

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MATO GROSSO DO SUL
UNIDADE UNIVERSITÁRIA DE CASSILÂNDIA
PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

**CARBONO ORGÂNICO E ÍNDICE DE MANEJO DE
CARBONO EM SISTEMA SILVIPASTORIL**

ISABELA MACHADO DE OLIVEIRA LIMA

Cassilândia-MS

Fevereiro/2021

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MATO GROSSO DO SUL
UNIDADE UNIVERSITÁRIA DE CASSILÂNDIA
PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

**CARBONO ORGÂNICO E ÍNDICE DE MANEJO DE
CARBONO EM SISTEMA SILVIPASTORIL**

ISABELA MACHADO DE OLIVEIRA LIMA

Orientadora: Simone Cândido Ensinas Maekawa

Coorientadora: Giselle Feliciani Barbosa

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Sustentabilidade na Agricultura, da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Agronomia - Sustentabilidade na Agricultura.

Cassilândia-MS

Fevereiro/2021

L698c Lima, Isabela Machado de Oliveira

Carbono orgânico e índice de manejo de carbono em sistema silvipastoril / Isabela Machado de Oliveira Lima. – Cassilândia, MS: UEMS, 2022.

27 p.

Dissertação (Mestrado) – Agronomia – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, 2022.

Orientadora: Prof. Dr^a Simone Cândido Ensinas Maekawa

1. Carbono orgânico 2. Silvipastoril 3. Manejo do solo I. Maekawa, Simone Cândido Ensinas II. Título

CDD 23. ed. - 631.4



Governo do Estado de Mato Grosso do Sul
Fundação Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
PROPP - Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação
UEMS - Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul - Sede Dourados
UUCass - Unidade Universitária de Cassilândia
Programa de Pós-Graduação em Agronomia
PGAC - Área de Concentração em Sustentabilidade na Agricultura



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: CARBONO ORGÂNICO E ÍNDICE DE MANEJO DE CARBONO EM SISTEMA SILVIPASTORIL

AUTOR(A): ISABELA MACHADO DE OLIVEIRA LIMA
ORIENTADOR(A): SIMONE CANDIDO ENSINAS MAEKAWA
COORIENTADOR(A): GISELLE FELICIANI BARBOSA

Aprovado como parte das exigências para obtenção de MESTRE EM AGRONOMIA, Área de concentração: "Sustentabilidade na Agricultura", pela Comissão Examinadora

Prof.ª. Dra. Simone Candido Ensinas Maekawa
Orientador(a)

Prof.ª. Dra. Susiane de Moura Cardoso dos Santos
Participação via webconferência

Prof. Dr. Wellington da Silva Guimarães Junnyor
Participação via webconferência (UEMS)

Data da realização: 20 de fevereiro de 2021.

AGRADECIMENTOS

Ao programa de bolsas PIBAP pela concessão de bolsa para a execução do trabalho de pós graduação.

Ao corpo docente da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, tanto da graduação quanto do programa de pós graduação.

A Agropecuária Ouro Branco pela disponibilidade de área para realização deste trabalho.

A minha orientadora Simone Cândido Ensinas, e coorientadora Giselle Feliciani Barbosa, por toda dedicação, confiança e ensinamentos.

Aos colegas Luiz Renato, Rafael e professores Wolff e Giselle, pela ajuda nas coletas de amostras.

Ao técnico de laboratório, Márcio, pelo apoio durante as avaliações.

Aos meus pais Maria Machado de Oliveira e Aparecido de Lima e Silva (*in memoriam*) pelo apoio e incentivo.

A todos que, de alguma forma, ao longo da minha jornada até aqui, me influenciaram e incentivaram a realizar o curso de mestrado.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	6
LISTA DE FIGURAS	7
1. Introdução.....	9
2. Material e métodos.....	11
3. Resultados e discussão	15
4. Conclusões	24
5. Referências bibliográficas.....	24

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Características dos componentes granulométricos do solo da área nas camadas de 00,0-20,0 e 20,0-40,0 cm.**Erro! Indicador não definido.**

Tabela 2. Valores médios dos teores de carbono orgânico total (COT), carbono orgânico particulado (COP) e carbono orgânico associado aos minerais (COam), nas camadas de 00,0-10,0, 10,0-20,0 e 20,0-30,0 cm nas áreas de silvipastoril (SS), pastagem convencional (SC) e vegetação nativa (VN). Bandeirantes, MS, 2020..... 16

Tabela 3. Valores médios dos estoques de carbono orgânico total (COT), carbono orgânico particulado (COP) e carbono orgânico associado aos minerais (COam), nas camadas de 00,0-10,0, 10,0-20,0 e 20,0-30,0 cm nas áreas de silvipastoril (SS), pastagem convencional (SC) e vegetação nativa (VN). Cassilândia, MS, 2020. 18

Tabela 4. Valores médios do índice de manejo de carbono nas camadas 00,0-10,0, 10,0-20,0 e 20,0-30,0 cm nas áreas de silvipastoril (SS), pastagem convencional (SC) e vegetação nativa (VN). Cassilândia, MS, 2020..... 23

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Áreas de vegetação nativa (a), pastagem convencional (b), silvipastoril (c) e pontos de coleta das amostras de solo a diferentes distâncias da linha de plantio do eucalipto no sistema silvipastoril (d). Bandeirantes, MS, 2019. 12
- Figura 2.** Coleta das amostras compostas de solo com auxílio de trado holandês (a) e coleta das amostras indeformadas com anel volumétrico (b). Bandeirantes, MS, 2019. 13
- Figura 3.** Determinação de COT pelo método de oxidação por via úmida segundo metodologia descrita por Yeomans e Bremner, antes (a) e após (b) o ponto de viragem (1988). Cassilândia, MS, 2020. 14
- Figura 4.** Agitação das amostras para determinação de COp em agitador horizontal (a) e lavagem das mesmas em água deionizada em peneira de malha 0,53 μm acordo com a metodologia descrita por Cambardella e Elliott (1992). Cassilândia, MS, 2020. 14
- Figura 5.** Teores de carbono orgânico total (COT), particulado (COp) e associado aos minerais (COam) nas áreas do sistema silvipastoril (SS), pastagem convencional (SC) e área de vegetação nativa (VN) na camada de 00,0-30,0 cm. Cassilândia, MS, 2020. ... 21
- Figura 6.** Estoques de carbono orgânico total (COT), particulado (COp) e associado aos minerais (COam) nas áreas do sistema silvipastoril (SS), pastagem convencional (SC) e área de vegetação nativa (VN) na camada de 00,0-30,0 cm. Cassilândia, MS, 2020 22

CAPITULO 1. CARBONO ORGÂNICO E ÍNDICE DE MANEJO DE CARBONO EM SISTEMA SILVIPASTORIL

RESUMO: Os sistemas de produção podem proporcionar diversos benefícios para o solo, dentre eles alterações desejáveis nas frações da matéria orgânica, as quais podem, ou não, serem perceptíveis a curto prazo. Assim, o objetivo do presente trabalho foi avaliar o potencial do sistema silvipastoril (SS), sistema convencional de pastagem (SC) e área de vegetação nativa (VN) em incrementar os teores e estoques de carbono orgânico total (COT), carbono orgânico particulado (CO_p), carbono orgânico associado aos minerais (CO_{am}) e índice de manejo de carbono (IMC) no solo. O experimento foi instalado em delineamento experimental inteiramente casualizado, composto por sete tratamentos, com quatro repetições. Os tratamentos foram: pastagem convencional, vegetação nativa e o sistema silvipastoril, para o qual foram adotados como tratamentos pontos de coleta a diferentes distâncias da linha de plantio do eucalipto: SS 0,0; SS 2,5; SS 5,0; SS 7,5 e SS 10,0 m. Foram coletadas amostras compostas de solo, nas camadas de 00,0-10,0, 10,0-20,0 e 20,0-30,0 cm, adotando-se delineamento experimental inteiramente casualizado, composto por sete tratamentos e quatro repetições. Os resultados obtidos que se mostraram significativos, após a análise de variância, foram agrupados pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. Os tratamentos SS 7,5 e SS 10,0 apresentaram os maiores teores de COT e CO_{am} nas camadas de 00,0-10,0, 10,0-20,0 e 20,0-30,0 cm, respectivamente. Quanto aos estoques de carbono das frações o tratamento SS 7,5 se destacou pelos estoques de COT, na camada de 20,0-30,0 cm, e CO_{am} na camada de 10,0-30,0 cm. Valores superiores também foram obtidos com o SS 10,0 nas profundidades de 00,0-20,0 cm, para o estoque de COT, e 00,0-10,0 cm para o estoque de CO_{am}. Quanto ao IMC somente a VN apresentou valor expressivo.

Palavras-chave: Distância de copa, Qualidade do solo, Quantificação de carbono, Sistemas conservacionistas.

