categorias:

- Integração Lavoura-Pecuária (ILP) ou agropastoril – sistema de produção que integra os componentes agrícola e pecuário em rotação, consórcio ou sucessão, na mesma área e no mesmo ano agrícola ou por múltiplos anos;
- Integração Pecuária-Floresta (IPF) ou silvipastoril – sistema de produção que integra os componentes pecuário (pastagem e animal) e florestal, em consórcio;
- Integração Lavoura-Floresta (ILF) ou silviagrícola – sistema de produção que integra os componentes florestal e agrícola pela consorciação de espécies arbóreas com cultivos agrícolas (anuais ou perenes);
- Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) ou agrossilvipastoril – sistema de produção que integra os componentes agrícola, pecuário e florestal em rotação, consórcio ou sucessão, na mesma área.

Dentre os sistemas citados, a iLPF se destaca por contribuir para que o fluxo de produção se sustente por todo o ano. Assim, os investimentos, retornos financeiros e mão de obra se mantêm estáveis e, como consequência, há redução de gastos e incremento de renda (ALVARENGA; GONTIJO NETO, 2012), em virtude do aumento da produção por área pelos ganhos complementares exercidos pelas diversas espécies vegetais e da criação de animais (SILVA *et al.*, 2011a).

##### 3.1.1 Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF)

A iLPF é uma técnica que tem sido bastante divulgada, pois visa a uma produção sustentável e busca efeitos sinérgicos entre os componentes do agroecossistema, contemplando a adequação ambiental, a valorização do homem e a viabilidade econômica (BALBINO *et al.*, 2011).

A iLPF apresenta benefícios tecnológicos, ecológicos, econômicos e sociais aos seus componentes. Dentre esses, destacam-se: a melhoria nos atributos físicos, químicos e biológicos do solo e o aumento da biodiversidade; aumento da fertilidade do solo, pelo maior acúmulo de matéria orgânica e ciclagem biogeoquímica de nutrientes; diminuição do estresse térmico com favorecimento ao bem-estar animal; conservação do solo e da água; diminuição da pressão de uso de madeira nativa e desmatamento; sequestro de carbono e potencial de mitigação de gases de efeito estufa; e diversificação da renda, com fornecimento de produtos agrícolas (grãos, cereais), florestais (madeira para carvão, poste e/ou serraria) e pecuários (animais) (BALBINO *et al.*, 2011).

A elevação dos teores de matéria orgânica e a melhoria da qualidade física do solo, pela introdução do sistema iLPF em áreas agrícolas com níveis adequados de fertilidade, evidenciam o potencial desse sistema em reduzir não apenas o impacto ambiental das atividades produtivas, mas também as emissões de gases de efeito estufa, melhorando o aproveitamento da água e dos nutrientes do solo (Balbino *et al.*, 2011). A qualidade dos solos, em áreas com sistemas integrados de cultivo, tem-se mostrado superior em relação às áreas com monocultivo (MAIA *et al.*, 2006; AGUIAR, 2008; JAKELAITIS *et al.*, 2008; LOSS *et al.*, 2012).

Porém Pariz *et al.* (2009) afirmam que, apesar das vantagens que esse sistema pode proporcionar quanto a sistemas não integrados de produção, seu sucesso depende do adequado conhecimento sobre o sistema como um todo. Sistemas que envolvem a interação solo-planta-animal são mais complexos do que sistemas que envolvem somente a interação solo-planta (PARIZ, 2013).

De acordo com Embrapa (2016), o Brasil possui 11,5 milhões de hectares plantados com algum tipo de adoção de sistema iLPF, e Minas Gerais se destaca com um milhão de hectares plantados. Com isso, verifica-se que as metas assumidas pelo Plano ABC (Agricultura de Baixa Emissão de Carbono) de aumentar para quatro milhões de hectares as áreas com iLPF até 2020 já foram alcançadas.

### **3.2 Dinâmica da matéria orgânica do solo**

A matéria orgânica do solo (MOS) exerce efeitos diretos nas características físicas, químicas e biológicas, garantindo o adequado funcionamento do solo. Em solos degradados e com o manejo inadequado, pode ocorrer perda de MOS e promover a sua degradação. Por outro lado, em sistema de integração, há o aumento da quantidade de resíduos aportados sobre o solo e, como consequência, aumenta a MOS, favorecendo processos de ordenação e qualidade do solo (ROSCOE *et al.*, 2006).

Segundo Moreira e Siqueira (2006), a qualidade e quantidade de matéria orgânica sobre o solo é dependente de diversos fatores, como: relação C/N do material depositado, temperatura, microrganismos, aeração e umidade do solo. O tipo de manejo adotado pode interferir diretamente sobre estes fatores alterando o acúmulo da MOS.

#### **3.2.1 Teores de carbono e nitrogênio do solo**

Quando a vegetação natural está em equilíbrio, a taxa de adição e perda de carbono tende a permanecer estável. A maioria dos solos possuem de 2 a 5 % de matéria orgânica (MO), sendo essa composta por cerca de 58% de carbono (ALEXANDER, 1980). O uso do solo para fins agrícolas rompe o seu equilíbrio natural, ocasionando a diminuição do teor de carbono. Deste modo, a avaliação do teor de carbono no solo pode atuar como indicador de avaliação da qualidade do solo (ARSHAD, MARTIN, 2002; CONCEICÃO *et al.*, 2005).

Conforme Pillon *et al.* (2001), os conteúdos de COT do solo ou de MOS deve ser atribuído a uma determinada camada do solo em virtude da variação da densidade do solo e da deposição de resíduos vegetais. O teor de C orgânico nem sempre será similar, pois os níveis de MOS tendem a diminuir nas camadas mais profundas do solo. Os teores de N apresentam o mesmo padrão de distribuição de teores

de C, sendo os maiores valores observados em camadas superficiais do solo (RANGEL *et al.*, 2008). Os teores de C e N total podem ser alterados, em maior ou menor intensidade, dependendo do sistema de manejo solo e plantio adotados (PAVAN; CHAVES, 1996).

Salton *et al.*(2011) avaliaram a capacidade do sistema iLPF alterar o teor de carbono no solo e relataram um maior acúmulo de carbono, nesse sistema, quando comparado a sistemas com lavouras anuais. De acordo com Giácomo *et al.*(2015), os maiores teores de carbono são verificados, nas vegetações de maior porte, enquanto o maior teor de nitrogênio ocorre em áreas de Cerrado *sensu stricto*. Já Rangel *et al.* (2008) afirmaram que sistemas conservacionistas, que mantêm os restos culturais da lavoura e das plantas invasoras sobre o solo, contribuem para o aumento dos teores de nitrogênio total no solo.

### 3.2.2 Biomassa microbiana do solo

De acordo com Moreira e Siqueira (2006), a biomassa microbiana do solo (BMS) é compreendida como a parte viva da matéria orgânica do solo, composta por todos os organismos menores que  $5 \times 10^3 \mu\text{m}^3$ . A BMS é a principal responsável pela decomposição dos compostos orgânicos e pela ciclagem de nutrientes (TRANNIN *et al.*, 2007). Ela representa um importante reservatório de nutrientes nos solos e um atributo fundamental para o estudo de ciclagem de nutrientes em diferentes ecossistemas. Contém, em média, de 2 a 5% do carbono orgânico do solo (JENKINSON; LADD, 1981) e de 1 a 5% do nitrogênio total do solo (SMITH; PAUL, 1990). É o compartimento da MOS facilmente influenciado por fatores bióticos e abióticos de tal forma que respostas a mudanças, nos sistemas de uso e manejo do solo, podem ser detectáveis em curto prazo pela biomassa microbiana e seus metabólitos do que nos teores de C do solo, principalmente, pelo tempo de ciclagem da matéria orgânica (GAMA-RODRIGUES *et al.*, 2005).

De acordo com Sparling (1992), o monitoramento da dinâmica da MOS pode ser feita por meio da razão entre a BMS e o CO. Segundo Rezende, Assis e Nahas (2004), o acréscimo da biomassa microbiana, em um dado sistema, geralmente, deve-se ao teor de MOS. Dentre os sistemas que proporcionam aumento do conteúdo significativo de MOS estão o plantio direto (PD) e as pastagens bem manejadas (FOLLET; SCHIMEL, 1989).

Os sistemas convencionais, caracterizados pelo intenso revolvimento do solo, em curto prazo, podem favorecer a biomassa microbiana, pois os agregados, quando quebrados, contribuem para a incorporação de resíduos ao solo que é fundamental ao desenvolvimento dos microrganismos, entretanto, em longo prazo, levam à redução dos teores de MO em virtude da intensa decomposição (RESCK, 1998).

Em sistemas integrados, pela inclusão de gramíneas para pastejo ocorre maior presença de raízes, que promovem aumento na proporção de solo rizosférico. À medida que aumenta a quantidade dessas raízes, aliada à deposição de resíduos no solo, que provoca alta exsudação de compostos orgânicos (TISDALL; OADES, 1982), maior é o favorecimento da BMS, que utiliza esses compostos como fonte de C (SOUZA *et al.*, 2010).

### 3.2.3 Respiração basal e quocientes microbiano e metabólico do solo

Tótoła e Chaer (2002) afirmam que a estimativa da atividade da microbiota do solo pode ser realizada por meio da medição da sua biomassa, da atividade de certas enzimas no solo, por meio das medidas da respiração basal, entre outras. A respiração basal do solo (RBS) é definida como a soma total de todas as funções metabólicas, nas quais o CO<sub>2</sub> é produzido por microrganismos, protozoários, nematoides, insetos, anelídeos e raízes do solo (CATTELAN; VIDOR, 1990).

A RBS possui uma estreita relação com fatores abióticos do solo, como umidade, temperatura e aeração (ALTAS; BARTHA, 1993; STOTZKY; NORMAN, 1961). A liberação de elevadas taxas de respiração podem indicar tanto um distúrbio ecológico como um alto nível de produtividade do ecossistema (ISLAM; WEIL, 2000). De acordo com De-Polli e Pimentel (2005), a RBS é um indicador sensível e revela rapidamente alterações nas condições ambientais que afetem a atividade microbiana do solo.

Para Moura *et al.* (2015), a RBS é um dos parâmetros mais antigos, para quantificar as atividades microbianas, sendo altamente influenciada pelo tipo de vegetação, mudanças no microclima local e na quantidade de serapilheira. Contudo as análises dos dados de respiração devem ser cautelosas, uma vez que o incremento na atividade respiratória pode ser desencadeado tanto pela alta produtividade de um determinado ecossistema quanto pelo estresse advindo de distúrbios ambientais (SILVA *et al.*, 2007).

Além do C- BMS e da respiração basal, utilizam-se os quocientes microbiano (qMIC) e metabólico (qCO<sub>2</sub>) como bioindicadores da qualidade do solo. O qMIC é um índice que expressa a relação entre o C da biomassa microbiana e o C orgânico total, utilizado para inferir sobre a qualidade da matéria orgânica. Já o qCO<sub>2</sub> é um índice que expressa a taxa de respiração por unidade de biomassa microbiana (ANDERSON; DOMSCH, 1985). Elevados qCO<sub>2</sub> possuem estresse microbiano ou comunidades microbianas em estágios iniciais de desenvolvimento (ANDERSON; DOMSCH, 1993).

Jakelaitis *et al.* (2008) afirmam que, não havendo fatores que limitem a atividade da biomassa microbiana, o qMIC varia de 1% a 4%, caso contrário, os valores são inferiores a 1%. Em condições estressantes para os microrganismos, a capacidade de utilização do C é menor, ocorrendo um decréscimo do qMIC (WARDLE, 1994; REIS-JÚNIOR; MENDES, 2007). Esses baixos valores podem estar relacionados, também, à reduzida qualidade nutricional da MO (RODRIGUES *et al.*, 2008), fatos esses que, possivelmente, justificam valores significativamente menores de qMIC em sistemas convencionais (CALVO; FOLONI; BRANCALÍÃO, 2010), quando comparados aos conservacionistas (BICALHO *et al.*, 2015).

Stieven *et al.* (2014) avaliaram as atividades microbianas no sistema de ILPF e compararam-nas com solos cultivados em rotação de cultura soja/pastagem e sob mata nativa. Os resultados apresentados pelos autores demonstraram que a média geral do carbono da biomassa microbiana e o quociente microbiano foram superiores no sistema de ILPF em relação aos outros sistemas avaliados.

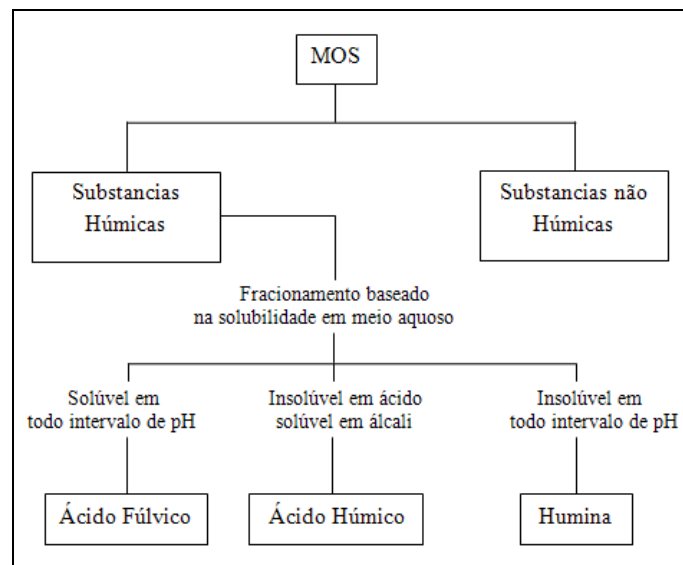
Em conformidade com Silva *et al.* (2007), quanto mais a biomassa microbiana conseguir aproveitar os recursos de um ecossistema menor será a quantidade de CO<sub>2</sub> perdido na respiração e,

conseqüentemente, o C será incorporado de forma mais eficiente, nos tecidos microbianos, resultando no decréscimo do  $qCO_2$ .

### 3.2.4 Frações húmicas da matéria orgânica do solo

O fracionamento químico da MOS consiste na extração de substâncias húmicas (SHs), baseada em diferenças na solubilidade das substâncias húmicas em soluções ácidas ou alcalinas (STEVENSON; COLE, 1999; ROSA, 1998), para obtenção de ácido fúlvico, ácido húmico e humina, (FIGURA 1). Segundo Coleman *et al.*(1989), as substâncias húmicas representam uma parte da MOS composta por substâncias orgânicas amorfas, heterogêneas e com comportamento químico similar. Possuem estruturas químicas complexas, de natureza particular, sem composição específica, de maior estabilidade do que os materiais que as originaram e com ausência de vestígios microscopicamente visíveis dos tecidos ou células originais.

**Figura 1** - Fracionamento da matéria orgânica e das substâncias húmicas presentes no solo



Fonte: Adaptado de Rosa, 1998.

As substâncias húmicas condicionam as características físicas e químicas do solo, como a capacidade de troca de cátions (CTC) e a estabilização de agregados, influenciando, também, a porosidade e a disponibilidade de nutrientes. Promovem a complexação de elementos tóxicos e nutrientes e, ainda, apresentam ação tamponante no solo em uma ampla faixa de pH (BALDOTTO; BALDOTTO, 2014; SILVA *et al.*, 2006; UCHÔA *et al.*, 2014; CANELLAS *et al.*, 2008).

Diversos estudos em solos de Cerrado apontam a fração humina (HUM) como a fração mais abundante, enquanto as frações ácido fúlvico (FAF) e fração ácido húmico (FAH) variam de acordo com o manejo adotado e a profundidade do solo (GAZOLLA *et al.*, 2015; FONTANA *et al.*, 2006; PASSOS *et al.*, 2007). O carbono presente na fração humina interage fortemente com a matriz mineral do solo e é estabilizado sob formas mais recalcitrantes, enquanto os ácidos fúlvicos representam o carbono das SHs

menos recalcitrantes e provenientes de resíduos vegetais e exsudados, que são mais facilmente decompostos (FONTANA *et al.*, 2010). Os ácidos húmicos são compostos mais estáveis, ou seja, de difícil degradação em relação aos ácidos fúlvicos (STEVENSON, 1994).

Kononova (1982) propõe utilizar a relação entre os teores de C das frações ácido húmico e ácido fúlvico (C-FAH/C-FAF) como indicador da qualidade das substâncias húmicas, para expressar o grau de evolução do processo de humificação. Relações C-FAH/C-FAF  $\geq 1,0$  indicam que a fração C-FAH está predominando, em relação ao C-FAF, isso evidencia solos mais preservados, de manejo mais conservacionista (CANELLAS *et al.*, 2003). Outra relação utilizada é entre as frações solúveis do extrato alcalino (FAH+FAF) e o teor de C na fração húmica (EA/HUM). Este índice indica iluviação de matéria orgânica em horizontes superficiais, as relações EA/HUM são, em geral, menores que um (BENITES *et al.*, 2001). Valores de EA/HUM  $\leq 1,0$  são indicativos da baixa solubilidade da MOS (FONTANA *et al.*, 2014).

### 3.3 Referências

- AGUIAR, M. I. **Qualidade física do solo em sistemas agroflorestais**. 89f. 2008. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008.
- AIDAR, H.; KLUTHCOUSKI, J. Evolução das atividades lavoureira e pecuária nos Cerrados. *In*: KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L. F.; AIDAR, H. (Ed.). **Integração lavoura-pecuária**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2003. p. 25-58.
- ALEXANDER, M. El ciclo del carbono. *In*: ALEXANDER, M. **Introduction a la microbiologia del suelo**. México, ATG. 1980. p. 127-239.
- ALTAS, R. M.; BARTHA, R. **Microbial ecology: Fundamentals and applications**. 3rd ed. New York, The Benjamin-Cummings Publishing Company, 1993. 563p.
- ALVARENGA, R. C.; GONTIJO NETO, M. M. Inovações tecnológicas nos sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta- iLPP. *In*: SIMPÓSIO DE PRODUÇÃO DE GADO DE CORTE, 8.; SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE PRODUÇÃO DE GADO DE CORTE, 4., 2012, Viçosa, MG. **Anais [...]** Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, p. 267-276, 2012. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/64120/1/Inovacoes-tecnologicas.pdf>>. Acesso em: 24 de set de 2016.
- ANDERSON, J.P.E.; DOMSCH, K.H. Determination of ecophysiological maintenance carbon requirements of soil microorganisms in dormant state. **Biology and Fertility Soils**, v.1, p.81-89, 1985.
- ANDERSON, J. P. E.; DOMSCH, K. H. The metabolic quotient of CO<sub>2</sub> (qCO<sub>2</sub>) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental condition, such as pH, on the microbial of forest soil. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 25, p. 393-395, 1993.
- ARSHAD, M. A.; MARTIN, S. Identify ingcritical limits for soil quality indicators in agro-ecosystems. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 88, p. 153-160, 2002.
- BALBINO, L.C.; BARCELLOS, A. O.; STONE, L. F. **Marco referencial: integração lavoura-pecuária-floresta (iLPP)**. Brasília, DF: Embrapa, 2011. 130p.
- BALDOTTO, M.A.; BALDOTTO, L.E.B. Ácidos Húmicos. **Revista Ceres**, v. 61, p. 856-881, 2014.

BENITES, V.M.; SCHAEFER, C.E.G.R.; MENDONÇA, E.S. & MARTIN NETO, L. Caracterização da matéria orgânica e micromorfologia de solos sob campos de altitude no Parque Estadual da Serra do Brigadeiro (MG). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 661-674, 2001.

BICALHO, I. M.; COSTA, A. F.; CRUVINEL, A. M.; JÚNIOR, R. O. Alterações nos indicadores bioquímicos de solo submetido a diferentes sistemas de manejo no município de Uberlândia – MG. **E-RAC**, v. 5, n. 1, 2015.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura: Plano ABC (Agricultura de Baixa Emissão de Carbono)**. Brasília, DF: Embrapa Agroenergia. 2012. 173 p.

CALVO, L. C.; FOLONI, J. S. S.; BRANCALIÃO, S. R. Produtividade de fitomassa e relação c/n de monocultivos e consórcios de guandu-anão, milheto e sorgo em três épocas de corte. **Bragantia**, Campinas, v. 69, p. 77-86, 2010.

CANELLAS, L. P.; VELLOSO, A. C. X.; MARCIANO, C. R.; RAMALHO, J. F. G. P.; RUMJANEK, V. M.; REZENDE, C. E.; SANTOS, G. A. Propriedades químicas de um Cambissolo cultivado com cana-de-açúcar, com preservação do palhico e adição de vinhaça por longo tempo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 935-944, 2003.

CANELLAS, L. P.; MENDONÇA, E. S.; DOBBS, L. B. BALDOTTO, M. A.; VELLOSO, A. C. X.; SANTOS, G. A.; SOBRINHO, N. M. B. A. Reações da Matéria Orgânica. In: SANTOS, G. de A.; SILVA, L.S da; CAMELLAS, L. P.; CAMARGO, F.A.O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2. ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008.

CATTELAN, A. J.; VIDOR, C. Flutuações na biomassa, atividade e população microbiana do solo, em função de variações ambientais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 14, p. 133-142, 1990.

COLEMAN, D.C.; OADES, J.M.; UEHARA, G. **Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems**. Nifal Project, University of Hawaii at Manoa, USA, 1989.

CONCEIÇÃO, P.C.; AMADO, T.J.C.; MIELNICZUK, J.; SPAGNOLLO, E. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 777-788, 2005.

DE-POLLI, H.; PIMENTEL, M. S. Indicadores da qualidade do solo. In: AQUINO, AM. de (Ed.). **Processo biológicos no sistema solo-planta: ferramentas para uma agricultura sustentável**. Brasília, DF: EMBRAPA Informação tecnológica, 2005.

DIAS-FILHO, M. B. **Diagnóstico das pastagens no Brasil**. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2014. 36 p. (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 402). Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/102203/1/DOC-402.pdf> . Acesso em: 5 dez. 2016.

DUMANSKI, J.; PIERI, C. Land quality indicators: research plan. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 81, p.155-162, 2000.

EMBRAPA. **Adoção de ILPF chega a 11,5 milhões de hectares**. Embrapa Meio Ambiente. 2016. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/17755008/adocao-de-ilpf-chega-a-115-milhoes-de-hectares>. Acesso em: 28 nov. 2016.

ENGEL, V.L. **Sistemas Agroflorestais: Conceitos e Aplicações**. 1992. In: Seminário – Sistema Agroflorestais e Desenvolvimento Sustentável, 2003, Campo Grande. Anais... Campo Grande: Seminário – Sistema Agroflorestais e Desenvolvimento Sustentável, 2003.

FOLLET, R. F.; SCHIMMEL, D. S. Effect of tillage practices on microbial biomass dynamics. **Soil Science Society of America**, v. 53, p. 1091-1096, 1989.



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**, v. 41, p. 847-853, 2006.

FONTANA, A.; PEREIRA, M. G.; ANJOS, L. H. C.; BENITES, V. M. Quantificação e utilização das frações húmicas como característica diferencial em horizontes diagnósticos de solos brasileiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 1241-1247, 2010.

FONTANA, A.; PEREIRA, M. G.; ANJOS, L. H. C.; SANTOS, A. C.; BERNINI, T.; A. Matéria orgânica de horizontes superficiais em topolitossequências em ambiente de Mar de Morros, Pinheiral, RJ. **Revista Ciência Agronômica**, vol.45, p. 221-229, 2014.

GAMA-RODRIGUES, E. F.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; BARROS, N. F. Biomassa microbiana de carbono e de nitrogênio de solos sob diferentes coberturas florestais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 21, 361-365, 1997.

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

GAMA-RODRIGUES, E. F.; BARROS, N. F.; VIANA, A. P.; SANTOS, G. A. Alterações na biomassa e na atividade microbiana da serapilheira e do solo, em decorrência da substituição de cobertura florestal nativa por plantações de eucalipto, em diferentes sítios da região sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 32, 1489-1499, 2008.

GAZOLLA, P. R.; GUARESCHI, R. F.; PERIN, A.; PEREIRA, M. G.; ROSSI, C. Q. Frações da matéria orgânica do solo sob pastagem, sistema plantio direto e integração lavoura-pecuária. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 36, p. 693-704, 2015.

GIÁCOMO, R. G.; PEREIRA, M. G.; GUARESCHI, R. F.; MACHADO, D. L. Atributos químicos e físicos do solo, estoques de carbono e nitrogênio e frações húmicas em diferentes formações vegetais. **Ciência Florestal**, v. 25, p. 617-631, 2015.

ISLAM, K. R.; WEIL, R. R. Soil quality indicator properties in mid-Atlantic soils as influenced by conservation management. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 55, p. 69-78. 2000.

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

JENKINSON, D. S.; LADD, J. N. **Microbial biomass in soil: measurement and turnover**. In: PAUL, E. A. (Ed.). *Soil Biochemistry*. New York: Marcel Dekker, v. 5, p. 415-471, 1981.

KONONOVA, M. M. **Matéria orgânica del suelo: su naturaleza, propiedades y métodos de investigación**. Barcelona, Oikos-Tou. 1982. 365p.

LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; BEUTLER, S. J.; PERIN, A.; ANJOS, L. H. C. Densidade e fertilidade do solo sob sistemas de plantio direto e de integração lavoura-pecuária no Cerrado. **Revista Ciências Agrárias**, v.55, p.260-268, 2012.

MAIA, S. M. F.; XAVIER, F. A. DA S.; OLIVEIRA, T. S. DE; MENDONÇA, E. DE S.; ARAÚJO FILHO, J. A. de. Impactos de sistemas agroflorestais e convencional sobre a qualidade do solo no semi-árido cearense. **Revista Árvore**, v.30, p.837-848, 2006.

MELE, P.M.; CARTER, M.R. Effect of climatic factors on the use of microbial biomass as an indicator of changes in soil organic matter. *In*: MULONGOY, K.; MERCKX, R., eds. **Soil organic matter dynamics and sustainability of tropical agriculture**. New York, Jonh Wiley & Sons, 1993. p.57-64.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e Bioquímica do Solo**. 2. ed. Lavras: Editora UFLA, 2006. 729p.

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

PARIZ, C.M.; ANDREOTTI, M.; TARSITANO, M.A.A.; BERGAMASCHINE, A.F.; BUZETTI, S; CHIODEROLLI, C.A. Desempenhos técnicos e econômicos da consorciação de milho com forrageiras dos gêneros *Panicum* e *Brachiaria* em sistema de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 39, p.360-370, 2009.

PARIZ, C.; M. **Produção de silagem de milho em consórcio com braquiárias e sobressemeadura de aveia para terminação de cordeiros**. 141 p. 2013. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Botucatu, 2013.

PASSOS, R. R.; RUIZ, H. A.; MENDONÇA, E. S.; CANTARUTTI, R. B.; SOUZA, A. P. Substâncias húmicas, atividade microbiana e carbono orgânico lábil em agregados de um Latossolo Vermelho distrófico sob duas coberturas vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 31, p. 1119-1129, 2007.

PAVAN, M. A.; CHAVES, JCD. Alterações nas frações de fósforo no solo associadas com a densidade populacional de cafeeiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 20, p. 251-256, 1996.

PILLON, C.N.; MIELNICZUK, J.; MARTIN NETO, L. **Seqüestro de carbono por sistemas de manejo do solo e seus reflexos sobre o efeito estufa**. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE SUBSTÂNCIAS HÚMICAS, 4., Viçosa, 2001. Anais. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2001. p.20-22.

RANGEL, O. J. P.; SILVA, C. A.; GUIMARÃES, P. T. G.; MELO, L. C. A.; OLIVEIRA JUNIOR, A. C. Carbono orgânico e nitrogênio total do solo e suas relações com os espaçamentos de plantio de cafeeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 2051-2059, 2008.

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

RESCK, D. V. S. Agricultural intensification systems and their impact on soil and water quality in the Cerrados of Brazil. In: LAL, R. **Soil quality and agricultural sustainability**. Chelsea: Ann Arbor Press, p. 288-300, 1998.

ROSCOE, R.; MERCANTE, F. M.; MENDES, I. C.; REIS JUNIOR, F. B.; SANTOS, J. C. F.; HUNGRIA, M. Biomassa Microbiana do Solo: Fração mais Ativa da Matéria Orgânica. In: ROSCOE, R.; MERCANTE, F. M.; SALTON, J. C. **Dinâmica da Matéria Orgânica do Solo em Sistemas Conservacionistas: modelagem matemática e métodos auxiliares**. Dourados – MS, Embrapa Agropecuária Oeste, 2006, 163-198 p.

REZENDE, L. A.; ASSIS, L. C.; NAHAS, E. Carbon, nitrogen and phosphorous mineralization in two soils amended with distillery yeast. **Bioresour Technol**, v. 94, p. 159-167, sep. 2004.

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

ROSA, A.H. **Desenvolvimento de metodologia para extração de substâncias húmicas de turfa utilizando-se hidróxido de potássio**. 1998. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Instituto de Química, Araraquara, 1998.

SALTON, J. C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; FABRÍCIO, A. C.; MACEDO, M. C. M.; BROCH, D. L. Teor e dinâmica do carbono no solo em sistemas de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, p. 1349-1356, 2011.

SILVA, M.A.S. DA; MAFRA, A.L.; ALBUQUERQUE, J.A.; ROSA, J.D.; BAYER, C; MIELNICZUK, J. Propriedades físicas e teor de carbono orgânico de um argissolo vermelho sob distintos sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p.329-337, 2006.

SILVA, E. E.; AZEVEDO, P. H. S.; DE-POLLI, H. **Determinação da respiração basal (RBS) e quociente metabólico do solo (qCO<sub>2</sub>)**. Embrapa Agrobiologia. Comunicado Técnico, 2007.

SILVA, L. A. G.; CORRÊA, R.; MOTA, D. M.; PEREIRA, J. A. G. Benefícios gerados por sistemas agroflorestais em uma propriedade no nordeste Paraense. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS, 8., 2011, Belém, PA. **Anais** [...] Belém, PA: SBSAF: Embrapa Amazônia Oriental: UFRA: CEPLAC: EMATER: ICRAF, 2011a.

SMITH, J. L.; PAUL, E. A. The significance of soil microbial biomass estimation. *In*: BOLLAG, J. M., STOTZKY, G. (Ed.). **Soil Biochemistry**. New York: Marcel Dekker, 1990. p.357-396.

SOUZA, E. D.; COSTA, S. E. V. G. A.; ANGHINONI, I.; LIMA, C. V. S.; CARVALHO, P. C. F.; MARTINS, A. P. Biomassa microbiana do solo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto, submetido a intensidades de pastejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 79-88, 2010.

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

STEVENSON, F. J.; COLE, M. A. **Cycles of soils: carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur, micronutrients**. 2. ed. New York: J. Wiley, 1999. 427 p.

STEVENSON, F.J. **Húmus Chemistry: Genesis, composition and reaction**. New York: John Wiley; 1994, p214. 496p.

STIEVEN, A. C.; OLIVEIRA, D. A.; SANTOS, J. O.; WRUCK, F. J.; CAMPOS, D. T. S. Impactos da integração lavoura-pecuária-floresta sobre indicadores microbiológicos do solo. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.9, p.53-58, 2014.

STOTZKY, G.; NORMAN, A. G. Factors limiting microbial activities in soil: I. The level of substrate, nitrogen, and phosphorus. **Archives of Microbiology**, n. 40, p. 341-369, 1961.