DETERMINATION OF ORGANIC CARBON AND CARBON MANAGEMENT INDEX IN SILVIPASTORIL SYSTEM

ABSTRACT: Production systems can provide several benefits to the soil, including desirable changes in the fractions of organic matter, which may or may not be noticeable in the short term. Thus, the objective of the present work was to evaluate the

potential of the silvopastoral system, conventional pasture system (CS) and native vegetation area (NV) to increase the contents and stocks of total organic carbon (TOC), particulate organic carbon (POC), mineral-associated organic carbon (MOC) and soil carbon management index (CMI). The experiment was installed in a completely randomized design, consisting of seven treatments, with four replications. The treatments were: conventional pasture, native vegetation and the silvopastoral system, for which collection points at different distances from the eucalyptus planting line were adopted as treatments: SS 0,0; SS 2,5; SS 5,0; SS 7,5 e SS 10,0 m. Composite soil samples were collected in the layers of 00,0-10,0, 10,0-20,0 e 20,0-30,0 cm adopting a completely randomized design, consisting of seven treatments and four replications. The results obtained, which proved to be significant, after the analysis of variance, were grouped by the Scott-Knott test at 5% probability. The SS 7.5 and SS 10.0 treatments showed the highest TOC and MOC contents in the 00.0-10.0, 10.0-20.0 and 20.0-30.0 cm layers, respectively. As for the carbon stocks of the fractions, the SS 7.5 treatment was highlighted by the stocks of TOC, in the layer of 20.0-30.0 cm, and MOC in the layer of 10.0-30.0 cm. Higher values were also obtained with SS 10.0 at depths of 00.0-20.0 cm for the TOC stock, and 00.0-10.0 cm for the MOC stock. As for the BMI, only the NV showed an expressive value.

Keywords: Canopy distance, Soil quality, Carbon quantification, Conservation systems.

1. INTRODUÇÃO

O solo é considerado o maior reservatório de carbono do planeta, podendo comportar teores quatro vezes maiores ao encontrado na biomassa vegetal e na atmosfera (Assefa et al., 2017). A determinação do carbono existente no solo permite a identificação das características intrínsecas dos sistemas de produção com maior facilidade (Cunha Neto et al., 2018). Solos que apresentam algum nível de degradação, alteram diretamente seus atributos como o carbono orgânico total e particulado influenciando durante o processo de recuperação dessas áreas (Menezes et al., 2017).

A degradação dos solos em áreas de pastagem é um dos principais agravantes da sustentabilidade da agropecuária, fazendo-se necessária a adoção de alternativas para minimizar e/ou evitar deterioração deste recurso natural, como por exemplo, a integração de outras culturas na área degradada (Macedo e Araújo, 2016). Os sistemas

de integração com floresta apresentam-se como alternativa viável de restauração destas áreas ao promoverem melhoria dos atributos químicos, físicos e biológicos do solo, podendo, quando manejados adequadamente, apresentar valores de atributos próximos aos encontrados em matas nativas (Coutinho et al., 2017).

A superioridade dos sistemas agrossilvipastoris em estocar carbono é detectada principalmente nas camadas superficiais (Sacramento et al., 2013), podendo apresentar valores mais elevados do que os encontrados em áreas de pastagem convencional (Loss et al., 2014). No entanto, a composição árvore mais pastagem e animal apresenta quantidades de carbono que aumentam gradativamente ao longo do desenvolvimento das plantas, havendo maiores acúmulos de carbono, possivelmente, a partir de dez anos de implantação do sistema agrossilvipastoril (Wendling et al., 2011).

As mudanças nos teores totais de carbono orgânico do solo nem sempre são detectadas a curto prazo. Em função disso, frações lábeis de carbono orgânico do solo, tais como a matéria orgânica leve, carbono facilmente oxidável e carbono orgânico particulado têm sido utilizados como indicadores de qualidade do solo, pois são sensíveis às mudanças nos níveis de carbono orgânico do solo em função das práticas de manejo (Loss et al., 2013; Rossi et al., 2012).

A exemplo tem-se áreas de silvipastoril, com maior período de implantação, que apresentam características estruturais semelhantes às de áreas de vegetação nativa (Martinkoski et al., 2017). Segundo Lana et al. (2018), são encontradas maiores concentrações de carbono e matéria orgânica do solo na linha de plantio do eucalipto, o que ocorre em resposta à maior deposição de serapilheira nestas áreas, o que contribui para maior formação de matéria orgânica no local.

Ao comparar sistemas agroflorestais com áreas de pastagem contínua, nota-se que as áreas com espécies arbóreas possuem maior fertilidade, física e biológica, a qual está relacionada com os maiores estoques de carbono estáveis e menos solúveis presentes no solo. O reconhecimento e quantificação destas frações permitem a adoção de alternativas de manejo mais eficientes que visem a conservação do solo (Baldotto et al., 2015). Marques Filho et al. (2017) afirmaram que a distância da copa das árvores influencia nos teores de matéria orgânica nas camadas de 0-10 cm, ocorrendo um acréscimo nestes valores à medida que aumenta a distância de coleta da amostra de solo da linha de plantio do eucalipto.

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar os teores e estoques de carbono orgânico total (COT), carbono orgânico particulado (COP), carbono orgânico

associado aos minerais (COam) e o índice de manejo de carbono (IMC) em diferentes distâncias da linha de plantio do eucalipto em sistema silvipastoril, comparado com sistema convencional de pastagem e área de vegetação nativa em um Neossolo Quartzarênico.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado no município de Bandeirantes, Mato Grosso do Sul, (Rod. BR 163, km 567), 19°44'00''S e 54°21'55''O, com 655 m de altitude média, em áreas pertencentes a Agropecuária Ouro Brando. O clima da região, segundo Köppen (1948), é classificado como tropical chuvoso, apresentando precipitação e temperatura médias de 1275 mm e 23,1°C, respectivamente. O solo da área foi classificado como Neossolo Quartzarênico (SANTOS et al., 2018). A caracterização física do solo é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1. Características dos componentes granulométricos do solo da área nas camadas de 00,0-20,0 e 20,0-40,0 cm.

Camada (m)	Areia (g kg ⁻¹)	Silte (g kg ⁻¹)	Argila (g kg ⁻¹)
0,0-0,2	850	50	100
0,2-0,4	875	25	100

O experimento foi instalado em delineamento inteiramente casualizado (DIC), sendo adotadas três áreas experimentais para a coleta das amostras de solo: o sistema silvipastoril, com diferentes distâncias da linha de plantio do eucalipto, 0,0; 2,5; 5,0; 7,5 e 10,0 m, as quais corresponderam a cinco tratamentos (SS 0,0; SS 2,5; SS 5,0; SS 7,5 e SS 10,0), o sistema convencional de pastagem (SC) e a área de vegetação nativa (Cerrado) (VN) (Figura 1a, 1b, 1c e 1d).





Figura 1. Áreas de vegetação nativa (a), pastagem convencional (b), silvipastoril (c) e pontos de coleta das amostras de solo a diferentes distâncias da linha de plantio do eucalipto no sistema silvipastoril (d). Bandeirantes, MS, 2019.

O sistema silvipastoril foi implantado no período de primavera/verão de 2015/2016, em área com *Urochloa brizantha* cv. BRS Marandu formada há cerca de sete anos, sem correção do solo. As plantas de eucalipto, híbrido urograndis, clone I-144, foram dispostas de forma homogênea no arranjo populacional de renques com três fileiras, com espaçamento de 1,5 m entre fileiras e 2,0 m entre plantas, equidistantes 20 metros entre si (1,5 x 2,0 + 20,0 m), com 15,2 m²/planta e um total de 652 plantas/ha. Na área, cerca de 80 novilhas, fêmeas, da raça Nelore, com peso vivo médio em torno de 350 kg, permaneceram em sistema de pastejo rotacionado extensivo, até o peso para o abate (média de 450 kg). A área de sistema de pastagem convencional apresentava condições semelhantes, mesma espécie forrageira, tempo de formação, manejo e taxa de lotação.

Cada sistema foi dividido em quatro subáreas, correspondentes às repetições dos respectivos tratamentos, e, no mês de julho de 2019 foram coletadas cinco amostras simples de solo, em cada subárea, nas camadas de 00,0-10,0, 10,0-20,0 e 20,0-30,0 cm, com auxílio de um trado holandês, para formação das amostras compostas (Figura 2a). Também foram coletadas amostras indeformadas, utilizando castelinho e anel volumétrico de 48,37 cm³, para determinação da densidade do solo, a qual foi utilizada para os cálculos dos estoques de carbono orgânico (EMBRAPA, 1997) (Figura 2b). A metodologia consistiu-se na abertura de uma única trincheira de no mínimo 30 cm de profundidade, em todas as subáreas avaliadas. O anel era inserido na profundidade correspondente e, com auxílio de espátula esta amostra era retirada preenchendo todo o volume do anel e sem conter excessos fora do mesmo.



Figura 2. Coleta das amostras compostas de solo com auxílio de trado holandês (a) e coleta das amostras indeformadas com anel volumétrico (b). Bandeirantes, MS, 2019.

Em seguida, as amostras de solo foram levadas para o laboratório de solos da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Unidade Universitária de Cassilândia, passando pelo preparo inicial, que corresponderam ao destorroamento, secagem à sombra e passagem em peneira de malha de 2,0 mm, formando a TFSA (Terra Fina Seca ao Ar). Uma porção, de aproximadamente 11 g, da amostra de solo foi triturada em almofariz e passada em peneira de malha de 0,210 mm.

O teor de carbono orgânico total (COT) foi determinado pelo método de oxidação por via úmida, segundo metodologia descrita por Yeomans e Bremner (1988) (Figura 3). As frações de carbono orgânico particulado (CO_p) e carbono orgânico associado aos minerais (CO_{am}) foram obtidas por meio do fracionamento granulométrico da matéria orgânica do solo (Cambardella e Elliott, 1992) (Figura 4). O teor de CO_p foi quantificado de acordo com metodologia de Yeomans e Bremner (1988) e o teor de CO_{am} foi determinado a partir da diferença entre COT e CO_p.

O estoque de carbono orgânico total e as frações da matéria orgânica do solo foram calculados utilizando os teores de carbono, a densidade do solo e a espessura da camada de solo considerada, de acordo com a equação: Estoque de C em Mg ha⁻¹ = (Teor de carbono em g kg⁻¹ x densidade do solo em kg dm⁻³ x espessura da camada de solo considerada em cm) / 10.