TISDALL, J.M.; OADES, J.M. Organic matter and waterstable aggregates in soil. **Journal of Soil Science**, v. 33, p.141-163, 1982.

TÓTOLA, M. R.; CHAER, G. M. **Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade dos solos**. Tópicos em Ciência do Solo, Viçosa, MG, v. 2, 2002. p.196-275.

TRANNIN, I. C. B.; SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S. Características Biológicas do solo Indicadoras de qualidade após dois anos de aplicação de biossólido industrial e cultivo de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p.1173-1184, 2007.

UCHÔA, S.B.B.; SILVA, A.S. da; SILVA, P.B.B. da. Mapeamento das patentes de complexação de metais pesados por meio de substâncias húmicas em estação de tratamentos de águas. **Cadernos de Prospecção**,v. 7, p. 178-186, 2014.

WARDLE, D. A. Metodologia para quantificação da biomassa microbiana do solo. *In*: HUNGRIA, M.; ARAÚJO, R. S. (Ed.). **Manual de métodos empregados em estudos de microbiologia do solo**. Brasília: Embrapa-SPI, 1994. p. 419-436.(Embrapa-CNPAP, Documentos, 46).

## 4 ARTIGOS

### **4.1 Artigo 1 - Atributos microbiológicos do solo sob diferentes sistemas de uso e manejo no Cerrado Mineiro**

Este artigo foi elaborado conforme normas da Revista Soil and Tillage Research

## Atributos microbiológicos do solo sob diferentes sistemas de uso e manejo no Cerrado mineiro

### RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar os atributos microbiológicos do solo sob diferentes sistemas de uso e manejo do solo no município de Curvelo – MG. O estudo foi conduzido na Fazenda Experimental do Moura e a área experimental foi instalada em 2014. Os tratamentos avaliados foram: sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta: ILPF-M, ILPF-J, ILPF-J+M (*Eucalipto urograndis* e Milho + *Brachiaria brizantha* cv. Marandu e, ou, com *Macrotyloma axillare* cv. Java); monocultivo de java (JAVA); monocultivo de capim-marandu (MAR); consórcio entre java e o capim-marandu (J+M) e pastagem de baixa produtividade (PAST). As amostras de solo foram coletadas, em julho de 2015 e janeiro de 2016, nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 cm de profundidade, para determinar o carbono da biomassa microbiana do solo (C-BMS), a respiração basal do solo (C-CO<sub>2</sub>), o carbono orgânico total (COT) e os quocientes microbiano (qMic) e metabólico (qCO<sub>2</sub>). Para comparar os tratamentos, calcularam-se a média e o intervalo de confiança pelo teste t de Student a 5% de probabilidade. Os atributos microbiológicos do solo foram mais influenciados pela época do ano do que pelos sistemas de manejo. O carbono na biomassa microbiana e o qMic foram maiores no período chuvoso. Já o qCO<sub>2</sub> foi menor, neste mesmo período, o que indica que os microorganismos foram eficientes, ao utilizar o substrato disponível incorporando mais C à sua biomassa. Já a respiração basal do solo não diferiu entre as duas épocas avaliadas, com exceção do MAR que apresentou médias menores para o período seco. O ILPF-J apresentou, no período seco, médias superiores de C-BMS, em comparação aos monocultivos, e a PAST, na profundidade 5-10 cm de solo, possivelmente em decorrência do intenso aparecimento de plantas espontâneas que contribuem para o aumento da biomassa microbiana do solo. Já, no período chuvoso, o consórcio J+M apresentou os maiores valores de C-BMS e quociente microbiano, diferindo da PAST em todas as profundidades estudadas. Além da diversidade vegetal do sistema integrado, o desenvolvimento de raízes e o aporte permanente de serrapilheira pelo capim-marandu podem ter contribuído para o aumento da biomassa microbiana do solo nesse consórcio. Os sistemas integrados de produção (ILPF-J e J+M) aumentaram a atividade biológica, em comparação à pastagem de baixa produtividade, mesmo com pouco tempo de implantação.

Palavras-chave: Biomassa microbiana, Respiração basal, Quociente microbiano, Quociente metabólico.

## Microbiological attributes of the soil under different systems of use and management in minas gerais state *Cerrado*

### ABSTRACT

This work aims to evaluate the microbiological attributes of the soil under different systems of land use and management in the city of Curvelo, Minas Gerais. The study was conducted at the Experimental Farm of Moura and the experimental area was installed in 2014. The treatments evaluated were: crop-livestock-forest integration systems: ILPF-M, ILPF-J, ILPF-J + M (Eucalyptus urograndis and maize + *Brachiaria brizantha* cv. marandu and, or with *Macrotyloma axillare* cv. Java); monoculture of java (JAVA); monoculture of marandu grass (MAR); consortium between java and marandu grass (J + M) and low productivity pasture (PAST). Soil samples were collected in July 2015 and January 2016 in the 0-5, 5-10 and 10-20 cm depth layers to determine the soil microbial biomass carbon (C-BMS), soil basal respiration (C-CO<sub>2</sub>), total organic carbon (TOC) and the microbial (qMic) and metabolic (qCO<sub>2</sub>) quotients. In order to compare treatments, mean and confidence interval were calculated using Student's t-test at 5% probability. Soil microbiological attributes were more influenced by the time of year than by management systems. The carbon in the microbial biomass and the qMic were higher in the rainy season. On the other hand, the qCO<sub>2</sub> was lower in this same period which indicates that the microorganisms were efficient when using the available substrate incorporating more C to its biomass. The basal respiration of the soil did not differ between the two evaluated periods except the MAR which showed lower averages for the dry period. In the dry period, ILPF-J presented higher mean of C-BMS values in comparison to monocultures and PAST in the depth of 5-10 cm of soil, possibly due to the intense appearance of spontaneous plants that contribute to the increase of microbial biomass of soil. During the rainy season, the J + M consortium presented the highest values of C-BMS and microbial quotient, differing from PAST in all depths studied. In addition to the plant diversity of the integrated system, root development and permanent input of burlap by marandu grass may have contributed to the increase of microbial biomass of the soil in this consortium. Integrated production systems (ILPF-J and J + M) increased the biological activity compared to the low-productivity pasture even with little implantation time.

**Keywords:** Microbial biomass, Basal respiration, Microbial quotient, Metabolic quotient.

#### **4.1.1. Introdução**

A região Central de Minas Gerais caracteriza-se por apresentar grandes áreas cultivadas com pastagens e, em sua maioria, encontram-se sob solos degradados. De acordo com Townsend et al. (2013), áreas de pastagens e de lavouras mal manejadas têm modificado as características biológicas, físicas e químicas do solo, e essas mudanças são consequência da condução de sistemas de produção que reduzem o teor de matéria orgânica. Portanto a utilização correta dos recursos naturais, de forma a garantir a sustentabilidade e competitividade dos sistemas de produção, é um grande desafio para a agricultura (Zambolim et al., 2004).

Em vista disso, uma das alternativas apresentadas, nos últimos anos, é o uso de sistemas integrados de produção. Estes sistemas têm como objetivo incrementar e diversificar a produtividade dos solos, por meio da combinação intencional, em uma mesma área e tempo de árvores, lavouras e pastagem manejadas de forma integrada. A inserção do sistema de integração, em áreas de pastagem de baixa produtividade, pode contribuir para a melhoria das propriedades físicas e químicas do solo, além de promover um aumento nos estoques de carbono no solo em longo prazo.

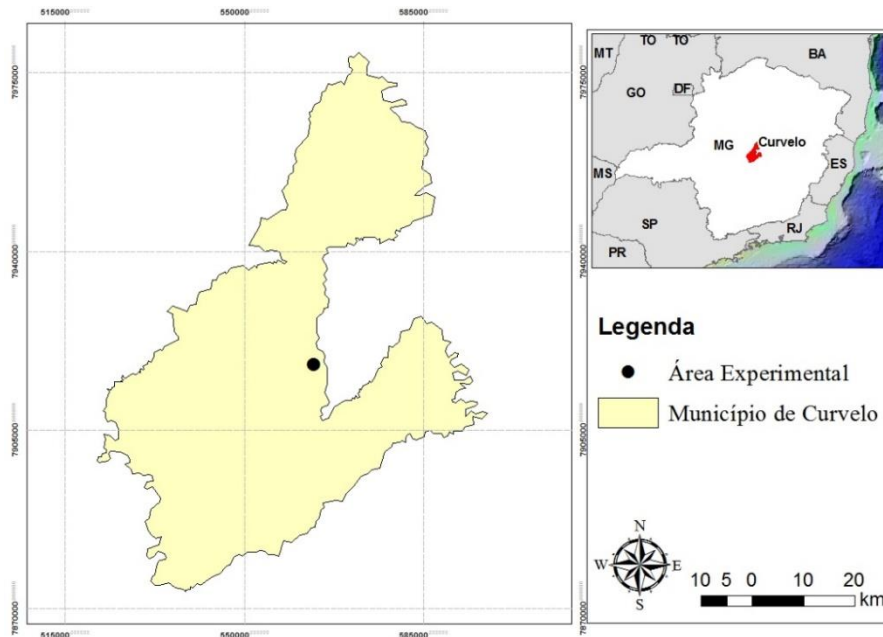
Estudos que avaliam a qualidade dos solos submetidos a sistemas integrados, na região central de Minas Gerais, são primordiais para a adoção de cultivos sustentáveis. Conceição et al. (2005) ressaltam a importância da utilização da MOS como um indicador-chave da qualidade do solo, pois influencia diretamente os demais atributos. Dentre os atributos relacionados à MOS, o carbono da biomassa microbiana (C-BMS) é considerado um bom indicador da qualidade dos solos, pois responde de maneira diferenciada aos manejos agrícolas adotados em cada agroecossistema. Porém o C-BMS oferece apenas uma estimativa quantitativa dos microrganismos, por isso, utiliza-se também o quociente metabólico ( $qCO_2$ ), que é a razão entre o C-BMS e respiração basal do solo (RBS) e pode ser utilizado como indicador de estresse/perturbação ou estabilidade do ecossistema (Zilli et al., 2003).

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar os atributos microbiológicos do solo sob diferentes sistemas de uso e manejo do solo na mesorregião central de Minas Gerais.

#### **4.1.2. Material e métodos**

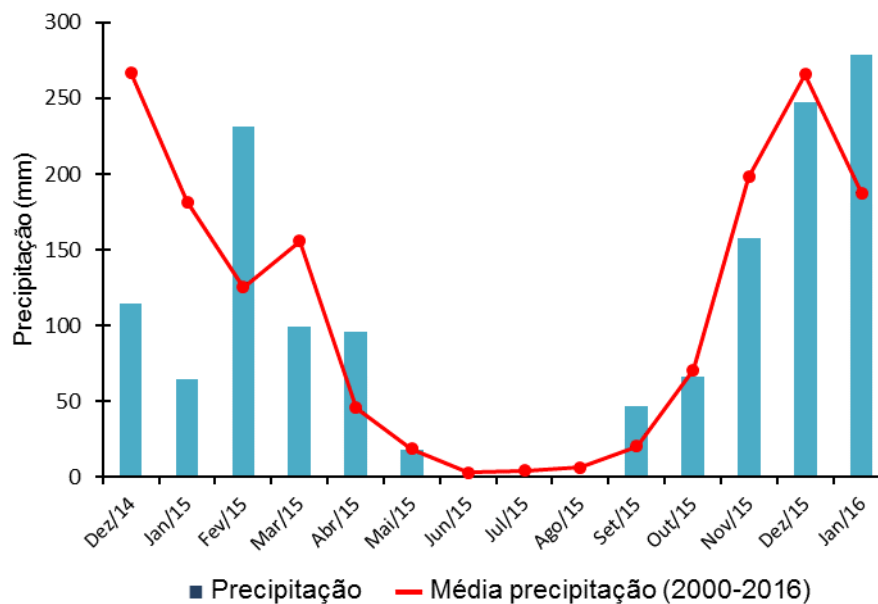
##### *4.1.2.1. Localização da área de estudo*

A área de estudo está localizada na Fazenda Experimental do Moura (FEM), no município de Curvelo, região Central de Minas Gerais (MG), nas coordenadas geográficas 18°44'52" S e 44°26'54" W (Fig. 1). A FEM pertence à Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM).



**Fig. 1.** Localização da área experimental no Município de Curvelo-MG

O Clima predominante na região, segundo a classificação de Köppen, é o Tropical de Savana (Aw), que, no período de verão, registra chuvas e temperaturas elevadas, e o inverno é seco com temperaturas mais baixas (Fig. 2). A precipitação média anual é de 1.045 mm, e a vegetação predominante no município é de Cerradão. Porém a paisagem natural, há anos, vem sendo modificada pela expansão das pastagens e, principalmente, pelo aumento constante de ocupação de suas áreas, para a plantação de eucalipto. O tipo de solo da região é Latossolo Vermelho distrófico típico (Embrapa, 2013) e a caracterização física está apresentada na Tabela 1.



**Fig. 2 -** Distribuição mensal da precipitação pluviométrica no período de condução do experimento e média do período entre 2000 e 2016 em Curvelo-MG. Fonte: INMET, 2016.



**Tabela 1**

Composição granulométrica e classificação textural do solo (0-30 cm) da área experimental localizada em Curvelo/MG

Areia	Fração granulométrica <sup>(1)</sup>		Classificação textural <sup>(1)</sup>
	Silte	Argila	
-----g kg <sup>-1</sup> -----			
94,8	249,2	656,0	Argiloso

<sup>(1)</sup>Determinação realizada pelo método do densímetro (EMBRAPA, 1997).

#### 4.1.2.2. Histórico e caracterização da área de estudo

A vegetação nativa (VN) predominante na área experimental é uma vegetação de transição entre Cerrado e Mata Atlântica, denominada como Cerradão. É um tipo mais denso de vegetação e há grande deposição de folhas durante a estação seca.

O município de Curvelo conta com grandes áreas de pastagens, uma vez que a pecuária é sua principal atividade econômica. Na área em estudo, a pastagem é de *Brachiaria* (Syn. *Urochloa*) *decumbens*, destinada para pecuária de leite e corte, infestada por plantas daninhas e com solo desprotegido, sendo utilizada sem manejo adequado de pastejo ou adubação, acarretando em perda de fertilidade (Tabela 2). Em dezembro de 2014, foi realizada a renovação de parte da pastagem, utilizando cerca de 3 ha, para implantação da área experimental, sendo 1,5 ha destinados aos sistemas de integração Lavoura-Pecuária-Floresta (iLPF) e o restante para o plantio de forrageiras em monocultivo e em consórcio (integração lavoura-pecuária).

**Tabela 2**

Características químicas do Latossolo Vermelho distrófico típico na camada de 0-30 cm, antes da implantação do experimento ocupado com pastagem de *B. decumbens*

<sup>1</sup> pH	<sup>2</sup> CO	<sup>3</sup> P	K	Ca	Mg	Al	<sup>4</sup> SB	<sup>5</sup> T	<sup>6</sup> V
H <sub>2</sub> O	g kg <sup>-1</sup>	-----mg dm <sup>-3</sup> -----		-----cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----					%
5,3	19,6	0,5	61,4	1,5	0,6	0,7	2,3	5,2	41,1

Nota: 1 = pH em água; 2 = Carbono Orgânico; 3 = Fósforo Mehlich 1; 4 = Soma de Bases; 5 = Capacidade de Troca de Cátions Potencial; 6= saturação por Bases. Caracterização química realizada conforme metodologia proposta pela Embrapa (1997).