Figura 3. Determinação de COT pelo método de oxidação por via úmida segundo metodologia descrita por Yeomans e Bremner, antes (a) e após (b) o ponto de viragem (1988).



Figura 4. Agitação das amostras para determinação de COp em agitador horizontal (a) e lavagem das mesmas em água deionizada em peneira de malha 0,53 μm acordo com a metodologia descrita por Cambardella e Elliott (1992).

O índice de manejo de carbono (IMC) foi calculado de acordo com a metodologia descrita por Blair et al. (1995). Inicialmente, foi calculado o índice de compartimento de carbono (ICC), utilizando a expressão: $\text{ICC} = \text{COT tratamento} / \text{COT referência}$, em que COT tratamento, correspondeu ao estoque de COT no tratamento avaliado e COT referência correspondeu ao estoque de carbono na área de vegetação nativa (Cerrado). Em seguida, foi calculado o índice de labilidade (IL), utilizando a expressão $\text{IL} = \text{L tratamento} / \text{L referência}$, em que L tratamento correspondeu a labilidade da matéria orgânica do solo no tratamento avaliado e L referência, a labilidade da matéria orgânica do solo na área de vegetação nativa do Cerrado. A

labilidade (L) foi calculada pela expressão $L = \text{estoque de COp} / \text{estoque de COam}$. Estes índices (ICC e IL) foram utilizados em seguida para o cálculo do IMC, que foi obtido pela expressão $\text{IMC} = \text{ICC} \times \text{IL} \times 100$. Precisa colocar também na metodologia que foi realizado o somatório dos teores e estoques de carbono na camada de 0-30 cm.

Os resultados foram submetidos à verificação de normalidade dos dados e quando houve necessidade os dados foram transformados em $1/\sqrt{x}$ e \sqrt{x} em seguida submetidos à análise de variância e quando houve significância, as médias dos tratamentos foram agrupadas pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$). Para a análise estatística utilizou-se o software AgroEstat - Sistema para Análises Estatísticas de Ensaio Agrônomico (Barbosa e Maldonado Júnior, 2014).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os teores de COT, COp e COam nas camadas de 00,0-10,0, 10,0-20,0 e 20,0-30,0 cm são apresentados na Tabela 2. Na camada de 00,0-10,0 cm, os maiores teores de COT e frações foram encontrados na área de vegetação nativa, não havendo diferenças significativas ($p > 0,05$) entre a área de sistema silvipastoril e sistema convencional de pastagem.

Na camada de 10,0-20,0 cm, o tratamento SS 10,0 se destacou em relação aos demais quanto ao COT e COam, juntamente com a área de vegetação nativa, a qual também apresentou a maior média de COp nesta camada. Na camada de 20,0-30,0 cm o tratamento SS 7,5 apresentou os maiores teores de COam e de COT, neste último juntamente com a área de vegetação nativa, a qual também apresentou o maior valor de COp (Tabela 2).

Piano et al. (2020) evidenciaram a eficiência da área de vegetação nativa em acumular carbono, em relação a outros sistemas de conservação. Estes autores afirmaram que essa superioridade pode ser superada ao longo do manejo destes sistemas, resultando em médias próximas entre essas áreas, o que justifica o destaque do solo de vegetação nativa em relação ao COT e as frações nas camadas superficiais.

Tabela 2. Valores médios dos teores de carbono orgânico total (COT), carbono orgânico particulado (COp) e carbono orgânico associado aos minerais (COam), nas camadas de 00,0-10,0, 10,0-20,0 e 20,0-30,0 cm nas áreas de silvipastoril (SS), pastagem convencional (PC) e vegetação nativa (VN). Bandeirantes, MS, 2020.

Tratamentos	COT	COp (g kg ⁻¹)	COam
	-----00,0-10,0 cm-----		
SS 0,0	8,00 b	1,85 b	6,15 b
SS 2,5	8,66 b	2,55 b	6,10 b
SS 5,0	9,60 b	1,30 b	8,30 b
SS 7,5	10,73 b	1,86 b	8,67 b
SS 10,0	12,41 b	2,93 b	9,48 b
SC	10,99 b	2,21 b	8,78 b
VN	20,30 a	7,65 a	12,64 a
Teste F	15,23**	23,76**	4,21**
Média	11,53	2,91	8,62
CV (%)	18,42	30,42	25,10
-----10,0-20,0 cm-----			
SS 0,0	6,16 b	1,54 b	4,62 b
SS 2,5	7,38 b	1,32 b	6,06 b
SS 5,0	8,45 b	1,54 b	6,90 b
SS 7,5	8,26 b	1,42 b	6,84 b
SS 10,0	13,75 a	1,72 b	12,03 a
SC	9,79 b	1,60 b	8,19 b
VN	14,60 a	4,11 a	10,49 a
Teste F	7,16**	7,86**	5,58**
Média	9,77	1,89	7,88
CV (%)	24,58	37,18	27,79
-----20,0-30,0 cm-----			
SS 0,0	7,88 b	1,09 b	6,78 b
SS 2,5	8,05 b	0,91 b	7,14 b
SS 5,0	6,46 b	0,72 b	5,14 b
SS 7,5	13,63 a	0,82 b	12,81 a
SS 10,0	9,28 b	0,75 b	8,53 b
SC	8,82 b	1,02 b	7,80 b
VN	11,51 a	1,88 a	9,63 b
Teste F	4,80**	4,02**	4,38**
Média	9,38	1,03	8,35
CV (%)	23,67	38,60	26,67

Pelo teste F, ** significativo ($p \leq 0,01$). Médias seguidas pela mesma letra na coluna pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$).

O sistema silvipastoril promove o aumento de COp no solo na camada de 10,0-20,0 cm (Loss et al., 2014), o que não foi observado no presente trabalho, no entanto, os

autores ressaltam que, a inferioridade deste sistema em determinados resultados não significa que este seja ineficiente, as médias inferiores podem ser em resposta ao tempo de implantação da área, em conjunto com outros fatores, sejam eles ambientais ou de manejo. A exemplo tem-se a aplicação de gesso agrícola, o qual promove acréscimo nos teores de carbono (Santos et al., 2020), levantando a hipótese de que a ausência de correções químicas pode ter ocasionado menores teores de carbono nas áreas contendo pastagem.

Apesar de ser uma fração mais sensível a alterações, o COp está associado à deposição de resíduos vegetais, principalmente nas camadas superficiais (Briedis et al., 2012), o que justifica as maiores médias de COp na área de vegetação nativa, principalmente nas camadas superficiais, na qual o processo de deposição de material vegetal é intenso quando comparado às demais áreas.

No sistema silvipastoril percebe-se diferentes níveis de sombreamento e material residual das espécies ao longo da área, o que afeta de forma direta o teor de carbono do solo (Salton et al., 2011; Moraes et al., 2014), principalmente na camada superficial, e em pontos mais próximos da linha de plantio, como observado na Tabela 2, nos quais, em determinados locais da área, observa-se raleio da pastagem.

A serapilheira fornecida pelas árvores no sistema silvipastoril promovem, à longo prazo, contribuição para com a sustentabilidade da forrageira, promovendo também uma relação inversa positiva, onde a forrageira, sendo uma braquiária, proporciona maior deposição de serapilheira no solo (Xavier et al., 2011). Esta afirmação pode justificar os resultados encontrados no presente trabalho, no qual o tratamento cujos pontos de coleta foram na linha de plantio do eucalipto, que estavam com cerca de quarenta e dois meses de idade, não apresentaram médias predominantes.

Almeida et al. (2018) relataram que, ao comparar o sistema silvipastoril, em fase inicial de implantação, com a pastagem convencional não foi possível detectar influência do componente arbóreo na matéria orgânica do solo, devido ao curto período de permanência das árvores na área. Os autores ressaltaram a importância de se realizar avaliações periódicas no decorrer do desenvolvimento das árvores, levando-se a considerar que, após determinado período, não só as pontuações a 7,5 e 10,0 m de distância das árvores irão apresentar médias consistentes, mas que talvez as áreas mais próximas a linha de plantio apresentem maiores teores de carbono.

Na Tabela 3 são apresentados os valores médios dos estoques de COT, COp e COam nas camadas de 00,0-10,0, 10,0-20,0 e 20,0-30,0 cm. Na camada de 0,0-10,0 cm

o tratamento SS 10,0 apresentou o maior estoque de COT, assim como a área de vegetação nativa. Quanto ao COam os tratamentos SS 0,0 e SS 2,5 apresentaram os menores estoques. Para a fração de COp a maior média foi obtida na área de vegetação nativa.

Tabela 3. Valores médios dos estoques de carbono orgânico total (COT), carbono orgânico particulado (COp) e carbono orgânico associado aos minerais (COam), nas camadas de 00,0-10,0, 10,0-20,0 e 20,0-30,0 cm nas áreas de silvipastoril (SS), pastagem convencional (PC) e vegetação nativa (VN). Bandeirantes, MS, 2020.