Para a avaliação dos atributos microbiológicos, nos diferentes sistemas de uso e manejo do solo, foram estabelecidos os seguintes tratamentos (Fig. 3): a) pastagem em estágio de degradação (PAST): pastagem de *B. decumbens*, utilizada como área de referência neste estudo; b) sistema de integração-Lavoura-Pecuária-Floresta (iLPF) composto por eucalipto *urograndis* consorciado com milho, capim-marandu e Java (iLPF-J+M); c) sistema de iLPF composto por eucalipto *urograndis* consorciado com milho e Java (iLPF-J); d) sistema de iLPF composto por eucalipto *urograndis* consorciado com milho e

capim-marandu (ILPF-M); e) monocultivo de campim-marandu (MAR); f) monocultivo de java (JAVA); g) sistema de integração lavoura-pecuária composto por consórcio de campim-marandu com java (J+M);



**Fig. 3.** Croqui da área experimental localizada no município de Curvelo-MG Nota: VN: Vegetação Nativa. Fonte: Adaptado do “Google maps”.

O preparo do solo, para instalação da área experimental, foi realizado com aração e gradagem para promover a descompactação da área anteriormente ocupada com pastagem. O solo foi amostrado, em setembro de 2014, para avaliar a necessidade de calagem e, a partir das recomendações das análises químicas, foi realizada a aplicação de calcário 90 dias antes da semeadura das espécies e plantio de eucalipto.

A cultura agrícola utilizada, em todo o iLPF, foi o milho (híbrido SHS 7920) e a sua semeadura foi realizada, no início de dezembro de 2014, distribuindo seis sementes por metro linear, com espaçamento de 0,80 m entre linhas e respeitando-se 1,5 m de distância das fileiras do eucalipto. Utilizaram-se, na semeadura, 300 kg ha<sup>-1</sup> do adubo formulado 8-28-16 (N-P-K) e, em cobertura, 30 dias após a emergência do milho, 100 kg ha<sup>-1</sup> de N, metade na forma de sulfato de amônio e a outra metade na forma de ureia. A colheita manual do milho ocorreu, em abril de 2015 e os resíduos das plantas foram incorporadas ao solo.

Nos tratamentos ILPF-J+M, ILPF-M e ILPF-J, foram semeados em consórcio e na mesma época (Dez/2014), o milho e as forrageiras, com espaçamento de 0,40 m, sendo uma na linha de cultivo do milho e uma linha na entrelinha do milho, com a semente de cada forrageira misturada ao adubo de plantio à profundidade de, aproximadamente, 3 cm. Para todos os tratamentos, foram utilizados 4 kg ha<sup>-1</sup> de sementes puras viáveis para as espécies forrageiras. Entretanto, no arranjo de forrageiras da espécie gramínea (*Brachiaria Brizantha*) consorciada com a espécie leguminosa (*Macrotyloma axillare*), foi utilizada metade da taxa de semeadura por espécie (2 kg ha<sup>-1</sup> de sementes viáveis).

O componente florestal do sistema iLPF foi o híbrido entre o *Eucalyptus grandis* e o *Eucalyptus urophylla* – Eucalipto urograndis. As mudas foram plantadas em covas de 0,40x0,40x0,40m, com espaçamento de 12x3m e receberam adubação de plantio e de manutenção, respectivamente, com uso de 0,200 Kg de fosfato reativo e 0,125 Kg da formulação 8-28-16 (N-P-K) por cova.

#### 4.1.2.3. Amostragem do solo

As amostras de solo foram coletadas em minitrincheiras (Fig. 4), no inverno (julho de 2015) e verão (janeiro de 2016), nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 cm de profundidade e armazenadas em sacos plásticos. Foram realizadas quatro repetições para cada tratamento e as minitrincheiras foram distribuídas aleatoriamente nas áreas estudadas, sendo, nos sistemas de ILPF, alocadas entre as linhas de plantio do eucalipto.



**Fig. 4.** Minitrincheira para coleta nas amostras de solo no local de estudo

Após a coleta, as amostras de solo foram armazenadas em geladeira na temperatura de 4°C até o preparo. Posteriormente, foram passadas em peneira de 2 mm e retiraram-se resíduos vegetais e animais para evitar interferência. Em seguida foi determinada a capacidade de campo do solo avaliado. Para isso, as amostras foram encharcadas e esperou-se cessar a drenagem e calculou-se o seu teor de água. Pesaram-se 20 gramas de cada amostra a qual foi levada para estufa a 105°C por 24 horas, para determinar o teor de umidade. Por fim, foi realizada a correção da umidade das amostras para 60% da

capacidade de campo, umidade ideal para ativação dos microorganismos do solo. As amostras foram pré-incubadas em sacos plásticos com respiro, para permitir trocas gasosas com o meio exterior, por um período de sete dias e armazenadas em local escuro para posterior determinação das análises microbiológicas (Fig. 5).



**Fig. 5.** Armazenamento das amostras em sacos com respiro para a determinação de análises microbiológicas do solo

#### 4.1.2.4. Determinação dos atributos microbiológicos do solo

O C-BMS foi determinado, conforme metodologias adaptadas de Silva et al., (2007) e Reis Junior e Mendes (2007), pelo método da Fumigação-Extração. As amostras foram divididas em fumigadas (F) e não fumigadas (NF), pesaram-se 20g de solos de cada amostra. Para fumigação, as amostras foram armazenadas por 24 horas em um dessecador contendo um becker com 25,0 mL de clorofórmio isento de álcool.

A determinação do C-BMS ocorreu após a oxidação por via úmida (Walkley e Black, 1934). A extração do C foi realizada com 50 mL de  $K_2SO_4$  ( $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ ), para cada amostra (F e NF) e, posteriormente, cada uma foi submetida a 150 rpm por 44 minutos em mesa agitadora horizontal. Após a agitação, as amostras foram deixadas em repouso por duas horas para decantar. Do extrato foi retirada uma alíquota de 8,0 mL, em seguida, adicionaram 2,0 mL de Dicromato de Potássio ( $K_2Cr_2O_7$ )  $0,0666 \text{ mol L}^{-1}$ , 10,0 mL de Ácido Sulfúrico P.A ( $H_2SO_4$ ), 5,0 mL de Ácido ortofosfórico P.A ( $H_3PO_4$ ), água destilada e titulou-se o dicromato remanescente com sulfato ferroso amoniacal  $[(NH_4)_2Fe(SO_4)_2 \cdot 6H_2O]$   $0,033 \text{ mol L}^{-1}$  na presença do indicador difenilamina.

O cálculo do C microbiano foi obtido pela diferença entre os valores das amostras F e NF, utilizando um fator de correção que representa a eficiência da extração.

O cálculo do carbono nos extratos foi realizado de acordo com a equação 1:

$$C(\text{mg C Kg}^{-1} \text{ solo}) = \frac{(Vb - Va) * M * 0,003 * V1 * 10^6}{Ps * V2} \quad (01)$$

Em que:

C: carbono extraído do solo.

Vb: volume de sulfato ferroso gasto na titulação do branco.

Va: volume de sulfato ferroso amoniacal gasto na titulação da amostra.

M: Molaridade exata do sulfato ferroso amoniacal.

V1: volume de  $K_2SO_4$  gasto no preparo da amostra.

V2: volume da alíquota do extrato.

Ps: massa do solo seco.

Para o cálculo do C-BMS, foi utilizada a equação 2:

$$\text{C-BMS (mg C microbiano kg}^{-1} \text{ solo)} = \text{FC} * \text{Kc}^{-1} \quad (02)$$

Em que:

C-BMS: Carbono da biomassa microbiana do solo.

FC: Fluxo obtido da diferença entre quantidade de C da amostra fumigada e da amostra não fumigada.

Kc: Fator de correção (0,33).

O carbono orgânico total (COT) foi determinado, por meio da oxidação da matéria orgânica via úmida com dicromato de potássio, em meio sulfúrico, conforme metodologia preconizada pela Embrapa (1997).

A respiração basal dos microrganismos do solo (RBS) foi avaliada, por meio da determinação do  $CO_2$  evoluído e a extração com hidróxido de sódio NaOH (Jenkinson e Powlson, 1976). As amostras de solo foram adicionados a um recipiente fechado, contendo um uma solução de NaOH. O  $CO_2$  desprendido foi amostrado, em intervalos regulares durante 25 dias após a incubação do solo, substituindo o recipiente contendo a solução de NaOH  $0,5 \text{ mol L}^{-1}$  por outro com 20,0 mL da mesma solução ao final de cada avaliação. Para a análise, adicionaram 5,0 mL da solução de cloreto de  $BaCl_2$   $0,5 \text{ mol L}^{-1}$  para precipitar o  $CO_2$ , e a solução de NaOH após o período de incubação foi titulada com HCl em presença do indicador fenolftaleína. A quantidade de ácido gasta na bureta até atingir o ponto de equilíbrio estequiométrico foi anotada, para o cálculo do  $CO_2$  evoluído, em cada avaliação. O cálculo da RBS foi obtido pela média dos valores de  $CO_2$  evoluído nas três últimas avaliações.

Para o cálculo da RBS, foi utilizada a equação 3:

$$\text{RBS}(\text{mg C-CO}_2\text{kg}^{-1}\text{ solo.hora}^{-1}) = \frac{[(V_b - V_a) * M * 6]}{P_s \cdot T} \quad (03)$$

Em que:

RBS: respiração basal do solo.

V<sub>b</sub>: volume de HCl gasto para titulação do branco.

V<sub>a</sub>: volume gasto na titulação da amostra.

M: molaridade exata do HCl.

P<sub>s</sub>: massa do solo seco.

T: tempo de incubação em horas.

O quociente metabólico (qCO<sub>2</sub>) foi calculado, a partir da razão entre os valores obtidos da RBS (evolução do C-CO<sub>2</sub>) e C-BMS. Já o quociente microbiano (qMIC) foi obtido dividindo-se os valores do C-BMS pelo COT da amostra (Anderson e Domsch, 1993; Reis Junior e Mendes, 2007).

#### 4.1.2.5. Análise estatística

Para comparação entre os tratamentos, foram calculadas as médias e os intervalos de confiança, considerando-se o nível de probabilidade de 5% pelo teste t de Student, por meio de planilhas eletrônicas Excel (Microsoft Office *Excel* 2007).

### 4.1.3. Resultados e discussão

#### 4.1.3.1. Biomassa microbiana do solo (BMS)

Os teores de C-BMS no período chuvoso foram superiores aos encontrados no período seco para todas as áreas e profundidades avaliadas (Tabela 3). Esse período foi marcado por chuvas intensas e altas temperaturas, condições favoráveis para o aumento da biomassa microbiana do solo. De acordo com Cattelan e Vidor (1990), os atributos biológicos são influenciados por fatores como temperatura e umidade. Esses resultados corroboram os achados de outros autores, que evidenciaram maiores teores de C-BMS no período chuvoso (Alves et al., 2011; Frazão et al., 2010; Silveira et al., 2006; Gama-Rodrigues et al., 2005).

Para o período seco, foi possível observar maiores médias de C-BMS no solo no ILPF-J, nas profundidades avaliadas (Tabela 3), diferindo do monocultivo de JAVA, na profundidade de 0-5 cm e de J+M, JAVA, MAR, ILPF-J+M e PAST, na profundidade de 5-10 cm. No ILPF-J, observou-se um intenso aparecimento de plantas espontâneas. Araújo Neto et al. (2014) observaram maiores teores de C-BMS

em solo coberto por plantas espontâneas, quando comparado a outros tipos de coberturas e atribuíram este fato à diversidade de plantas que proporciona maior regularidade do substrato em condições estressantes. Em conformidade com Hungria et al. (2009), a maior diversidade de plantas contribui para o aumento da atividade da BMS.

Ainda, no período seco, para a profundidade de 5-10 cm, os sistemas integrados de produção ILPF-J+M e ILPF-M, também apresentaram maiores teores de C-BMS quando comparados aos plantios de J+M, JAVA e PAST (Tabela 3). Sistemas agroflorestais, além do aumento da diversidade de espécies vegetais que compõem os sistemas produtivos, também modificam o microclima, favorecendo a melhoria de características químicas e físicas do solo (Nicodemo, 2009). O cultivo do milho com posterior incorporação dos resíduos pode ter contribuído para o aumento do C-BMS nos sistemas integrados de produção.

**Tabela 3**

Carbono da biomassa microbiana (C-BMS) em Latossolo Vermelho distrófico típico sob diferentes sistemas de manejo, nos períodos seco e chuvoso, em Curvelo (MG)

Tratamentos	Profundidade (cm)					
	0 – 5		5 – 10		10 – 20	
	Seco	Chuvoso	Seco	Chuvoso	Seco	Chuvoso
	Carbono microbiano do Solo – C-BMS (mg Kg <sup>-1</sup> )					
J+M	206 ± 27 abB	598 ± 57 aA	95 ± 25 cB	522 ± 46 aA	92 ± 36 aB	489 ± 29 aA
JAVA	154 ± 28 bB	412 ± 33 cA	96 ± 15 cB	454 ± 42 abA	91 ± 27 aB	317 ± 51 cA
MAR	200 ± 42 abB	418 ± 32 cA	111 ± 36 bcB	512 ± 35 aA	113 ± 32 aB	324 ± 42 cA
ILPF-J+M	199 ± 42 abB	489 ± 25 bA	153 ± 28 bB	503 ± 30 aA	102 ± 30 aB	396 ± 37 bcA
ILPF-J	244 ± 39 aB	478 ± 56 bcA	222 ± 29 aB	479 ± 37 abA	124 ± 31 aB	405 ± 18 bA
ILPF-M	216 ± 44 abB	438 ± 43 bcA	163 ± 29 abB	499 ± 21 aA	107 ± 29 aB	409 ± 34 bA
PAST	171 ± 45 abB	438 ± 61 bcA	79 ± 36 cB	424 ± 31 bA	112 ± 29 aB	420 ± 26 bA

Nota: J+M: consórcio de java com capim-marandu; JAVA: monocultivo de Java; MAR: monocultivo de capim-marandu; ILPF-J+M: eucalipto consorciado com milho e java + capim-marandu; ILPF-J: eucalipto consorciado com milho e java; ILPF-M: eucalipto consorciado com milho e capim-marandu; PAST: pastagem de baixa produtividade. As médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha (entre períodos) e minúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo Teste t ao nível de 5% de probabilidade.

No período chuvoso, o tratamento J+M apresentou maiores valores de C-BMS, diferindo de todos os sistemas, nas profundidades de 0-5 e 10-20 cm e apenas da PAST, na profundidade de 5-10 cm. Além da diversidade vegetal que compõe este sistema, há um aporte permanente de serrapilheira pelo capim Marandu e, segundo Azar et al. (2013), isso contribui para o aumento no conteúdo de C no solo. Outros cultivos contendo o capim Marandu, ILPF-J+M, MAR e ILPF-M, também, apresentaram valores de C-BMS superior à PAST para a profundidade de 5-10 cm.

Os monocultivos de JAVA e MAR apresentaram os menores valores de C-BMS diferindo dos demais tratamentos nas profundidades de 0-5 cm e 10-20 cm. Colman et al. (2013) detectaram maiores valores de C-BMS, em sistemas integrados, quando comparados com monocultivos e plantios convencionais. Os autores ressaltam que é possível aumentar e/ou conservar a biomassa microbiana

por meio da utilização de sistemas de manejo conservacionistas, pois a presença de resíduos na superfície do solo favorece o desenvolvimento da microbiota.

#### 4.1.3.2 Carbono orgânico total (COT)

No geral, os sistemas de iLPF apresentaram maiores teores de COT nas três profundidades avaliadas (Tabela 4). Vale ressaltar que, nestes sistemas, os resíduos vegetais do milho foram incorporados ao solo. De acordo com Maluche-Baretta et al. (2007), sistemas de manejo orgânico promovem maior aporte de material orgânico ao solo, principalmente, em suas camadas mais superficiais. Esses resíduos orgânicos depositados no solo, após a decomposição, são essenciais ao processo de adição de carbono orgânico ao longo do tempo (Leite et al., 2003).