Tratamentos	COT	COp (Mg ha ⁻¹)	COam
	-----00,0-10,0 cm-----		
SS 0,0	9,80 b	2,27 b	7,53 b
SS 2,5	12,40 b	3,65 b	8,74 b
SS 5,0	12,75 b	1,72 b	11,02 a
SS 7,5	15,04 b	2,61 b	12,43 a
SS 10,0	18,97 a	4,85 b	14,49 a
SC	15,15 b	3,04 b	12,11 a
VN	23,22 a	9,22 a	14,00 a
Teste F	9,44**	16,16**	2,85*
Média	15,33	3,86	11,47
CV (%)	19,11	32,67	26,65
	-----10,0-20,0 cm-----		
SS 0,0	8,26 b	2,06 b	6,19 b
SS 2,5	9,76 b	1,74 b	8,01 b
SS 5,0	12,40 b	2,26 b	10,14 b
SS 7,5	12,04 b	2,06 b	9,97 b
SS 10,0	19,12 a	2,38 b	16,73 a
SC	13,18 b	2,15 b	11,03 b
VN	18,09 a	5,01 a	13,08 a
Teste F	6,47**	5,92**	5,35**
Média	13,26	2,53	10,74
CV (%)	23,86	36,22	27,61
	-----20,0-30,0 cm-----		
SS 0,0	9,33 b	1,29 b	8,04 b
SS 2,5	11,09 b	1,25 b	9,84 b
SS 5,0	9,37 b	1,04 b	8,33 b
SS 7,5	19,50 a	1,18 b	18,33 a
SS 10,0	13,53 b	1,09 b	12,43 b
SC	12,34 b	1,41 b	10,92 b
VN	14,57 b	2,27 a	12,29 b

Teste F	5,64**	2,96*	5,32**
Média	12,82	1,36	11,46
CV (%)	23,31	35,91	26,43

Pelo teste F, ** significativo ($p \leq 0,01$); * significativo ($p \leq 0,05$). Médias seguidas pela mesma letra na coluna pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$).

Na camada de 10,0-20,0 cm o tratamento SS 10,0 se destacou em relação aos demais tratamentos para os estoques de COT e COam, juntamente com a área de vegetação nativa, a qual também apresentou os maiores estoques de COp. Já na camada mais profunda a área de vegetação nativa apresentou os maiores estoques de COp, observando-se maiores estoques de COT e COam com o tratamento SS 7,5 (Tabela 3).

Segundo Azar et al. (2013), as atividades microbiana e decompositora são aceleradas no sistema silvipastoril, levando à maior decomposição de biomassa nesta área do que em um sistema convencional de pastagem, e, conseqüentemente, à maiores concentrações de carbono orgânico, o que pode ser admitido no presente trabalho, no qual, os pontos a 10,0 e 7,5 m de distância da linha de plantio do eucalipto, nas camada de 00,0-20,0 e 20,0-30,0 cm, respectivamente, apresentaram estoques de COT superiores.

A eficiência na estocagem de carbono nos sistemas agroflorestais pode ser influenciada pelo arranjo de renques adotado, idade do sistema e espécies utilizadas (Torres et al., 2013; Schettini et al., 2017). Moreira et al. (2018) afirmaram que a orientação dos renques Leste-Oeste é a ideal para que os raios solares sejam distribuídos de forma mais homogênea e não afete negativamente os atributos do solo, podendo justificar as maiores concentrações de carbono na área de silvipastoril em pontos menos sombreados ao longo do dia. Borges et al. (2018) também explicam este resultado ao afirmarem que, os atributos do solo, em sistemas integrados com a pecuária, são afetados pelo pisoteamento dos animais, principalmente perto das árvores, local onde estes encontram sombras.

Segundo Silva et al. (2018), em áreas de pastagem, em camadas superficiais, 0,0 a 0,2 m, é possível que ocorra maior acúmulo de carbono, porém, não foi o observado nos presentes resultados, pois, s

egundo Ramos (2013), ao avaliar a influência da adubação nitrogenada na qualidade e quantidade de matéria orgânica, é possível notar que na ausência de aplicação de N, pode ocorrer uma menor fertilidade do solo e, conseqüentemente,

estoques inferiores de C, o que pode justificar alguns estoques insatisfatórios de C apresentados na Tabela 3.

Campos et al. (2016) afirmaram que o estoque de carbono é afetado significativamente pelo sistema de uso e manejo do solo, quando o manejo é feita da forma adequada ou não. Além disso, a quantidade de carbono orgânico total está relacionada com os valores de densidade do solo, o que varia de acordo com a profundidade, de modo que os estoques de carbono são mais dependentes da densidade do solo que dos teores de carbono (Soares et al., 2018).

Além dos sistemas silvipastoris serem eficientes em sequestrar carbono, em resposta ao excedente de árvores do sistema (Castro Neto et al., 2017), eles também se mostram eficientes na estocagem deste carbono, devido a maior atividade decompositora ocorrente nestas áreas (Azar et al., 2013). No presente trabalho os maiores estoques de COT e COam foram observados no tratamento SS 10, o que pode ser resultado do pouco tempo de implantação do sistema, da maior distância das árvores, o que proporciona menor sombreamento, e também dos efeitos iniciais do sistema sob a pastagem, principalmente aquela localizada mais ao centro do entre renque.

Silva et al. (2020) também relataram superioridade do sistema silvipastoril, recém arborizado, sobre o sistema convencional, aproximadamente dois anos, ocorrendo maiores estoques de COT e COam. No entanto, diferente dos resultados apresentados na Tabela 3, a copa das árvores não influenciou no aporte de carbono no solo, o que pode ser justificado pelo curto período de arborização da área.

As médias inferiores apresentadas pelo sistema de pastagem convencional quando comparadas aos tratamentos SS 7,5 e SS 10,0 quanto ao COT e COam na camada de 0,0-0,3 m, podem ser justificadas pela possibilidade da área se encontrar em algum nível de degradação ou até mesmo pela falta de um outro componente, como o arbóreo por exemplo, que contribua para uma maior deposição de resíduo vegetal no solo. Chaves (2014) observou aumento de carbono no solo em uma área de pastagem degradada onde foi implantado o sistema silvipastoril, enquanto que, em área de pastagem convencional foram encontrados os menores estoques, o que se deve a menor quantidade de matéria orgânica e menor potencial produtivo deste solo em resposta à degradação da área.

Apesar do COP ser uma fração mais sensível à manutenção de carbono, o fato desta fração não ter apresentado alterações no sistema silvipastoril, no presente trabalho,

pode ser justificado pelo curto período de avaliação, a qual ocorreu aproximadamente quatro anos após o estabelecimento das arbóreas no sistema, pois, segundo Srinivasan et al. (2012), a longo prazo o estoque de COp aumenta correlacionado às concentrações de COT. Além disso, esta fração também sofre degradação mais facilmente (Badgery et al., 2020), o que também pode justificar sua inferioridade nos sistemas de produção avaliados.

Ao analisar os incrementos de carbono no somatório das camadas de 00,0 a 30,0 cm é notável maior acúmulo de carbono na fração associada aos minerais nos locais mais distantes da linha de plantio, com incrementos próximos aos encontrados na área de referência. A predominância de pastagem em pontos mais distantes da linha de plantio, a qual já encontrava-se implantada antes da instalação do sistema silvipastoril, favoreceu o acúmulo de carbono na fração associada aos minerais, a qual apresenta maior grau de humificação e recalcitrância (Chan; Bowman; Oates, 2001) que pode ter sido proporcionada pela maior permanência da espécie forrageira em determinados pontos (Figura 5).

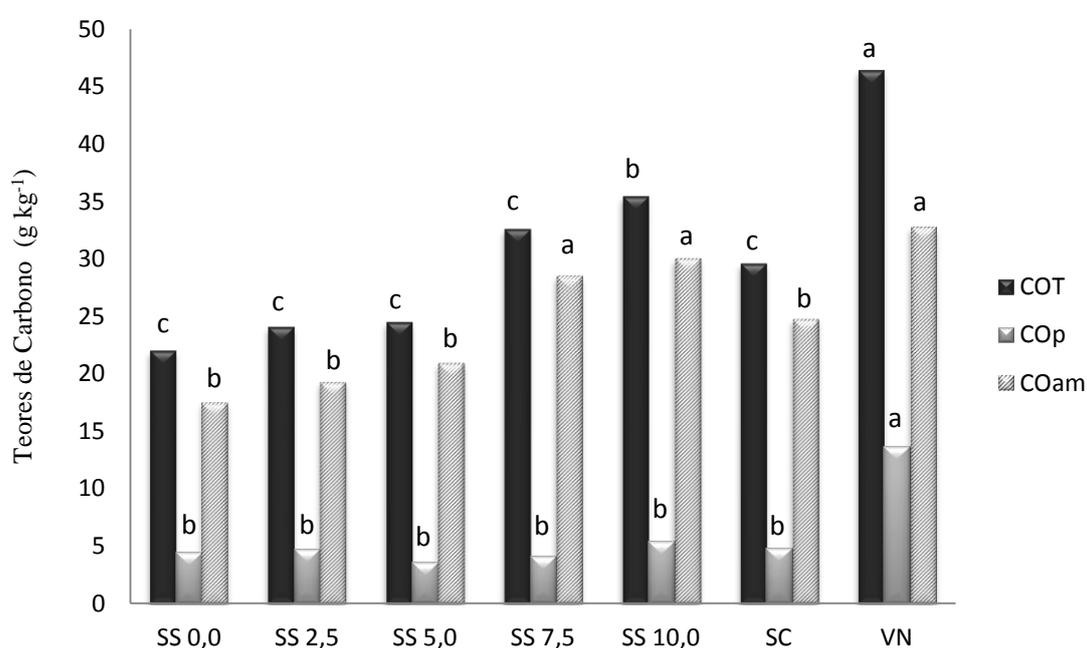


Figura 5. Teores de carbono orgânico total (COT), particulado (COp) e associado aos minerais (COam) nas áreas do sistema silvipastoril (SS), pastagem convencional (SC) e área de vegetação nativa (VN) na camada de 00,0-30,0 cm. Bandeirantes, MS, 2020. Médias seguidas pela mesma letra pertencem ao mesmo grupo pelo teste de agrupamento de Scott-Knott (1974), a 5% de probabilidade.

Na Figura 6, são notáveis maiores estoques de COT a maiores distâncias da linha de plantio do eucalipto, 7,5 e 10,0 m, as quais apresentaram capacidade de estocagem de carbono equivalente a área de vegetação nativa ao avaliar-se o conteúdo total até 30,0 cm de profundidade do solo. O mesmo ocorreu quanto aos estoques de COam, os quais foram maiores nas mesmas distâncias, acompanhando as médias de teores de COam no somatório da profundidade de 00,0 a 30,0 cm.

Resultados semelhantes são apresentados na literatura, na qual é descrito o potencial dos sistemas conservacionistas, como os silvipastoris, em estocar carbono, principalmente em camadas superficiais (Rossetti e Centurion, 2015; Lira Júnior et al., 2020). Profundidades superficiais, até 20,0 cm, por exemplo, são mais sensíveis em detectar as alterações ocorridas na matéria orgânica no solo, principalmente em sistemas com menor tempo de implantação (Caetano et al., 2013), o que reafirma a importância dos resultados obtidos na camada de 00,0 a 30,0 cm apresentados na Figura 6.

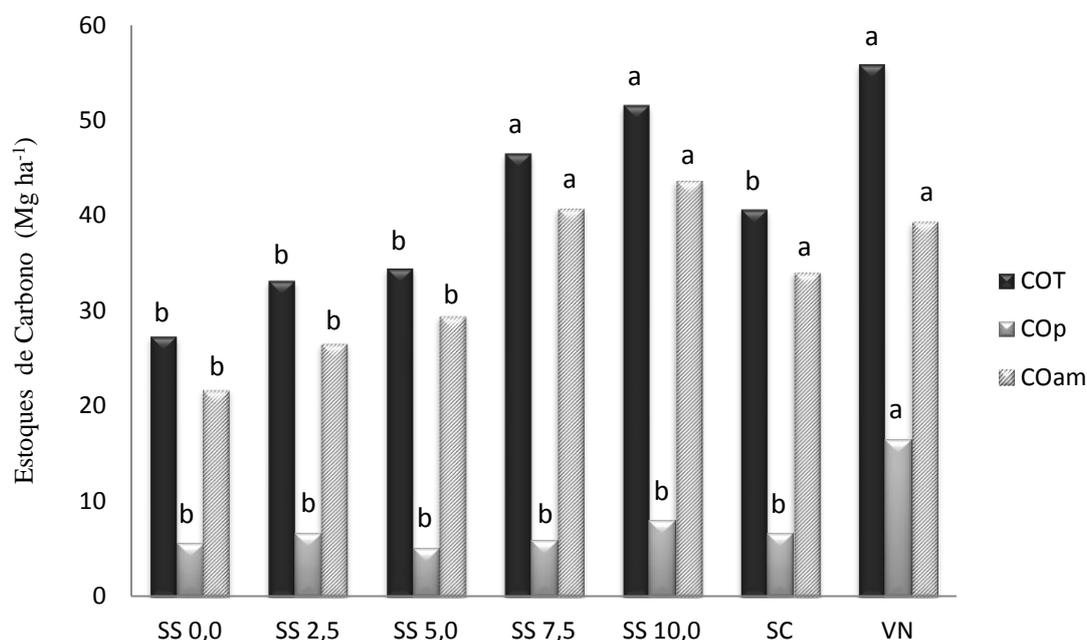


Figura 6. Estoques de carbono orgânico total (COT), particulado (COp) e associado aos minerais (COam) nas áreas do sistema silvipastoril (SS), pastagem convencional (SC) e área de vegetação nativa (VN) na camada de 00,0-30,0 cm. Bandeirantes, MS, 2020. Médias seguidas pela mesma letra pertencem ao mesmo grupo pelo teste de agrupamento de ScottKnott (1974), a 5% de probabilidade.

Os valores médios de IMC nas camadas de 00,0-10,0, 10,0-20,0 e 20,0-30,0 cm são apresentados na Tabela 4. Em todas as camadas, para os tratamentos estudados nas

áreas de sistemas silvipastoril e convencional, observou-se índices de manejo de carbono inferiores aos da área de vegetação nativa.

Quanto maior o processo de degradação, menor é o valor de IMC, indicando que, o sistema de manejo está sendo pouco eficiente para promover incrementos no carbono orgânico do solo. Valores de IMC a partir de 100, que é referência, representam um solo com maior qualidade, indicando que ocorre alteração satisfatória da matéria orgânica (Blair et al., 1995; Silva et al., 2011).

Tabela 4. Valores médios do índice de manejo de carbono nas camadas 00,0-10,0, 10,0-20,0 e 20,0-30,0 cm nas áreas de silvipastoril (SS), pastagem convencional (PC) e vegetação nativa (VN). Bandeirantes, MS, 2020.

Tratamentos	IMC		
	00,0-10,0 cm	10,0-20,0 cm	20,0-30,0 cm
SS 0,0	19,78 c	41,19 b	55,67 b
SS 2,5	35,14 b	31,95 b	54,79 b
SS 5,0	14,01 c	41,23 b	44,76 b
SS 7,5	21,03 c	36,11 b	46,83 b
SS 10,0	41,71 b	40,95 b	44,95 b
SC	25,95 c	37,21 b	60,44 b
VN	100,00 a	100,00 a	100,00 a
Teste F	28,18**	11,70**	4,46**
Média	36,80	46,95	58,21
CV (%)	30,13	29,44	31,54

Pelo teste F, ** significativo ($p \leq 0,01$). Médias seguidas pela mesma letra na coluna pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$).

Para os tratamentos avaliados no presente trabalho são observados valores de IMC inferiores ao valor ideal, que é o apresentado pela área de vegetação nativa. Nas áreas de vegetação nativa há um processo contínuo de deposição de material vegetal, atividade biológica, não ocorrência de ação antrópica, e, conseqüentemente, manutenção da matéria orgânica e qualidade do solo. Segundo Schiavo et al. (2011), pastagem com braquiária é o sistema que mais se aproxima da área de vegetação nativa, o que pode ser observado na camada mais profunda na Tabela 4, possivelmente por ser uma zona mais profunda e que passou por menores influências.

A avaliação de carbono nos sistemas de produção auxilia no reconhecimento das características da área e na tomada de decisão, partindo-se da ideia que o carbono é uma fração sensível para as alterações sofridas pelo solo em função do manejo da área. No entanto, ainda há a necessidade de se explorar mais a área, trazendo ao conhecimento as relações de diversas práticas agrícolas com o sequestro ou redução de carbono no solo.

4. CONCLUSÕES

Sistemas silvipastoris são mais eficientes no acúmulo e estoque de carbono no solo, na quantificação total (COT) e na fração associada aos minerais, em pontos mais distantes da copa das árvores pela maior interação dos sistemas radiculares das duas espécies vegetais presentes no sistema.

Para a avaliação da fração COp sugere-se a repetição da mesma com o avanço do desenvolvimento do sistema silvipastoril para a detecção de possíveis alterações desta fração neste sistema de integração.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSEFA, D., REWALD, B., SANDÉN, H., ROSINGER, C., ABIYU, A., YITAFERU, B. & GODBOLD, D. L. Deforestation and land use strongly effect soil organic carbon and nitrogen stock in Northwest Ethiopia. **Catena**, v.153, p. 89-99, 2017.

AZAR, G. S.; ARAÚJO, A. S. F.; OLIVEIRA, M. E.; AZEVÊDO, D. M. M. R. Biomassa e atividade microbiana do solo sob pastagem em sistemas de monocultura e silvipastoril. **Semina: Ciências Agrárias**, v.34, p. 2727-2736, 2013.

BADGERY, W. B.; MWENDWA, J. M.; ANWAR, M. R.; SIMMONS, A.; BROADFOOT, K. H.; ROHAN, M.; BHUPINDER, P. S. Unexpected Increases in Soil Carbon Eventually Fell in Low Rainfall Farming Systems. **Journal Environ Manage**, v.261, 2020.

BALDOTTO, M. A.; VIEIRA, E. M.; SOUZA, D. O.; BALDOTTO, L. E. B. Estoque e frações de carbono orgânico e fertilidade de solo sob floresta, agricultura e pecuária. **Revista Ceres**, v.62, p. 301-309, 2015.

BARBOSA, J. C.; MALDONADO JÚNIOR, W. AgroEstat - Sistema para Análises Estatísticas de Ensaios Agronômicos. Versão 1.1.0.712, 2014.

BLAIR, G. J.; LEFROY, D. B.; LISLE, L. Soil carbon fractions, based on their degree of oxidation, and the development of a carbon management index for agricultural systems. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 46, p. 1459-1466, 1995.

BORGES, W. L. B.; CALONEGO, J. C.; ROSOLEN, C. A. Impact of crop-livestock-forest integration on soil quality. **Agroforestry Systems**, v.93, p. 2111-2119, 2018.