**Tabela 4**

Teores de Carbono Orgânico Total (COT) nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-20cm, em Latossolo Vermelho distrófico típico sob diferentes sistemas de manejo em Curvelo (MG)

Tratamentos	Profundidade (cm)		
	0 – 5	5 – 10	10 – 20
	Carbono Orgânico Total (COT) (mg kg <sup>-1</sup> de solo)		
J+M	2,11 ± 0,15 b	1,92 ± 0,18 b	1,84 ± 0,49 b
JAVA	2,23 ± 0,27 b	2,32 ± 0,43 ab	2,10 ± 0,29 ab
MAR	2,25 ± 0,26 b	2,08 ± 0,19 b	1,70 ± 0,28 b
ILPF-J+M	2,75 ± 0,27 ab	2,67 ± 0,11 a	2,03 ± 0,19 b
ILPF-J	3,01 ± 0,31 a	2,69 ± 0,19 a	2,22 ± 0,26 ab
ILPF-M	2,82 ± 0,11 a	2,94 ± 0,22 a	2,68 ± 0,37 a
PAST	2,34 ± 0,26 b	1,77 ± 0,24 b	1,76 ± 0,26 b

Nota: J+M: consórcio de java e capim-marandu; JAVA: monocultivo de Java; MAR: monocultivo de capim-marandu; ILPF-J+M: eucalipto consorciado com milho e java + capim-marandu; ILPF-J: eucalipto consorciado com milho e java; ILPF-M: eucalipto consorciado com milho e capim-marandu; PAST: pastagem de baixa produtividade. As médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo Teste t ao nível de 5% de probabilidade.

#### 4.1.3.3. Quociente microbiano (qMIC)

O quociente microbiano (qMIC) variou entre 0,40 (período seco) e 2,84 % (período chuvoso) (Tabela 5). De acordo com Anderson e Domsch (1989), a BMS corresponde de 1 a 4 % do C orgânico. Valores inferiores a 1 % podem ser atribuídos a algum fator limitante à atividade da biomassa microbiana (Jakelaitis et al., 2008). Por outro lado, maiores valores de qMIC significam que o C orgânico encontra-se mais facilmente acessível para a microbiota do solo (Almeida et al., 2016).

Semelhante ao C-BMS, o período seco apresentou os menores valores qMIC, abaixo de 1%, demonstrando pequena quantidade de C imobilizado como biomassa (Tabela 5). Mercante et al. (2008)



identificaram valores de qMIC inferiores a 1% e atribuem esse resultado à presença de matéria orgânica de baixa qualidade nutricional. Além disso, o baixo teor de água no solo, no período seco, contribuiu para a diminuição da biomassa microbiana do solo.

O ILPF-J, no período seco, apresentou valor de qMIC superior a J+M, JAVA, MAR, ILPF-M e PAST na profundidade de 5-10 cm. Os microorganismos presentes no sistema ILPF-J foram mais eficientes, na utilização do substrato do solo, incorporando mais C nos tecidos microbianos, resultado atribuído à diversidade de substrato pelo crescimento de plantas espontâneas neste sistema. Os resíduos da leguminosa Java são mais lábeis e de fácil decomposição por possuírem menor teor de lignina nos seus tecidos. Nas demais profundidades, neste mesmo período, não foram observadas diferenças estatísticas entre os tratamentos.

**Tabela 5**

Quociente microbiano (qMIC) em Latossolo Vermelho distrófico típico sob diferentes sistemas de manejo, nos períodos seco e chuvoso, em Curvelo (MG)

Tratamentos	Profundidade (cm)					
	0 – 5		5 – 10		10 – 20	
	Seco	Chuvoso	Seco	Chuvoso	Seco	Chuvoso
Quociente microbiano qMIC (%)						
J+M	0,98±0,16 aB	2,84±0,19 aA	0,50±0,18 bB	2,73±0,27 aA	0,50±0,19 aB	2,71±0,38 aA
JAVA	0,71±0,29 aB	1,89±0,60 bA	0,42±0,11 bB	1,97±0,46 bcA	0,44±0,17 aB	1,53±0,46 bcA
MAR	0,90±0,28 aB	1,86±0,20 bA	0,53±0,12 bB	2,46±0,17 abA	0,66±0,14 aB	1,91±0,13 bcA
ILPF-J+M	0,73±0,22 aB	1,79±0,24 bA	0,57±0,13 abB	1,88±0,16 cA	0,50±0,14 aB	1,96±0,31 bcA
ILPF-J	0,81±0,20 aB	1,59±0,31 bA	0,83±0,14 aB	1,78±0,18 cA	0,56±0,13 aB	1,83±0,19 bcA
ILPF-M	0,76±0,14 aB	1,55±0,13 bA	0,56±0,12 bB	1,70±0,15 cA	0,40±0,12 aB	1,54±0,32 cA
PAST	0,73±0,19 aB	1,88±0,35 bA	0,45±0,22 bB	2,41±0,17 abA	0,64±0,19 aB	2,41±0,53 abA

Nota: J+M: consórcio de java e capim-marandu; JAVA: monocultivo de Java; MAR: monocultivo de capim-marandu; ILPF-J+M: eucalipto consorciado com milho e java + capim-marandu; ILPF-J: eucalipto consorciado com milho e java; ILPF-M: eucalipto consorciado com milho e capim-marandu; PAST: pastagem de baixa produtividade. As médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha (entre períodos) e minúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo Teste t ao nível de 5% de probabilidade.

No período chuvoso, os maiores valores de qMIC foram observados, para o consórcio J+M, indicando maior ciclagem de nutrientes e, também, maior disponibilidade de C orgânico para os microorganismos do solo (Anderson e Domsch, 1993; Pragana et al., 2012; Padilha et al., 2014). A PAST apresentou qMIC de 2,41%, superior ao ILPF-M, na profundidade 10-20 cm no período chuvoso. Isso demonstra que a PAST não está totalmente degradada e apresenta capacidade de incorporar C aos tecidos microbianos em camadas subsuperficiais do solo.

#### 4.1.3.4. *Respiração basal do solo (RBS)*

De modo geral, a RBS permaneceu constante nos dois períodos, para os sistemas e profundidades analisadas, exceto para o monocultivo MAR, que apresentou uma maior taxa de respiração, no período chuvoso e a PAST que apresentou maior RBS, no período seco nas profundidades de 5-10 e 10-20 cm (Tabela 6). A atividade microbiana é desejável, pois por meio dela há liberação de nutrientes às plantas. Porém, de acordo com Islam e Weil (2000), altas taxas respiratórias podem evidenciar um distúrbio nos sistemas, rápida decomposição da MOS estável e perda de nutrientes no solo.

O monocultivo MAR apresentou a menor taxa de respiração para o período seco em todas as profundidades analisadas. Os sistemas ILPF-J+M e ILPF-J, também, apresentaram RBS baixa, diferindo do ILPF-M na camada de 5-10 cm e do monocultivo de JAVA na camada de 10-20 cm. Para Diniz et al. (2014), menores valores, no período seco e frio, sugerem que a biomassa microbiana está atuando como compartimento de reserva de nutrientes e, desta forma, evitando-se perdas e melhor utilização do substrato.

Na camada de 0-5 cm, no período chuvoso, o ILPF-J apresentou o menor valor de RBS diferindo do ILPF-M. A alta taxa de respiração no ILPF-M, na camada superficial, pode estar relacionada à constante renovação do sistema radicular do Marandu com acúmulo de matéria orgânica e à sua mineralização, que promove elevada atividade biológica. Ainda, neste período, o ILPF-J e a PAST apresentaram menor taxa respiratória comparada ao monocultivo de JAVA na profundidade 10-20 cm. Já, na camada de 5-10 cm, a PAST diferiu do consórcio de J+M, JAVA, MAR e ILPF-M, apresentando menor RBS. Frazão (2007) recomenda utilizar-se outros parâmetros como o quociente metabólico ( $qCO_2$ ), pois somente a taxa de respiração não explica totalmente o comportamento distinto entre os sistemas avaliados.

**Tabela 6**

Respiração basal do solo (RBS) em Latossolo Vermelho distrófico típico sob diferentes sistemas de manejo, nos períodos seco e chuvoso, em Curvelo (MG)

Tratamentos	Profundidade (cm)					
	0 – 5		5 – 10		10 – 20	
	Seco	Chuvoso	Seco	Chuvoso	Seco	Chuvoso
Respiração Basal do Solo RBS (mg C-CO <sub>2</sub> kg <sup>-1</sup> solo hora <sup>-1</sup> )						
J+M	0,13±0,02 aA	0,11±0,01 abA	0,15±0,03 abA	0,15 ±0,05 aA	0,14 ±0,02 abA	0,09±0,03 abA
JAVA	0,15±0,03 aA	0,12±0,02 abA	0,17±0,03 abA	0,15±0,05 aA	0,15 ±0,01 aA	0,14±0,02 aA
MAR	0,05±0,02 bB	0,13±0,03 abA	0,05±0,02 cB	0,13±0,05 aA	0,05 ±0,00 cB	0,13±0,03 abA
ILPF-J+M	0,12±0,02 aA	0,12±0,04 abA	0,12±0,02 bA	0,12±0,03 aA	0,10 ±0,03 bA	0,11±0,04 abA
ILPF-J	0,12±0,03 aA	0,10±0,01 bA	0,12±0,04 bA	0,10±0,03 abA	0,11 ±0,02 bA	0,09 ±0,02 bA
ILPF-M	0,16±0,02 aA	0,14±0,02 aA	0,17±0,01 aA	0,14±0,03 aA	0,13 ±0,01abA	0,12±0,03 abA
PAST	0,16±0,03 aA	0,13±0,03 abA	0,15±0,03 abA	0,07±0,01 bB	0,15 ±0,01 aA	0,09 ±0,02 bB

Nota: J+M: consórcio de java e capim-marandu; JAVA: monocultivo de Java; MAR: monocultivo de capim-marandu; ILPF-J+M: eucalipto consorciado com milho e java + capim-marandu; ILPF-J: eucalipto consorciado com milho e java; ILPF-M: eucalipto consorciado com milho e capim-marandu; PAST: pastagem de baixa produtividade. As médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha (entre períodos) e minúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo Teste t ao nível de 5% de probabilidade.

#### 4.1.3.5. Quociente metabólico ( $qCO_2$ )

Com relação ao quociente metabólico ( $qCO_2$ ), foram observadas diferenças significativas entre os períodos de coleta, sendo o período seco superior ao período chuvoso, exceto para o monocultivo de MAR que não apresentou diferenças significativas entre os períodos amostrados (Tabela 7). Baixos valores de  $qCO_2$  indicam que a biomassa microbiana foi mais eficiente na utilização dos compostos orgânicos, liberando menos carbono na forma de  $CO_2$  e incorporando mais carbono aos tecidos microbianos (Anderson e Domsch, 1993). Esses resultados corroboram com aqueles encontrados por Frazão (2007), indicando que há uma relação inversa entre C-BMS e  $qCO_2$ .

Considerando apenas o período seco, o monocultivo de MAR apresentou os menores valores de  $qCO_2$ , sendo significativamente inferior a qualquer outro sistema em uma ou mais profundidades de solo avaliadas (Tabela 7). Os sistemas ILPF-J+M, ILPF-J e ILPF-M, também, apresentam baixos valores de  $qCO_2$  na camada de 5-10 cm e diferiram de JAVA e PAST. Esses dois últimos sistemas apresentaram altos valores de  $qCO_2$  indicando condições ambientais desfavoráveis, pois a biomassa gasta mais carbono para sua manutenção do que incorpora nos seus tecidos (Souza et al., 2006).

Durante o período chuvoso, no geral, os sistemas J+M, ILPF e a PAST apresentaram menores valores de  $qCO_2$ , indicando maior incorporação de C, quanto aos demais sistemas agrícolas. Esse resultado pode ser consequência de uma melhor cobertura do solo, proveniente do grande aporte de palhada nesse período. Estudando sistemas agroflorestais (SAF's), Ribeiro (2014) destacou menores valores de  $qCO_2$  e afirmou que os SAF's podem reduzir a emissão de  $CO_2$ , ao longo do tempo, uma vez que são ambientes mais estáveis para a comunidade microbiana do solo.

Segundo Gama-Rodrigues (2008), devem-se adotar técnicas de manejo e utilização de sistemas que promovam menores valores de  $qCO_2$ , pois, nesses sistemas, a biomassa microbiana está em equilíbrio, com menores perdas de dióxido de carbono ( $CO_2$ ) pela respiração e maior incorporação de C à biomassa microbiana.

**Tabela 7**

Quociente metabólico (qCO<sub>2</sub>) em Latossolo Vermelho distrófico típico sob diferentes sistemas de manejo, nos períodos seco e chuvoso, em Curvelo (MG)

Tratamentos	Profundidade (cm)					
	0 – 5		5 – 10		10 – 20	
	Seco	Chuvoso	Seco	Chuvoso	Seco	Chuvoso
Quociente metabólico qCO <sub>2</sub> (mg C-CO <sub>2</sub> .g <sup>-1</sup> C-BMS.h <sup>-1</sup> )						
J+M	0,64±0,15 aA	0,19±0,03 bB	1,60±0,69 abA	0,29±0,07 aB	1,63±0,86 aA	0,19±0,05 cB
JAVA	1,00±0,36 aA	0,30±0,02 aB	1,75±0,20 aA	0,35±0,13 aB	1,70±0,54 aA	0,46±0,08 aB
MAR	0,25±0,10 bA	0,31±0,04 aA	0,50±0,31 cA	0,26±0,09 abA	0,42±0,13 bA	0,39±0,07 abA
ILPF-J+M	0,62±0,26 aA	0,25±0,09 abB	0,78±0,25 bcA	0,23±0,08 abB	1,06±0,50 aA	0,29±0,12 abcB
ILPF-J	0,52±0,25 abA	0,21±0,04 abB	0,53±0,18 cA	0,20±0,04 abB	0,90±0,26 aA	0,23±0,05 cB
ILPF-M	0,77±0,25 aA	0,32±0,08 aB	1,06±0,21 bA	0,28±0,07 aB	1,25±0,35 aA	0,29±0,07 bcB
PAST	0,98±0,40 aA	0,30±0,07 aB	2,03±0,57 aA	0,18±0,02 bB	1,39±0,36 aA	0,22±0,05 cB

Nota: J+M: consórcio de java e capim-marandu; JAVA: monocultivo de Java; MAR: monocultivo de capim-marandu; ILPF-J+M: eucalipto consorciado com milho e java + capim-marandu; ILPF-J: eucalipto consorciado com milho e java; ILPF-M: eucalipto consorciado com milho e capim-marandu; PAST: pastagem de baixa produtividade. As médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha (entre períodos) e minúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo Teste t ao nível de 5% de probabilidade.

#### 4.1.4. CONCLUSÕES

Os atributos microbiológicos do solo avaliados foram mais influenciados pelas condições climáticas do local de estudo do que pelo uso do solo. O período chuvoso garantiu condições de umidade e temperatura favoráveis ao aumento da biomassa microbiana do solo e, neste período, ocorreu melhor aproveitamento do substrato disponível no solo.

Em relação aos diferentes sistemas de uso e manejo do solo avaliados, verifica-se que, mesmo com pouco tempo de implantação, houve aumento do C-BMS e do COT, nas áreas consorciadas (ILPF-J+M, ILPF-J, ILPF-M e J+M), conferindo que a recuperação de áreas degradadas com sistemas integrados de produção pode ser mais eficiente para melhoria dos atributos biológicos do solo.