- BRIEDIS, C. SÁ, J. C. M.; DE-CARLI, R. S.; ANTUNES, E. A. P.; SIMON, L.; ROMKO, M. L.; ELIAS, L. S.; FERREIRA, A. O. Particulate soil organic carbon and stratification ratio increases in response to crop residue decomposition under no-till. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, p. 1483-1490, 2012.
- CAETANO, J. O.; BENITES, V. M.; SILVA, G. P.; ASSIS, R. L.; CARGNELUTTI FILHO, A. Dinâmica da matéria orgânica de um Neossolo Quartzarênico de Cerrado convertido para cultivo em sucessão de soja e milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.37, p. 1245-1255, 2013.
- CAMBARDELLA, C. A.; ELLIOT, E. T. Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence. **Soil Science Society of America Journal**, v. 56, p. 777-783, 1992.
- CAMPOS, M. C. C.; SOARES, M. D. R.; NASCIMENTO, M. F.; SILVA, D. M. P. Estoque de carbono no solo e agregados em Cambissolo sob diferentes manejos no sul do Amazonas. **Revista Ambiente e Água**, v.11, p. 339-349, 2016.
- CASTRO NETO, F.; JACOVINE, L. A. G.; TORRES, C. M. M. E.; OLIVEIRA NETO, S. N.; CASTRO, M. M.; VILLANOVA, P. H.; FERREIRA, G. L. Balanço de Carbono – Viabilidade Econômica de Dois Sistemas Agroflorestais em Viçosa, MG. **Revista Floresta e Ambiente**, v.24, p.1-9, 2017.
- CHAN, K. Y.; BOWMAN, A.; OATES, A. Oxidizable organic carbon fractions and soil quality changes in an paleustalf under different pasture leys. **Soil Science**, v. 166, p. 61-67, 2001.
- CHAVES, S. S. F. **Dinâmica do carbono no solo sob diferentes usos da terra em Paragominas, PA**. 2014. 88 p. Tese (Mestrado em Fitotecnia) - Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2014.
- COUTINHO, F. S.; PEREIRA, M. G.; MENEZES, C. E. G.; GUARESCHI, R. F.; ASSUNÇÃO, S. A. Atributos Edáficos em Áreas de Agricultura, Pastagem e Três Estágios Sucessionais de Floresta. **Revista Floresta e Ambiente**, v.24, p.1-11, 2017.
- CUNHA NETO, F. V.; PEREIRA, M. G.; LELES, P. S. S.; ABEL, E. L. S. Atributos químicos e físicos do solo em áreas sob diferentes coberturas florestais e pastagem em além Paraíba – MG. **Ciência Florestal**, v.28, p. 13-24, 2018.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. 2. ed. Brasília, 1997. 212p.
- KÖPPEN, W. **Climatologia**: con un estudio de los climas de la tierra. México: Fondo de Cultura Económica, 1948. 478p.
- LANA, A. M. Q.; LANA, R. M. Q.; LEMES, E. M.; REIS, G. L.; MOREIRA, G. H. F. A. Influência de árvores nativas ou exóticas na fertilidade do solo em décadas de sistema silvipastoril no bioma cerrado brasileiro. **Sistemas Agroflorestais**, v.92, p. 415-424, 2018.
- LIRA JUNIOR, A. M.; FRACETTO, F. J. C.; FERREIRA, J. S.; SILVA, M. B.; FRACETTO, G. G. M. Legume-based silvopastoral systems drive C and N soil stocks in a subhumid tropical environment. **Catena**, v. 189, 2020.

LOSS, A.; COUTINHO, F. S.; PEREIRA, M. G.; SILVA, R. A. C.; TORRES, J. L. R.; RAVELLI NETO, A. Fertilidade e carbono total e oxidável de Latossolo de Cerrado sob pastagem irrigada e de sequeiro. **Ciência Rural**, v.43, p. 426-432, 2013.

LOSS, A.; RIBEIRO, E. C.; PEREIRA, M. G.; COSTA, E. M. Atributos físicos e químicos do solo em sistemas de consórcio e sucessão de lavoura, pastagem e silvipastoril em Santa Teresa, ES. **Bioscience Journal**, v.30, p. 1347-1357, 2014.

MACEDO, M. C. M.; ARAÚJO, A. R.; Sistemas de produção em integração: alternativa para recuperação de pastagens degradadas. In: BUNGENSTAB, D. J.; ALMEIDA, R. G. de; LAURA, V. A.; BALBINO, L. C.; FERREIRA, A. D. **ILPF: inovação com integração lavoura, pecuária e floresta**. Brasília: Embrapa Cerrados, 2019. Cap 20, p.296-317.

MARTINKOSKI, L.; VOGEL, G. F.; JADOSKI, S. O.; WATZLAWICK, L. F. Qualidade física do solo sob manejo silvipastoril e floresta secundária. **Floresta e Ambiente**, v.24, p.-9, 2017.

MAURÍCIO, R. M.; PACIULLO, D. S.; SILVEIRA, S. R.; RIBEIRO, R. S.; CALSAVARA, L. H. F.; MADUREIRA, A. P.; CASTRO, G. H. F.; SOUZA, L. F. Sistemas silvipastoris: produção animal, conservação ambiental e serviços ambientais. In: SIMBRA, 5., 2013 Viçosa-MG. **Resumos [...]**. Viçosa: Simbra, 2013. 21 p.

MENEZES, C. E. G.; GUARESCHI, R. F.; PEREIRA, M. G.; ANJOS, L. H. C.; CORREIA, M. E. F.; BALIEIRO, F. C.; PICCOLO, M. C. Organic matter in areas under secondary forests and pasture. **Revista Cerne**, v.23, p. 42-48, 2017.

MORAES, A.; CARVALHO, P. C. F.; LUSTOSA, S. B. C.; LANG, C. R.; DEISS, L. Research on integrated crop-livestock systems in Brazil. **Revista Ciência Agronômica**, v. 45, p. 1024-1031, 2014.

MOREIRA, G.M., NEVES, J.C.N., MAGALHÃES, C.A.S., FARIAS NETO, A.L., SAUER, G., & SILVA, J.F.V., FERNANDES, R.B.A. Soil chemical attributes in response to tree distance and sun-exposed faces after the implantation of an integrated crop-livestock-forestry system. **Revista Árvore**, v.42, p.1-9, 2018.

PIANO, J. T.; REGO, C. A. R. M.; VENGEN, A. P.; EGEWARTH, J. F.; EGEWARTH, V. A.; MATTEI, E.; OLIVEIRA, P. S. R.; HERRERA, J. L. Soil organic matter fractions and carbono management index under integrated crop-livestock system. **Bioscience Journal**, v.36, p. 743-760, 2020.

RAMOS, L. S. **Eficiência de um sistema silvipastoril em substituição à adubação nitrogenada e a sua relação com a dinâmica da matéria orgânica em solo distrocoeso**. 2013. 88 f. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) – Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2013.

ROSSETTI, K. V.; CENTURION, J. F. Estoque de carbono e atributos físicos de um Latossolo em cronossequência sob diferentes manejos. **Gestão e Controle Ambiental**, v.19, p.252-258, 2015.

- ROSSI, C. Q.; PEREIRA, M. G.; GIÁCOMO, S. G.; BETTA, M.; POLIDORO, J. C. Frações lábeis da matéria orgânica em sistema de cultivo com palha de braquiária e sorgo. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, p. 38-46, 2012.
- SACRAMENTO, J. A. A. S.; ARAÚJO, A. C. M.; ESCOBAR, M. E. O.; XAVIER, F. A. S.; CAVALCANTE, A. C. R.; OLIVEIRA, T. S. Soil carbon and nitrogen stocks in traditional agricultural and agroforestry systems in the semiarid region of Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.37, p. 784-795, 2013.
- 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.
- SANTOS, E. S. N.; CAMPOS, M. C. C.; SOUZA, F. G.; CUNHA, J. M.; PINHEIRO, E. N.; LIMA, A. F. L.; BRITO, W. B. M.; WADT, P. G. S. The stability of aggregates and organic carbon content after the application of gypsum, soil scarification and a succession of agricultural crops. **Bioscience Journal**, v.36, p. 720-730, 2020.
- SCHETTINI, B. L. S.; JACOVINE, L. A. G.; TORRES, C. M. M. E.; OLIVEIRA NETO, S. N.; ROCHA, S. J. S. S.; ALVES, E. B. B. M.; VILLANOVA, P. H. Estocagem de Carbono em Sistemas Silvopastoris com Diferentes Arranjos e Materiais Genéticos. **Advances in Forestry Science**, v.4, p.175-179, 2017.
- SCHIAVO, J. A.; ROSSET, J. S.; PEREIRA, M. G.; SALTON, J. C. Índice de manejo de carbono e atributos químicos de Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, p.1332-1338, 2011.
- SILVA, E. F.; LOURENTE, E. P. R.; MARCHETTI, M. E.; MERCANTE, F. M.; FERREIRA, A. K. T.; FUJII, G. C. Frações lábeis e recalcitrantes de matéria orgânica em solos sob integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, p. 1321- 1331, 2011.
- SILVA, J. C. N.; SILVA, A. R.; VELOSO, C. A. C.; DANTAS, E. F.; SACRAMENTO, J. A. A. S. Aggregation, carbon, and total soil nitrogen in crop-livestock-forest integration in the Eastern Amazon. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.22, p. 837-842, 2018.
- SILVA, J. R. M.; ENSINAS, S. C.; BARBOSA, G. F.; REZENDE, J. V. O.; BARRETA, P. G. V.; ZUFFO, A. M. Total organic carbon and the humic fractions of the soil organic matter in silvopastoral system. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.15, p.1-6, , 2020.
- SOARES, M. D. R.; CAMPOS, M. C. C.; CUNHA, J. M.; SOUZA, Z. M.; OLIVEIRA, I. A.; AQUINO, R. E.; MANTOVANELLI, B. C.; OLIVEIRA, L. S. Variabilidade espacial do estoque de carbono e atributos físicos do solo em terra preta arqueológica sob pastagem. **Revista Ambiente e Água**, v.13, p.1-13, 2018.
- SRINIVASAN, V.; MAHESWARAPPA, H. P.; RATTAN, L. Long term effects of topsoil depth and amendments on particulate and non particulate carbon fractions in a Miamian soil of Central Ohio. **Soil and Tillage Research**, v.121, p.10-17, 2012.

TORRES, C. M. M. E.; JACOVINE, L. A. G.; OLIVEIRA NETO, S. N.; BRIANEZI, D.; ALVES, E. B. B. M. Sistemas agroflorestais no Brasil: uma abordagem sobre a estocagem de carbono. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v.34, p. 235-244, 2013.

WENDLING, B.; JUCKSCH, I.; MENDONÇA, E. S.; VINHAL-FREITAS, I. C. Mudanças no carbono e nitrogênio em diferentes compartimentos da matéria orgânica sob Sistema agrossilvipastoril. **Revista Ciência Florestal**, v.21, p. 641-653, 2011.

XAVIER, D. F.; LÉDO, F. J. S.; PACIULLO, D. S. C.; PIRES, M. F. A.; BODDEY, R. M. Dinâmica da serapilheira em pastagens de braquiária em sistema silvipastoril e monocultura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, p. 1214-1219, 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**, v. 19, p. 1467-1476, 1988.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MATO GROSSO DO SUL
UNIDADE UNIVERSITÁRIA DE CASSILÂNDIA
PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

**CARBONO ORGÂNICO E ÍNDICE DE MANEJO DE
CARBONO EM SISTEMA SILVIPASTORIL**

ISABELA MACHADO DE OLIVEIRA LIMA

Cassilândia-MS

Fevereiro/2021

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MATO GROSSO DO SUL
UNIDADE UNIVERSITÁRIA DE CASSILÂNDIA
PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

**CARBONO ORGÂNICO E ÍNDICE DE MANEJO DE
CARBONO EM SISTEMA SILVIPASTORIL**

ISABELA MACHADO DE OLIVEIRA LIMA

Orientadora: Simone Cândido Ensinas Maekawa

Coorientadora: Giselle Feliciani Barbosa

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Sustentabilidade na Agricultura, da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Agronomia - Sustentabilidade na Agricultura.

Cassilândia-MS

Fevereiro/2021

L698c Lima, Isabela Machado de Oliveira

Carbono orgânico e índice de manejo de carbono em sistema silvipastoril / Isabela Machado de Oliveira Lima. – Cassilândia, MS: UEMS, 2022.

27 p.

Dissertação (Mestrado) – Agronomia – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, 2022.

Orientadora: Prof. Dr^a Simone Cândido Ensinas Maekawa

1. Carbono orgânico 2. Silvipastoril 3. Manejo do solo I. Maekawa, Simone Cândido Ensinas II. Título

CDD 23. ed. - 631.4

AGRADECIMENTOS

Ao programa de bolsas PIBAP pela concessão de bolsa para a execução do trabalho de pós graduação.

Ao corpo docente da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, tanto da graduação quanto do programa de pós graduação.

A Agropecuária Ouro Branco pela disponibilidade de área para realização deste trabalho.

A minha orientadora Simone Cândido Ensinas, e coorientadora Giselle Feliciani Barbosa, por toda dedicação, confiança e ensinamentos.

Aos colegas Luiz Renato, Rafael e professores Wolff e Giselle, pela ajuda nas coletas de amostras.

Ao técnico de laboratório, Márcio, pelo apoio durante as avaliações.

Aos meus pais Maria Machado de Oliveira e Aparecido de Lima e Silva (*in memoriam*) pelo apoio e incentivo.

A todos que, de alguma forma, ao longo da minha jornada até aqui, me influenciaram e incentivaram a realizar o curso de mestrado.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	6
LISTA DE FIGURAS	7
1. Introdução.....	9
2. Material e métodos.....	11
3. Resultados e discussão	15
4. Conclusões	24
5. Referências bibliográficas.....	24

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Características dos componentes granulométricos do solo da área nas camadas de 00,0-20,0 e 20,0-40,0 cm.**Erro! Indicador não definido.**

Tabela 2. Valores médios dos teores de carbono orgânico total (COT), carbono orgânico particulado (COP) e carbono orgânico associado aos minerais (COam), nas camadas de 00,0-10,0, 10,0-20,0 e 20,0-30,0 cm nas áreas de silvipastoril (SS), pastagem convencional (SC) e vegetação nativa (VN). Bandeirantes, MS, 2020..... 16

Tabela 3. Valores médios dos estoques de carbono orgânico total (COT), carbono orgânico particulado (COP) e carbono orgânico associado aos minerais (COam), nas camadas de 00,0-10,0, 10,0-20,0 e 20,0-30,0 cm nas áreas de silvipastoril (SS), pastagem convencional (SC) e vegetação nativa (VN). Cassilândia, MS, 2020. 18

Tabela 4. Valores médios do índice de manejo de carbono nas camadas 00,0-10,0, 10,0-20,0 e 20,0-30,0 cm nas áreas de silvipastoril (SS), pastagem convencional (SC) e vegetação nativa (VN). Cassilândia, MS, 2020..... 23

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Áreas de vegetação nativa (a), pastagem convencional (b), silvipastoril (c) e pontos de coleta das amostras de solo a diferentes distâncias da linha de plantio do eucalipto no sistema silvipastoril (d). Bandeirantes, MS, 2019. 12
- Figura 2.** Coleta das amostras compostas de solo com auxílio de trado holandês (a) e coleta das amostras indeformadas com anel volumétrico (b). Bandeirantes, MS, 2019. 13
- Figura 3.** Determinação de COT pelo método de oxidação por via úmida segundo metodologia descrita por Yeomans e Bremner, antes (a) e após (b) o ponto de viragem (1988). Cassilândia, MS, 2020. 14
- Figura 4.** Agitação das amostras para determinação de COp em agitador horizontal (a) e lavagem das mesmas em água deionizada em peneira de malha 0,53 μm acordo com a metodologia descrita por Cambardella e Elliott (1992). Cassilândia, MS, 2020. 14
- Figura 5.** Teores de carbono orgânico total (COT), particulado (COp) e associado aos minerais (COam) nas áreas do sistema silvipastoril (SS), pastagem convencional (SC) e área de vegetação nativa (VN) na camada de 00,0-30,0 cm. Cassilândia, MS, 2020. ... 21
- Figura 6.** Estoques de carbono orgânico total (COT), particulado (COp) e associado aos minerais (COam) nas áreas do sistema silvipastoril (SS), pastagem convencional (SC) e área de vegetação nativa (VN) na camada de 00,0-30,0 cm. Cassilândia, MS, 2020 22

CAPITULO 1. CARBONO ORGÂNICO E ÍNDICE DE MANEJO DE CARBONO EM SISTEMA SILVIPASTORIL

RESUMO: Os sistemas de produção podem proporcionar diversos benefícios para o solo, dentre eles alterações desejáveis nas frações da matéria orgânica, as quais podem, ou não, serem perceptíveis a curto prazo. Assim, o objetivo do presente trabalho foi avaliar o potencial do sistema silvipastoril (SS), sistema convencional de pastagem (SC) e área de vegetação nativa (VN) em incrementar os teores e estoques de carbono orgânico total (COT), carbono orgânico particulado (CO_p), carbono orgânico associado aos minerais (CO_{am}) e índice de manejo de carbono (IMC) no solo. O experimento foi instalado em delineamento experimental inteiramente casualizado, composto por sete tratamentos, com quatro repetições. Os tratamentos foram: pastagem convencional, vegetação nativa e o sistema silvipastoril, para o qual foram adotados como tratamentos pontos de coleta a diferentes distâncias da linha de plantio do eucalipto: SS 0,0; SS 2,5; SS 5,0; SS 7,5 e SS 10,0 m. Foram coletadas amostras compostas de solo, nas camadas de 00,0-10,0, 10,0-20,0 e 20,0-30,0 cm, adotando-se delineamento experimental inteiramente casualizado, composto por sete tratamentos e quatro repetições. Os resultados obtidos que se mostraram significativos, após a análise de variância, foram agrupados pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. Os tratamentos SS 7,5 e SS 10,0 apresentaram os maiores teores de COT e CO_{am} nas camadas de 00,0-10,0, 10,0-20,0 e 20,0-30,0 cm, respectivamente. Quanto aos estoques de carbono das frações o tratamento SS 7,5 se destacou pelos estoques de COT, na camada de 20,0-30,0 cm, e CO_{am} na camada de 10,0-30,0 cm. Valores superiores também foram obtidos com o SS 10,0 nas profundidades de 00,0-20,0 cm, para o estoque de COT, e 00,0-10,0 cm para o estoque de CO_{am}. Quanto ao IMC somente a VN apresentou valor expressivo.

Palavras-chave: Distância de copa, Qualidade do solo, Quantificação de carbono, Sistemas conservacionistas.