#### Referências

- Almeida, L.S. de, Ferreira, V.A.S., Fernandes, L.A., Frazão, L.A., Oliveira, A.L.G., Sampaio, R.A., 2016. Indicadores de qualidade do solo em cultivos irrigados de cana-de-açúcar. *Pesq. agropec. bras.* 51, 1539–1547. <https://doi.org/10.1590/s0100-204x2016000900053>
- Alves, T.D.S., Campos, L.L., Elias Neto, N., Matsuoka, M., Loureiro, M.F., 2011. Biomassa e atividade microbiana de solo sob vegetação nativa e diferentes sistemas de manejos. *Acta Sci. Agron.* 33, 341–347. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v33i2.4841>
- Anderson, T.-H., Domsch, K.H., 1985. Determination of ecophysiological maintenance carbon requirements of soil microorganisms in a dormant state. *Biol Fert Soils* 1. <https://doi.org/10.1007/BF00255134>
- Anderson, T.-H., Domsch, K.H., 1989. Ratios of microbial biomass carbon to total organic carbon in arable soils. *Soil Biology and Biochemistry* 21, 471–479. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(89\)90117-X](https://doi.org/10.1016/0038-0717(89)90117-X)
- Anderson, T., Domsch, K., 1993. The metabolic quotient for CO<sub>2</sub> (qCO<sub>2</sub>) 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. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(93\)90140-7](https://doi.org/10.1016/0038-0717(93)90140-7)
- Araújo Neto, S.E. de, Silva, A.N. da, Kusdra, J.F., Kolln, F.T., Andrade Neto, R. de C., 2014. Atividade biológica de solo sob cultivo múltiplo de maracujá, abacaxi, milho, mandioca e plantas de cobertura. *Rev. Ciênc. Agron.* 45, 650–658. <https://doi.org/10.1590/S1806-66902014000400003>
- Azar, G.S., Araújo, A.S.F. de, Oliveira, M.E. de, Azevêdo, D.M.M.R., 2013. Biomassa e atividade microbiana do solo sob pastagem em sistemas de monocultura e silvipastoril. *Sem. Ci. Agr.* 34, 2727. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2013v34n6p2727>

- Cattelan, A.J., Vidor, C. 1990. Flutuações na biomassa, atividade e população microbiana do solo, em função de variações ambientais. *R. Bras. Ci. Solo*, 14, 133-142.
- Colman, B. A.; Salton, J. C.; Mercante, F. M. 2013. Indicadores microbiológicos para avaliação da qualidade do solo em diferentes sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 34. <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/966925>
- Conceição, P.C., Amado, T.J.C., Mielniczuk, J., Spagnollo, E., 2005. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. *Rev. Bras. Ciênc. Solo* 29, 777–788. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832005000500013>
- Diniz, L.T., Ramos, M.L.G., Vivaldi, L.J., Alencar, C.M. de, Junqueira, N.T.V., 2014. Alterações microbianas e químicas de um gleissolo sob macaubeiras nativas em função da variação sazonal e espacial. *Bioscience Journal* 30, 750-762. <https://seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/18124/13937>
- EMBRAPA. 1997. Manual de métodos de análises de solo. 2.ed. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 212p.
- Frazão, L. A. 2007. Conversão do Cerrado em pastagem e sistemas agrícolas: efeitos na dinâmica da matéria orgânica do solo. 122 p. Dissertação (Mestrado)–Programa de Pós-Graduação em Ciências, Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- Frazão, L.A., Piccolo, M. de C., Feigl, B.J., Cerri, C.C., Cerri, C.E.P., 2010. Inorganic nitrogen, microbial biomass and microbial activity of a sandy Brazilian Cerrado soil under different land uses. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 135, 161–167. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2009.09.003>
- Gama-Rodrigues, E.F. da, Gama-Rodrigues, A.C. da, Barros, N.F. de, 1997. Biomassa microbiana de carbono e de nitrogênio de solos sob diferentes coberturas florestais. *Rev. Bras. Ciênc. Solo* 21, 361–365. <https://doi.org/10.1590/S0100-06831997000300002>
- Gama-Rodrigues, E.F. da, Barros, N.F. de, Viana, A.P., Santos, G. de A., 2008. Alterações na biomassa e na atividade microbiana da serapilheira e do solo, em decorrência da substituição de cobertura florestal nativa por plantações de eucalipto, em diferentes sítios da Região Sudeste do Brasil. *Rev. Bras. Ciênc. Solo* 32, 1489–1499. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000400013>
- Hungria, M., Franchini, J.C., Brandão-Junior, O., Kaschuk, G., Souza, R.A., 2009. Soil microbial activity and crop sustainability in a long-term experiment with three soil-tillage and two crop-rotation systems. *Applied Soil Ecology* 42, 288–296. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2009.05.005>
- Islam, K.R., Weil, R.R., 2000. Land use effects on soil quality in a tropical forest ecosystem of Bangladesh. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 79, 9–16. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(99\)00145-0](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(99)00145-0)

- Jakelaitis, A.; Silva, A. A.; Santos, J. B.; Vivian, R. 2008. Qualidade da camada superficial de solo sob mata, pastagens e áreas cultivadas. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 38, 118-127. <https://revistas.ufg.br/pat/article/view/4171>
- Jenkinson, D.S., Powlson, D.S., 1976. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil—V. *Soil Biology and Biochemistry* 8, 209–213. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(76\)90005-5](https://doi.org/10.1016/0038-0717(76)90005-5)
- Leite, L.F.C., Mendonça, E.S., Machado, P.L.O.A., Matos, E.S., 2003. Total C and N storage and organic C pools of a Red-Yellow Podzolic under conventional and no tillage at the Atlantic Forest Zone, south-eastern Brazil. *Aust. Jou. Soil Res.* 41, 717–730. <https://doi.org/10.1071/sr02037>
- Maluche-Baretta, C.R.D., Klauberg-Filho, O., Amarante, C.V.T. do, Ribeiro, G.M., Almeida, D., 2007. Atributos microbianos e químicos do solo em sistemas de produção convencional e orgânico de maçãs no estado de Santa Catarina. *Rev. Bras. Ciênc. Solo* 31, 655–665. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832007000400006>
- Mercante, F.M., Silva, R.F. da, Francelino, S.F., Cavalheiro, J.C.T., Otsubo, A.A., 2008. Biomassa microbiana, em um Argissolo Vermelho, em diferentes coberturas vegetais, em área cultivada com mandioca. *Acta Sci Agron* 30, 479–485. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v30i4.5301>
- Nicodemo, M. L. F. 2009. Uso de biomassa microbiana para avaliação de qualidade do solo em sistemas silvipastoris. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, (Documento 93), 35p. <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/696813/1/PROCIDoc93MLFN2009.00411.pdf>
- Padilha, K. de M., Freire, M.B.G. dos S., Duda, G.P., Santos, U.J. dos, Silva, A.O., Souza, E.R. de, 2014. Indicadores biológicos de dois solos com a incorporação de subproduto da agroindústria de café. *Rev. Bras. Ciênc. Solo* 38, 1377–1386. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832014000500003>
- Pragana, R.B., Ribeiro, M.R., Nóbrega, J.C.A., Ribeiro Filho, M.R., Costa, J.A. da, 2012. Qualidade física de Latossolos Amarelos sob plantio direto na região do Cerrado piauiense. *Rev. Bras. Ciênc. Solo* 36, 1591–1600. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832012000500023>
- Reis-Júnior, F. B. dos; Mendes, I. de C. 2007. Biomassa microbiana do solo. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados. Documentos, 205, 40 p.
- Ribeiro, J. M. 2014. Atributos Químicos e Microbiológicos do solo em Sistemas Agroflorestais do Norte de Minas Gerais. 89 f. Dissertação (Mestrado)— Mestrado em Produção Vegetal, Universidade Federal de Minas Gerais, Montes Claros.
- Silva, E. E.; Azevedo, P. H. S.; De-Polli, H. 2007. Determinação da respiração basal (RBS) e quociente metabólico do solo (qCO<sub>2</sub>). Embrapa Agrobiologia. Comunicado Técnico.



- Silveira, R.B., Melloni, R., Melloni, E.G.P., 2006. Microbiologic and biochemical attributes as indicators of the recovery of degraded areas, in Itajubá/MG. CERNE 12, 048–055. <https://cerne.ufla.br/site/index.php/CERNE/article/view/398>
- Souza, L.M.; Castilhos, D.D.; Morselli, T.B.G.A.; Castilhos, R.M.V. 2006. Influência da aplicação de diferentes vermicompostos na biomassa microbiana do solo após cultivo de alface. Ver. Brasile de Agrociência, 12, 429-434.
- Townsend, C. R.; Passos, A. M. A.; Godinho, V. P. C.; Marcolan, A. L.; Utumi, M. M.; Botelho, F. J. E.; Teixeira, J. F.; Oliveira, S. J. M.; Araújo, L. V.; Teixeira, C. A. D.; Costa, J. N. M. 2013. ILPF como alternativa sustentável de recuperação de pastagem degradada em Porto Velho, Rondônia. Porto Velho, RO: Embrapa Rondônia, 28 p.
- Walkley, A., Black, I.A., 1934. An examination of the degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Science 37, 29–38. <https://doi.org/10.1097/00010694-193401000-00003>
- Zambolim, L.; Silva, A. A.; Agnes, E. L. 2004. Manejo Integrado, integração agricultura-pecuária. Viçosa-MG: UFV, 319 p.
- Zilli, J.E., RUMJANEK, G, N., Xavier, G.R., Coutinho, H.L. da C., Neves, M.C.P., 2003. Diversidade microbiana como indicador de qualidade do solo. Cadernos de Ciência & Tecnologia, 20(3), 391-411. <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/338214>

#### **4.2 Artigo 2 - Carbono e nitrogênio total e nas frações húmicas da matéria orgânica do solo sob diferentes sistemas de uso e manejo no Cerrado Mineiro**

Este artigo foi elaborado conforme normas da Revista Ciência e Agrotecnologia

**Carbono e nitrogênio total e nas frações húmicas da matéria orgânica do solo sob diferentes sistemas de uso e manejo no Cerrado Mineiro**

**Total carbon and nitrogen and in the humic fractions of soil organic matter under different systems of use and management in the Cerrado Mineiro**

**RESUMO**

O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência de diferentes usos da terra sobre os teores de carbono orgânico (COT) e do nitrogênio total (NT) do solo e frações húmicas da matéria orgânica em Curvelo – MG. Os tratamentos avaliados foram: sistema de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF-M), composto por *Eucalypto urograndis*, Milho e *Brachiaria brizantha* cv. Marandu, monocultivo com capim-marandu (MAR); pastagem de baixa produtividade (PAST) e vegetação nativa – Cerradão (VN). As amostras de solo foram coletadas no verão (janeiro de 2016), nas camadas de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-30 cm. A VN apresentou teores de COT e NT superiores aos demais tratamentos o que pode estar associado à grande deposição e diversificação de material vegetal sobre o solo. O ILPF-M obteve valores de NT superiores à PAST, nas camadas de 0-5 e 5-10 cm, favorecido pela presença do componente arbóreo e a incorporação dos resíduos do milho. Semelhante ao COT, os teores de C, nas frações das SHs, foi superior na VN, principalmente, em camadas superficiais. A fração HUM foi predominante, em todos os tratamentos e camadas de solo avaliadas, e isso pode estar relacionado à interação organo-mineral cujas frações mais humificadas da MOS tornam-se menos acessíveis aos microrganismos. O monocultivo MAR favoreceu a formação de compostos mais estáveis da MOS (C-FAH), diferindo da PAST em camadas superficiais. Apesar dos teores de C nas frações não diferirem entre o ILPF-M e a PAST, a formação de compostos mais estáveis da MOS (C-FAH e HUM) foi favorecida pelo sistema integrado que se assemelhou a VN, inferindo que o armazenamento de C no solo pode aumentar com o tempo. A relação FAH/FAF não diferiu entre as áreas agrícolas, porém foi maior na VN na camada superficial, pelo aporte de resíduos no solo ser maior em ambientes de vegetação nativa. Já a relação EA/HUM apresentou valores baixos, para todos os sistemas avaliados, resultado atribuído ao predomínio da fração HUM em relação às FAF e FAH e que indica maior recalcitrância da MOS nos sistemas avaliados. Devido ao pouco tempo de implantação, os sistemas integrados de produção ainda apresentaram menores teores de C no solo quando comparados com a vegetação nativa de cerrado, porém aumentaram o armazenamento de C nas frações mais estáveis da MOS em relação à pastagem de baixa produtividade.

**Termos para indexação:** Fracionamento químico da MOS; sistemas integrados; pastagem degradada.

**Total nitrogen and carbon and humic fractions of organic soil matter under different systems of use and management in the *minas gerais cerrado***

**ABSTRACT**

This work aimed to evaluate the influence of different land uses on organic carbon matter content (OCM) and total nitrogen (TN) of the soil and humic fractions of organic matter in Curvelo, Minas Gerais. The evaluated treatments were: crop-livestock-forest integration system (ILPF-M), composed of *Eucalyptus urograndis*, maize and *Brachiaria brizanthacv. marandu*; monoculture with marandu grass (MAR); low productivity pasture (PAST) and native vegetation - *Cerradão* (NV). Soil samples were collected in the summer (January 2016), in the layers of 0-5, 5-10, 10-20 and 20-30 cm. NV presented OCM and TN levels higher than the other treatments which may be associated to the large deposition and diversification of plant material on the soil. The ILPF-M obtained TN values higher than PAST in the layers of 0-5 and 5-10 cm, favored by the presence of the arboreal component and the incorporation of the maize residues. Similar to OCM, the C contents in the HSs fractions were higher in the NV, especially in the superficial layers. The HUM fraction was predominant in all treatments and evaluated soil layers, and this may be related to organo-mineral interaction where more humified MOS fractions become less accessible to microorganisms. The monoculture MAR favored the formation of more stable MOS compounds (C-FAH), differing from the PAST in superficial layers. Despite the C contents in the fractions did not differ between ILPF-M and the PAST, the formation of more stable compounds of MOS (C-FAH and HUM) was favored by the integrated system that resembled NV, inferring that the storage of C in the soil can increase over time. The FAH/FAF ratio did not differ among the agricultural areas, but it was higher in the superficial layer NV, due to the input of residues in the soil which is higher in native vegetation environments. On the other hand, the EA/HUM relation presented low values for all the evaluated systems, a result attributed to the predominance of the HUM fraction in relation to the FAF and FAH and that indicates a higher recalcitrance of the MOS in the evaluated systems. Due to the short time of implantation, the integrated production systems still presented lower levels of C in the soil compared to the native Cerrado vegetation. Still, they increased the C storage in the more stable fractions of the SOM about the low productivity pasture.

**Index terms:** Chemical fractioning of MOS; integrated systems; degraded pasture.

## INTRODUÇÃO

A degradação dos solos cultivados inicia-se no processo de conversão de ecossistemas naturais para áreas agrícolas, onde os teores de nutrientes e matéria orgânica do solo são perdidos ao longo do tempo (Souza e Melo, 2000). No entanto, os sistemas de cultivo e o preparo do solo têm influência direta na estabilização do carbono no solo e sua sustentabilidade. No plantio convencional com revolvimento do solo, por meio da aração e gradagem, há um decréscimo expressivo no teor de carbono e nitrogênio, quando comparado com o sistema de plantio direto (Leite et al., 2010).

O carbono orgânico total (COT) e nitrogênio total (NT) são parâmetros importantes para avaliação de qualidade do solo (Arshad e Martin, 2002). Solos degradados pelo cultivo apresentam baixos teores de carbono e, conseqüentemente, são deficientes em nitrogênio, o que limita a sua recuperação, principalmente, em sistemas constituídos por gramíneas (Bayer et al., 2000). Em contrapartida, os sistemas de integração Lavoura Pecuária e Floresta (iLPF) têm sido apontados como mais sustentáveis pela relação direta e indireta da matéria orgânica com a melhoria dos atributos edáficos (Vilela et al., 2011).

Outro indicador importante para avaliação da qualidade dos solos baseia-se no fracionamento das substâncias húmicas (SHs) da matéria orgânica do solo (MOS), pois mudanças no uso e manejo do solo podem provocar alterações no conteúdo de carbono das frações das (SHs), constituídas por ácido fúlvico, ácido húmico e humina. A quantificação do teor de carbono nas SHs pode ser considerada uma alternativa para o diagnóstico das ações antrópicas sobre os agrossistemas (Rosa et al., 2003).

Nesse contexto, objetivou-se avaliar os teores de carbono orgânico (COT) e do nitrogênio total (NT) do solo, além de separar e quantificar os teores de COT nas das SHs do solo sob diferentes sistemas de cultivo no Cerrado mineiro.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Localização da área de estudo

As áreas de estudo estão localizadas na Fazenda Experimental do Moura (FEM), localizada no município de Curvelo, região Central de Minas Gerais (MG), nas coordenadas geográficas 18°44'52" S e 44°26'54" W. A FEM pertence à Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM).

A vegetação da área é característica do Cerradão; clima: Classificação Koppen Tropical de Savana (Aw); tipo de solo: Latossolo Vermelho distrófico típico; uso do solo: iLPF com o híbrido entre *E. grandis* e o *E. urophylla* – Eucalipto urograndis, milho (híbrido SHS 7920) e *Brachiaria brizanthacv.* Marandu; Monocultivo com capim-marandu; preparo do solo: aração e gradagem.

### Amostragem do solo

As amostras de solo foram coletadas em minitrincheiras em janeiro de 2016, nas camadas de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-30 cm de profundidade e armazenadas em sacos plásticos. Foram realizadas quatro repetições para cada tratamento. No sistema ILPF, foram coletadas amostras em que havia cultivado apenas Marandu, no espaçamento 12x3 m, sendo uma amostra composta, a partir de duas amostras simples (sombreada e não sombreada), por cada parcela experimental.

Os tratamentos avaliados neste experimento foram (Figura 1): pastagem de baixa produtividade composta pela *Braquiaria decumbens* (PAST); pastagem com monocultivo da *Braquiaria brizantha* cv. Marandu (MAR); Sistema iLPF com Eucalipto urograndis, milho (híbrido SHS 7920) e *Brachiaria brizantha* cv. Marandu (ILPF-M); Vegetação nativa caracterizada como Cerradão foi utilizada como a área de referência neste estudo (VN).



**Figura 1:** Croqui da área experimental, destacando a região amostrada, localizada no município de Curvelo-MG. Fonte: Adaptado do “Google maps”.

As amostras coletadas foram secas ao ar (TFSA), passadas por uma peneira de 2mm e, assim, determinado o carbono orgânico total (COT), nitrogênio total (NT) e o fracionamento químico das substâncias húmicas do solo.

#### **Determinação do carbono orgânico total (COT) e nitrogênio total (NT) do solo**

Determinou-se o carbono orgânico total (COT) pela metodologia adaptada de Yeomans e Bremner (1988). Pesou-se 0,2 gramas de terra fina seca ao ar (TFSA), adicionaram 5,0mL de dicromato de potássio 0,167 mol.L<sup>-1</sup> e 7,5mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> P.A. Depois foi colocado em bloco digestor a 170 °C (30 min),

adicionadas 3,0 mL de  $H_3PO_4$  e titulou-o com sulfato ferroso amoniacal  $0,2 \text{ mol L}^{-1}$  e indicador difenilamina.

O cálculo do carbono orgânico foi realizado de acordo com as equações 1 e 2:

$$A = \left[ \frac{(V_{ba} - V_{am}) \cdot (V_{bn} - V_{ba})}{V_{bn}} \right] + (V_{ba} - V_{am}) \quad (01)$$

$$COT \text{ (g. kg}^{-1}\text{)} = \frac{[(A) \cdot M \cdot 3 \cdot 1000]}{Ps \text{ (mg)}} \quad (02)$$

Em que:

V<sub>ba</sub>: volume de sulfato ferroso gasto na titulação do branco controle com aquecimento.

V<sub>bn</sub>: volume de sulfato ferroso gasto na titulação do branco controle sem aquecimento.

V<sub>am</sub>: volume de sulfato ferroso amoniacal gasto na titulação da amostra.

M: Molaridade exata do sulfato ferroso amoniacal.

COT: carbono orgânico total do solo.

Ps: massa do solo seco.

3: fator utilizado para balanceamento estequiométrico.

1000: fator de conversão de unidade (mg.  $\text{mg}^{-1}$  para g.  $\text{kg}^{-1}$ ).

O nitrogênio total foi determinado, conforme a metodologia adaptada de Tedesco et al. (1995), baseado no método de Kjeldahl para solos (Bremner e Mulvaney, 1982). Para digestão de cada amostra, a 0,2 gramas de TFSA, foram adicionados, aproximadamente, 0,7 gramas de uma mistura digestora ( $K_2SO_4$ ,  $CuSO_4$  e Se) e 2,0 mL de  $H_2SO_4$  P.A. A digestão foi feita a  $330 \text{ }^\circ\text{C}$  e, para determinar a concentração de N total nos extratos, destilou-se todo o amônio do extrato, em meio fortemente alcalino (NaOH 40%), retendo a amônia, em uma solução de ácido bórico, que depois foi titulada com  $H_2SO_4$   $0,01 \text{ mol.L}^{-1}$ .

O cálculo do nitrogênio total foi realizado de acordo com a equação 3:

$$NT \text{ (g. kg}^{-1}\text{)} = \frac{[(V_{am} - V_{br}) \cdot M \cdot 14]}{Ps \text{ (g)}} \quad (3)$$

Em que:

NT: nitrogênio total do solo.

V<sub>am</sub>: volume de ácido gasto na titulação da amostra.

V<sub>br</sub>: volume de ácido gasto na titulação do branco.

M: Molaridade exata do  $H_2SO_4$ .

Ps: massa do solo seco.

14: peso equivalente do N.

## **Fracionamento e quantificação de COT das substâncias húmicas do solo**

O fracionamento químico das substâncias húmicas foi realizado, conforme método da Sociedade Internacional de Substâncias Húmicas (Swift, 1996), adaptado por Mendonça e Matos (2005). As substâncias húmicas foram separadas em três partes: fração ácidos fúlvicos (FAF), fração ácidos húmicos (FAH) e humina (HUM) pela diferença de solubilidade em meios ácido e alcalino. Para isso, pesou-se 0,5 gramas de TFSA, adicionaram-se 10,0 mL de NaOH 0,1 mol L<sup>-1</sup>, agitou-se em mesa agitadora horizontal por 30 minutos a 150 rpm e deixou-o descansar por 12 horas. A separação entre o extrato alcalino (EA = FAF + FAH) e o resíduo (HUM) foi feita por centrifugação a 3000 g por 20 minutos. Seguiram-se mais duas lavagens, com a mesma solução anterior, juntando-se o extrato como anteriormente obtido, resultando em volume final de, aproximadamente, 30 mL. A HUM foi levada para estufa a 45 °C até secar completamente. O pH do EA foi ajustado a 2,0 (±0,1) com H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 20%, seguido de decantação por 14 horas. O precipitado (FAH) foi separado da fração solúvel (FAF) por centrifugação a 3000 g por 6 minutos. O sobrenadante (FAF) foi transferido para um balão de 50,0 mL e teve seu volume aferido com água destilada. O precipitado retido no tubo (FAH) foi diluído com NaOH 0,1 mol.L<sup>-1</sup> e teve seu volume aferido com essa mesma solução para 50,0 mL.

A quantificação do carbono orgânico nas frações C-FAF e C-FAH foi realizada usando-se alíquotas de 5,0 mL de extrato, 2,0 mL de K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 0,033 mol L<sup>-1</sup> e 2,0 mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> P.A, em bloco digestor a 170 °C (30min), adicionou-se 1,0 mL de H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> P.A e titulou-o com sulfato ferroso amoniacal 0,03 mol L<sup>-1</sup> em presença de difenilamina. Para a fração HUM, seguiu-se a mesma metodologia do COT (Yoemans e Bremner, 1988). Com base nestes valores, calcularam-se as relações FAH/FAF e EA/HUM.

## **Análise estatística**

Para comparação entre os tratamentos, foram calculadas as médias e os intervalos de confiança, considerando-se o nível de probabilidade de 5% pelo teste t, por meio de planilhas eletrônicas Excel (Microsoft. Office *Excel* 2007).

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **Carbono orgânico total (COT) e nitrogênio total (NT) do solo**

Os teores de COT e NT foram maiores nas camadas superficiais do solo e decresceram com profundidade (Tabela 1). Esse resultado foi atribuído à maior deposição de resíduos vegetais, na superfície e crescimento radicular acentuado, em camadas superficiais do solo, principalmente, de espécies gramíneas (Costa et al., 2009; Nunes et al., 2011).



Os maiores teores de COT foram observados para a VN e os menores no solo de PAST. Obteve-se diferença estatística entre os tratamentos, em todas as camadas avaliadas, exceto na camada de 20-30 cm. Na camada de 0-5 cm, VN foi superior a todos os tratamentos e esse resultado pode ser explicado, porque, em ambientes naturais sem intervenção antrópica, há uma deposição contínua de serapilheira em camadas superficiais que elevam os teores de COT (Guareschi et al., 2012; Rossetti e Centurion, 2015).

**Tabela 1:** Teores de Carbono Orgânico Total (COT), Nitrogênio Total (NT) e relação C/N, em Latossolo Vermelho distrófico típico sob diferentes sistemas de manejo, em Curvelo (MG).

Tratamentos	-----g kg <sup>-1</sup> -----		
	COT	NT	C/N
<b>0 – 5 cm</b>			
VN	48,01 ± 9,91 a	3,53 ± 0,23 a	13,57 ± 1,92 ab
MAR	24,39 ± 1,84 b	1,47 ± 0,07 c	16,62 ± 1,52 a
ILPF-M	24,98 ± 2,79 b	2,20 ± 0,05 b	11,38 ± 1,34 b
PAST	19,92 ± 2,69 b	1,53 ± 0,20 c	13,04 ± 2,30 ab
<b>5 – 10 cm</b>			
VN	33,51 ± 9,36 a	2,75 ± 0,44 a	12,18 ± 2,68 a
MAR	21,84 ± 1,92 b	1,47 ± 0,08 c	14,91 ± 1,97 a
ILPF-M	24,32 ± 3,82 ab	1,77 ± 0,10 b	13,71 ± 2,78 a
PAST	17,82 ± 0,57 c	1,31 ± 0,13 c	13,60 ± 0,99 a
<b>10 – 20 cm</b>			
VN	26,44 ± 7,00 a	2,13 ± 0,30 a	12,32 ± 3,93 a
MAR	20,18 ± 3,40 ab	1,29 ± 0,19 b	15,66 ± 1,24 a
ILPF-M	19,63 ± 3,09 ab	1,32 ± 0,21 b	14,99 ± 3,89 a
PAST	16,00 ± 2,26 b	1,17 ± 0,16 b	13,75 ± 3,39 a
<b>20 – 30 cm</b>			
VN	17,07 ± 3,48 a	1,36 ± 0,08 a	12,51 ± 2,26 a
MAR	14,46 ± 1,46 a	1,04 ± 0,07 b	13,90 ± 2,17 a
ILPF-M	14,90 ± 1,15 a	1,11 ± 0,14 b	13,45 ± 1,81 a
PAST	14,79 ± 3,62 a	0,98 ± 0,09 b	15,14 ± 5,01 a

Nota: VN: Vegetação Nativa; MAR: Marandu; ILPF-M: sistema integrado com Eucalipto urograndis, milho e capim-marandu; PAST: pastagem de baixa produtividade. As médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo Teste t ao nível de 5% de probabilidade.

Na camada de 5-10 cm de profundidade, a PAST apresentou valor de COT inferior a todos os tratamentos. Ainda nessa camada, a VN apresentou média superior também ao MAR e não diferiu do ILPF-M. De acordo com Rosa et al. (2003), geralmente ocorre um declínio no conteúdo de COT do solo, quando se substitui ecossistemas naturais por ecossistemas com culturas. Porém sistemas conservacionistas como o ILPF-M possuem maior potencial para manter e, ou, recuperar o C orgânico do solo, diferente do sistema com pastagem que aporta menor quantidade de material vegetal ao solo quando manejado de modo equivocado (Portugal et al., 2008; Loss et al., 2014). Para a camada de 10-20 cm de profundidade, a VN também apresentou teor de COT superior à PAST. Ao avaliar estoques de carbono e propriedades físicas de solos submetidos a diferentes sistemas de manejo, Calonego et al. (2012) afirmaram que as intervenções humanas, por meio de práticas agropecuárias, proporcionam

condições físicas do solo inferiores ao solo mantido sob vegetação nativa, diminuindo os teores de matéria orgânica neles. .

Os resultados para o NT foram semelhantes aos observados em relação ao COT (Tabela 1). Como o C e o N são componentes da matéria orgânica e se interrelacionam, quanto ao processo de decomposição da MOS, apresentaram distribuição semelhante no solo (Dias et al., 2007). A VN apresentou teores de NT superior a todos os tratamentos nas quatro profundidades avaliadas. Os altos valores para NT na VN estão associados ao maior volume de resíduos vegetais depositos ao solo.

Nas camadas de 0-5 e 5-10 cm, obteve-se incremento no teor de NT no solo do ILPF-M em comparação àqueles sob MAR e PAST. A presença do componente arbóreo e a incorporação dos resíduos do milho contribuíram para a melhoria da fertilidade do solo e maior acúmulo de MOS no ILPF-M. Estudando as características da serrapilheira e do solo, em cafezais cultivados em sistema agroflorestal, em monocultura na zona da mata em Minas Gerais, Campanha e Santos (2007) afirmaram que o sistema agroflorestal produziu maior quantidade de serrapilheira em comparação aos cafeeiros em monocultura e atribuíram esse resultado à presença do componente arbóreo.

A relação C/N, para todos os tratamentos, nas quatro profundidades avaliadas, variou entre 11,38 e 16,62, prevalecendo a mineralização líquida de N (Aita, 1997). Como o COT e NT apresentaram distribuição semelhante para os sistemas, não foram observadas diferenças estatísticas, exceto na profundidade de 0-5 cm, em que o monocultivo MAR apresentou relação C/N superior ao ILPF-M. Esse resultado pode estar relacionado às adubações nitrogenadas, efetuadas na cultura do milho, que favoreceu a elevação dos teores de NT e redução na relação C/N do solo.

### **Teores de COT nas frações húmicas da matéria orgânica do solo**

A HUM foi a fração das SHs com maiores teores de C independente da área estudada e profundidade analisada, seguida da FAH (Tabela 2). Com outros estudos em solos tropicais, também, observaram-se predomínio do carbono da fração humina em relação às outras frações (Loss et al., 2014; Silva et al., 2011; Rossi et al., 2011; Gazolla, et al., 2015). Isso ocorre pelo fato da forte interação entre a matéria orgânica e a fração mineral do solo, formando complexos organominerais de elevada estabilidade, na superfície do solo, deixando insolúvel a maior parte da matéria orgânica (Majzik e Tombácz, 2007).

A VN apresentou teor de C-FAF superior ao ILPF-M e à PAST na camada superficial 0-5 cm (Tabela 2). Ambientes naturais estão em equilíbrio dinâmico, com constantes entradas e saídas de resíduos no solo, que favorece a formação dos ácidos fúlvicos em camadas superficiais. Por outro lado, mudança da vegetação natural, para outros usos, favorece a decomposição de frações mais solúveis da MOS (FAF). Já, na camada 20-30 cm, ocorreu uma inversão de valores e a VN foi inferior aos demais tratamentos. O revolvimento do solo, em áreas antropizadas, promove o aumento do C-FAF em profundidades subsuperficiais, pois esta fração possui maior mobilidade no solo quando comparada às demais frações (Loss, 2008).

Os tratamentos VN e MAR apresentaram teores de C-FAH superiores à PAST, nas camadas de 0-5 e 5-10 cm de profundidade. Na camada de 10-20 cm, VN foi superior à PAST (Tabela 2). Os baixos

teores de C-FAH, apresentados para a área de PAST, podem ser explicados pelo baixo aporte de material vegetal observados visualmente neste sistema em camadas superficiais. De acordo com Loss (2008), o aumento da atividade microbiana e a diminuição da quantidade de resíduos adicionados, na superfície do solo, promovem redução no conteúdo de C nas frações húmicas.

**Tabela 2** : Teores de carbono nas frações das substâncias húmicas, relação FAH/FAF e EA/HUM, em Latossolo Vermelho distrófico típico sob diferentes sistemas de manejo, em Curvelo (MG).

Tratamentos	C-FAF	C-FAH	C-HUM	FAH/FAF	EA/HUM
	-----g kg <sup>-1</sup> -----				
0 – 5 cm					
VN	4,25 ± 0,73 a	5,84 ± 1,03 a	35,42 ± 5,81 a	1,37 ± 0,03 a	0,29 ± 0,09 a
MAR	2,68 ± 1,01 ab	4,50 ± 0,98 a	16,87 ± 0,72 b	1,81 ± 1,19 a	0,42 ± 0,05 a
ILPF-M	2,05 ± 0,73 b	3,33 ± 2,18 ab	18,75 ± 4,99 b	1,56 ± 0,63 a	0,29 ± 0,17 a
PAST	2,21 ± 0,63 b	2,02 ± 1,45 b	14,22 ± 3,14 b	0,89 ± 0,55 a	0,31 ± 0,19 a
5 – 10 cm					
VN	1,59 ± 0,46 a	4,78 ± 1,03 a	25,85 ± 7,09 a	3,13 ± 0,43 a	0,25 ± 0,09 b
MAR	2,27 ± 0,41 a	4,18 ± 0,05 a	15,37 ± 2,37 bc	1,86 ± 0,52 b	0,42 ± 0,05 a
ILPF-M	1,64 ± 0,63 a	3,15 ± 2,15 ab	18,64 ± 2,95 ab	1,83 ± 0,73 b	0,27 ± 0,21 ab
PAST	1,61 ± 0,50 a	2,71 ± 0,50 b	13,39 ± 1,43 c	1,72 ± 0,45 b	0,32 ± 0,05 ab
10 – 20 cm					
VN	1,15 ± 0,84 a	5,04 ± 1,40 a	19,04 ± 4,56 a	5,47 ± 1,64 a	0,34 ± 0,15 a
MAR	2,18 ± 0,50 a	3,18 ± 0,85 ab	13,40 ± 2,70 ab	1,49 ± 0,56 b	0,40 ± 0,05 a
ILPF-M	1,55 ± 0,60 a	2,19 ± 1,17 b	14,69 ± 4,47 ab	1,35 ± 0,65 b	0,27 ± 0,19 a
PAST	1,52 ± 0,43 a	2,07 ± 0,50 b	11,05 ± 2,82 b	1,42 ± 0,70b	0,33 ± 0,07 a
20 – 30 cm					
VN	0,62 ± 0,34 b	2,39 ± 1,86 a	13,75 ± 4,57 a	4,86 ± 1,38 a	0,22 ± 0,08 b
MAR	1,77 ± 0,72 a	1,68 ± 0,60 a	8,53 ± 1,31 a	0,96 ± 0,08 b	0,40 ± 0,12 ab
ILPF-M	1,92 ± 0,77 a	2,87 ± 1,87 a	10,05 ± 2,41 a	1,74 ± 1,33 b	0,48 ± 0,15 a
PAST	1,47 ± 0,24 a	1,75 ± 0,61 a	8,91 ± 1,66 a	1,19 ± 0,42 b	0,36 ± 0,10 ab

Nota: VN: Vegetação Nativa; MAR: Marandu; ILPF-M: sistema integrado com eucalipto urograndis, milho e capim-marandu; PAST: pastagem de baixa produtividade. As médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo Teste t ao nível de 5% de probabilidade.

A relação C-FAH/C-FAF foi superior a um em todos os tratamentos e camadas avaliadas, exceto para a PAST de 0-5 cm e para o monocultivo de MAR de 20-30 cm de profundidade. Mediante o exposto, pode-se afirmar que o carbono na forma de C-FAH está predominando em relação ao C-FAF, isso evidencia solos mais preservados, de manejo mais conservacionista (Canellas et al., 2003). O predomínio da fração FAH pode ser o resultado de intensa humificação e rápida mineralização de grandes quantidades de material orgânico rico em N, P e Ca incorporado ao solo (Zech et al. 1990).

As áreas de VN apresentaram relação C-FAH/C-FAF superior a todos os tratamentos nas profundidades de 5-10, 10-20 e 20-30 cm. Os valores elevados da relação FAH/FAF indicam perda seletiva da fração FAF decorrente de sua maior mobilidade no solo (Nascimento et al., 2010). Esse fato é observado na VN por meio do teor de C-FAF que diminuiu em camadas mais profundas do solo.

No geral, os teores de C-HUM, nas áreas com VN, foram superiores às demais áreas (Tabela 2), exceto na profundidade de 5-10 cm, na qual não diferiu do ILPF-M e de 10-20 cm de profundidade não diferiu, também, do MAR. Gazolla et al. (2015) atribuem este padrão ao maior aporte de serapilheira e ausência de ação antrópica nesta área, apresentando o mesmo padrão do COT.

Na profundidade de 5-10 cm, o teor de C-HUM no ILPF-M sobressaiu à PAST. Maiores teores de HUM, em sistemas integrados, podem ser atribuídos à maior produção de resíduos vegetais com maior relação C/N e lignina/N, os quais possuem decomposição mais lenta do resíduo e favorecem o aumento de frações recalcitrantes no solo (Gazolla et al., 2015; Silva e Mendonça, 2007). A formação de compostos mais estáveis, HUM e FAH, sugere um manejo agroecológico benéfico que promove melhorias na fertilidade do solo (Loss et al., 2007).

A relação EA/HUM variou entre 0,22 e 0,48, para todos os tratamentos avaliados e este resultado foi atribuído ao predomínio da fração humina em relação às FAF e FAH. Loss (2008), ao avaliar a influência de práticas de manejo agrícola sob sistemas agroecológicos, nas diferentes frações da matéria orgânica de um Argissolo Vermelho-amarelo, encontrou valores de relação EA/HUM inferiores a 1. De acordo com Fontana et al. (2014), a forte interação entre a matéria orgânica e a matriz mineral, pela formação de complexos organominerais de elevada estabilidade, promove baixos valores da relação EA/HUM.

Entretanto Castro (2008) encontrou altos valores, para a relação EA/HUM, ao avaliar frações húmicas de solos sob floresta. Para o autor, o predomínio de compostos orgânicos alcalino-solúveis (FAF+FAH) no solo pode ter sido causado pelo grande volume de restos vegetais na camada superficial e matéria orgânica pouco decomposta na fração HUM.

A VN apresentou relação EA/HUM inferior ao MAR na profundidade de 5-10 cm. Na camada de 20-30 cm, o ILPF-M foi superior a VN. Os altos valores da relação EA/HUM para o ILPF-M, na camada de 20-30 cm, estão relacionados aos maiores teores de carbono, na forma de C-FAF e C-FAH e não ao baixo teor de C-HUM. Neste sistema, ocorreu maior formação de compostos alcalinos-solúveis comparado aos demais tratamentos, o que aumentou a relação EA/HUM na camada de 20-30 cm de profundidade.

## CONCLUSÕES

Os teores de COT e NT foram superiores na vegetação nativa, porém o maior aporte de resíduos, nos sistemas bem manejados contribuiu para o aumento dos teores desses elementos no solo em relação à pastagem de baixa produtividade.

O teor de COT foi maior na HUM em comparação às FAF e FAH, em todas as camadas e áreas analisadas, com destaque para o sistema ILPF-M que promoveu um incremento de C em relação à pastagem de baixa produtividade.

As frações mais estáveis das SHs são predominantes nos diferentes sistemas de uso e manejo do solo.

## REFERÊNCIAS

AITA, C. Dinâmica do nitrogênio no solo durante a decomposição de plantas de cobertura: efeito sobre a disponibilidade de nitrogênio para a cultura em sucessão. *In*: FRIES, M.R.; DALMOLIN, R.S.D.

- Atualização em recomendação de adubação e calagem:** ênfase em plantio direto. Santa Maria: Editora Palloti, p. 76-111, 1997.
- ARSHAD, M. A.; MARTIN, S. Identify incritical limits for soil quality indicators in agro-ecosystems. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, 88: 153-160, 2002.
- BAYER, C. et al. Effect of no-till cropping systems on soil organic matter in a sandy clay loam Acrisol from Southern Brazil monitored by electron spin resonance and nuclear magnetic resonance. **Soil Till. Res.**, 53: 95-104, 2000.
- BREMNER J.M.; MULVANEY C.S. Nitrogen - Total. In: PAGE, A. L.; MILLER, R. H.; KEENEY, D. R. (Eds.). **Methods of Soil Analysis, Part 2. Chemical and microbiological properties**, Madison: American Society of Agronomy, Inc, p. 595-641. 1982.
- CALONEGO, J. C. et al. Estoques de carbono e propriedades físicas de solos submetidos a diferentes sistemas de manejo. **Revista Caatinga**, 24: 128-135, 2012.
- CAMPANHA, M. M.; SANTOS, R. H. S. Análise comparativa das características da serrapilheira e do solo em cafezais (*Coffea arabica* L.) cultivados em sistema agroflorestal e em monocultura na zona da mata-MG. **Revista Árvore**, 31: 805-812, 2007.
- CANELLAS, L. P. et al. Propriedades químicas de um Cambissolo cultivado com cana-de-açúcar, com preservação do palhico e adição de vinhaça por longo tempo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 27: 935-944, 2003.
- CASTRO, G. C. **Carbono orgânico nas frações granulométricas e húmicas em solos de diferentes texturas sob floresta da região noroeste mato-grossense**. 45f. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Mato Grosso, Faculdade de Engenharia Florestal, Pós-graduação em Ciências Florestais e Ambiental, 2008.
- COSTA, S.E.V.G.A. et al. Phosphorus and root distribution and corn growth related to longterm tillage systems and fertilizer placement. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 33: 1237-1247, 2009.
- DIAS, B.O. et al. Estoque de carbono e quantificação de substâncias húmicas em Latossolo submetido à aplicação contínua de lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 31: 901-911, 2007.
- FONTANA, A. et al. Matéria orgânica de horizontes superficiais em topolitossequências em ambiente de Mar de Morros, Pinheiral, RJ. **Revista Ciência Agronômica**, 45: 221-229, 2014.
- GAZOLLA, P. R. et al. Frações da matéria orgânica do solo sob pastagem, sistema plantio direto e integração lavoura-pecuária. **Semina: Ciências Agrárias**, 36: 693-704, 2015.
- GUARESCHI, R. F.; PEREIRA, M. G.; PERIN, A. Deposição de resíduos vegetais, matéria orgânica leve, estoques de carbono e nitrogênio e fósforo remanescente sob diferentes sistemas de manejo no cerrado goiano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 36: 909-920, 2012.

- LEITE, L. F. C. et al. Atributos químicos e estoques de carbono em Latossolo sob plantio direto no cerrado do Piauí. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 14(12): 1273–1280, 2010.
- LOSS, A. et al. Fracionamento químico da matéria orgânica do solo em áreas sob diferentes coberturas vegetais e manejo agroecológico. **Revista Brasileira de Agroecologia**, 2: 1389-1393, 2007.
- LOSS, A. **Frações orgânicas e agregação do solo em diferentes sistemas de produção orgânico**. 52 p. 2008. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2008.
- LOSS, A. et al. M. Atributos físicos e químicos do solo em sistemas de consórcio e sucessão de lavoura, pastagem e silvipastoreio em Santa Teresa, ES. **Bioscience Journal**, 30: 1347-1357, 2014.
- MAJZIK, A.; TOMBÁČZ, E. Interaction between humic acid and montmorillonite in the presence of calcium ions I. Interfacial and aqueous phase equilibria: Adsorption and complexation. **Organic Geochemistry**, 38: 1319-1329, 2007.
- MENDONÇA, E. S.; MATOS, E. S. **Matéria Orgânica do Solo: Métodos de Análises**. Viçosa: UFV, 2005. 107 p.
- NASCIMENTO, P. C. et al. Teores e características da matéria orgânica de solos hidromórficos do Espírito Santo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 34: 339-348, 2010.
- NUNES, R. S. et al. Sistemas de manejo e os estoques de carbono e nitrogênio em latossolo de cerrado com a sucessão soja-milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 35: 1407-1419, 2011.
- PORTUGAL, A. F. et al. Determinação de estoques totais de carbono e nitrogênio e suas frações em sistemas agrícolas implantados em argissolo vermelho-amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32: 2091-2100, 2008.
- ROSA, M.E.C. et al. Formas de carbono em Latossolo Vermelho Eutroférrico sob plantio direto no sistema biogeográfico do Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 27: 911-923, 2003.
- ROSSETTI, K. V.; CENTURION, J. F. Estoque de carbono e atributos físicos de um Latossolo em cronossequência sob diferentes manejos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 19(3): 252–258, 2015.
- ROSSI, C. Q. et al. Frações húmicas da matéria orgânica do solo cultivado com soja sobre palhada de braquiária e sorgo. **Bragantia**, 70: 622-630, 2011.
- SILVA, I. R.; MENDONÇA, E. S. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, R. F. et al. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 275-374, 2007.

- SILVA, E. F. et al. Frações lábeis e recalcitrantes da matéria orgânica em solos sob integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 46: 1321-1331, 2011.
- SOUZA, W. J. O.; MELO, W. J. Teores de nitrogênio no solo e nas frações da matéria orgânica sob diferentes sistemas de produção de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 24(4): 885-896, 2000.
- SWIFT, R.S. Organic Matter Characterization. In: SPARKS, D. L. et al. **Methods of Soil Analysis**. John Wiley & Sons, Ltd. p. 1011–1069, 1996.
- TEDESCO, M. J. et al. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2. ed. Porto Alegre, Departamento de Solos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 1995. 174p.
- VILELA, L. et al. Sistemas de integração lavoura-pecuária na região do Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 46(10): 1127-1138, 2011.
- YEOMANS, J.C.; BREMNER, J.M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, 19(13), 1467–1476. 1988.
- ZECH, W.; HAUMAIER, L.; HEMPFLING, R. 1990. Ecological aspects of soil organic matter in tropical land use. In: CASTRO, G. C. **Carbono orgânico nas frações granulométricas e húmicas em solos de diferentes texturas sob floresta da região noroeste mato-grossense**. 45f. 2008. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Mato Grosso, Faculdade de Engenharia Florestal, Pós-graduação em Ciências Florestais e Ambiental, 2008.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os sistemas integrados de produção (ILPF e ILP) proporcionam melhorias na qualidade e atributos biológicos do solo tornando-se alternativas interessantes para recuperação de solos degradados. Estes sistemas visam uma produção sustentável na busca por efeitos sinérgicos entre os componentes do agroecossistema, contemplando a adequação ambiental, a valorização do homem e a viabilidade econômica.

Estudos complementares poderão ser realizados para avaliar os benefícios da adoção dos sistemas integrados de produção a médio e a longo prazo, além da utilização de modelos matemáticos para estimar os estoques de biomassa e carbono orgânico no solo ao longo do tempo.