DETERMINATION OF ORGANIC CARBON AND CARBON MANAGEMENT INDEX IN SILVIPASTORIL SYSTEM

ABSTRACT: Production systems can provide several benefits to the soil, including desirable changes in the fractions of organic matter, which may or may not be noticeable in the short term. Thus, the objective of the present work was to evaluate the

potential of the silvopastoral system, conventional pasture system (CS) and native vegetation area (NV) to increase the contents and stocks of total organic carbon (TOC), particulate organic carbon (POC), mineral-associated organic carbon (MOC) and soil carbon management index (CMI). The experiment was installed in a completely randomized design, consisting of seven treatments, with four replications. The treatments were: conventional pasture, native vegetation and the silvopastoral system, for which collection points at different distances from the eucalyptus planting line were adopted as treatments: SS 0,0; SS 2,5; SS 5,0; SS 7,5 e SS 10,0 m. Composite soil samples were collected in the layers of 00,0-10,0, 10,0-20,0 e 20,0-30,0 cm adopting a completely randomized design, consisting of seven treatments and four replications. The results obtained, which proved to be significant, after the analysis of variance, were grouped by the Scott-Knott test at 5% probability. The SS 7.5 and SS 10.0 treatments showed the highest TOC and MOC contents in the 00.0-10.0, 10.0-20.0 and 20.0-30.0 cm layers, respectively. As for the carbon stocks of the fractions, the SS 7.5 treatment was highlighted by the stocks of TOC, in the layer of 20.0-30.0 cm, and MOC in the layer of 10.0-30.0 cm. Higher values were also obtained with SS 10.0 at depths of 00.0-20.0 cm for the TOC stock, and 00.0-10.0 cm for the MOC stock. As for the BMI, only the NV showed an expressive value.

Keywords: Canopy distance, Soil quality, Carbon quantification, Conservation systems.

1. INTRODUÇÃO

O solo é considerado o maior reservatório de carbono do planeta, podendo comportar teores quatro vezes maiores ao encontrado na biomassa vegetal e na atmosfera (Assefa et al., 2017). A determinação do carbono existente no solo permite a identificação das características intrínsecas dos sistemas de produção com maior facilidade (Cunha Neto et al., 2018). Solos que apresentam algum nível de degradação, alteram diretamente seus atributos como o carbono orgânico total e particulado influenciando durante o processo de recuperação dessas áreas (Menezes et al., 2017).

A degradação dos solos em áreas de pastagem é um dos principais agravantes da sustentabilidade da agropecuária, fazendo-se necessária a adoção de alternativas para minimizar e/ou evitar deterioração deste recurso natural, como por exemplo, a integração de outras culturas na área degradada (Macedo e Araújo, 2016). Os sistemas

de integração com floresta apresentam-se como alternativa viável de restauração destas áreas ao promoverem melhoria dos atributos químicos, físicos e biológicos do solo, podendo, quando manejados adequadamente, apresentar valores de atributos próximos aos encontrados em matas nativas (Coutinho et al., 2017).

A superioridade dos sistemas agrossilvipastoris em estocar carbono é detectada principalmente nas camadas superficiais (Sacramento et al., 2013), podendo apresentar valores mais elevados do que os encontrados em áreas de pastagem convencional (Loss et al., 2014). No entanto, a composição árvore mais pastagem e animal apresenta quantidades de carbono que aumentam gradativamente ao longo do desenvolvimento das plantas, havendo maiores acúmulos de carbono, possivelmente, a partir de dez anos de implantação do sistema agrossilvipastoril (Wendling et al., 2011).

As mudanças nos teores totais de carbono orgânico do solo nem sempre são detectadas a curto prazo. Em função disso, frações lábeis de carbono orgânico do solo, tais como a matéria orgânica leve, carbono facilmente oxidável e carbono orgânico particulado têm sido utilizados como indicadores de qualidade do solo, pois são sensíveis às mudanças nos níveis de carbono orgânico do solo em função das práticas de manejo (Loss et al., 2013; Rossi et al., 2012).

A exemplo tem-se áreas de silvipastoril, com maior período de implantação, que apresentam características estruturais semelhantes às de áreas de vegetação nativa (Martinkoski et al., 2017). Segundo Lana et al. (2018), são encontradas maiores concentrações de carbono e matéria orgânica do solo na linha de plantio do eucalipto, o que ocorre em resposta à maior deposição de serapilheira nestas áreas, o que contribui para maior formação de matéria orgânica no local.

Ao comparar sistemas agroflorestais com áreas de pastagem contínua, nota-se que as áreas com espécies arbóreas possuem maior fertilidade, física e biológica, a qual está relacionada com os maiores estoques de carbono estáveis e menos solúveis presentes no solo. O reconhecimento e quantificação destas frações permitem a adoção de alternativas de manejo mais eficientes que visem a conservação do solo (Baldotto et al., 2015). Marques Filho et al. (2017) afirmaram que a distância da copa das árvores influencia nos teores de matéria orgânica nas camadas de 0-10 cm, ocorrendo um acréscimo nestes valores à medida que aumenta a distância de coleta da amostra de solo da linha de plantio do eucalipto.

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar os teores e estoques de carbono orgânico total (COT), carbono orgânico particulado (COP), carbono orgânico

associado aos minerais (COam) e o índice de manejo de carbono (IMC) em diferentes distâncias da linha de plantio do eucalipto em sistema silvipastoril, comparado com sistema convencional de pastagem e área de vegetação nativa em um Neossolo Quartzarênico.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado no município de Bandeirantes, Mato Grosso do Sul, (Rod. BR 163, km 567), 19°44'00''S e 54°21'55''O, com 655 m de altitude média, em áreas pertencentes a Agropecuária Ouro Brando. O clima da região, segundo Köppen (1948), é classificado como tropical chuvoso, apresentando precipitação e temperatura médias de 1275 mm e 23,1°C, respectivamente. O solo da área foi classificado como Neossolo Quartzarênico (SANTOS et al., 2018). A caracterização física do solo é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1. Características dos componentes granulométricos do solo da área nas camadas de 00,0-20,0 e 20,0-40,0 cm.

Camada (m)	Areia (g kg ⁻¹)	Silte (g kg ⁻¹)	Argila (g kg ⁻¹)
0,0-0,2	850	50	100
0,2-0,4	875	25	100

O experimento foi instalado em delineamento inteiramente casualizado (DIC), sendo adotadas três áreas experimentais para a coleta das amostras de solo: o sistema silvipastoril, com diferentes distâncias da linha de plantio do eucalipto, 0,0; 2,5; 5,0; 7,5 e 10,0 m, as quais corresponderam a cinco tratamentos (SS 0,0; SS 2,5; SS 5,0; SS 7,5 e SS 10,0), o sistema convencional de pastagem (SC) e a área de vegetação nativa (Cerrado) (VN) (Figura 1a, 1b, 1c e 1d).





Figura 1. Áreas de vegetação nativa (a), pastagem convencional (b), silvipastoril (c) e pontos de coleta das amostras de solo a diferentes distâncias da linha de plantio do eucalipto no sistema silvipastoril (d). Bandeirantes, MS, 2019.

O sistema silvipastoril foi implantado no período de primavera/verão de 2015/2016, em área com *Urochloa brizantha* cv. BRS Marandu formada há cerca de sete anos, sem correção do solo. As plantas de eucalipto, híbrido urograndis, clone I-144, foram dispostas de forma homogênea no arranjo populacional de renques com três fileiras, com espaçamento de 1,5 m entre fileiras e 2,0 m entre plantas, equidistantes 20 metros entre si (1,5 x 2,0 + 20,0 m), com 15,2 m²/planta e um total de 652 plantas/ha. Na área, cerca de 80 novilhas, fêmeas, da raça Nelore, com peso vivo médio em torno de 350 kg, permaneceram em sistema de pastejo rotacionado extensivo, até o peso para o abate (média de 450 kg). A área de sistema de pastagem convencional apresentava condições semelhantes, mesma espécie forrageira, tempo de formação, manejo e taxa de lotação.

Cada sistema foi dividido em quatro subáreas, correspondentes às repetições dos respectivos tratamentos, e, no mês de julho de 2019 foram coletadas cinco amostras simples de solo, em cada subárea, nas camadas de 00,0-10,0, 10,0-20,0 e 20,0-30,0 cm, com auxílio de um trado holandês, para formação das amostras compostas (Figura 2a). Também foram coletadas amostras indeformadas, utilizando castelinho e anel volumétrico de 48,37 cm³, para determinação da densidade do solo, a qual foi utilizada para os cálculos dos estoques de carbono orgânico (EMBRAPA, 1997) (Figura 2b). A metodologia consistiu-se na abertura de uma única trincheira de no mínimo 30 cm de profundidade, em todas as subáreas avaliadas. O anel era inserido na profundidade correspondente e, com auxílio de espátula esta amostra era retirada preenchendo todo o volume do anel e sem conter excessos fora do mesmo.



Figura 2. Coleta das amostras compostas de solo com auxílio de trado holandês (a) e coleta das amostras indeformadas com anel volumétrico (b). Bandeirantes, MS, 2019.

Em seguida, as amostras de solo foram levadas para o laboratório de solos da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Unidade Universitária de Cassilândia, passando pelo preparo inicial, que corresponderam ao destorroamento, secagem à sombra e passagem em peneira de malha de 2,0 mm, formando a TFSA (Terra Fina Seca ao Ar). Uma porção, de aproximadamente 11 g, da amostra de solo foi triturada em almofariz e passada em peneira de malha de 0,210 mm.

O teor de carbono orgânico total (COT) foi determinado pelo método de oxidação por via úmida, segundo metodologia descrita por Yeomans e Bremner (1988) (Figura 3). As frações de carbono orgânico particulado (CO_p) e carbono orgânico associado aos minerais (CO_{am}) foram obtidas por meio do fracionamento granulométrico da matéria orgânica do solo (Cambardella e Elliott, 1992) (Figura 4). O teor de CO_p foi quantificado de acordo com metodologia de Yeomans e Bremner (1988) e o teor de CO_{am} foi determinado a partir da diferença entre COT e CO_p.

O estoque de carbono orgânico total e as frações da matéria orgânica do solo foram calculados utilizando os teores de carbono, a densidade do solo e a espessura da camada de solo considerada, de acordo com a equação: Estoque de C em Mg ha⁻¹ = (Teor de carbono em g kg⁻¹ x densidade do solo em kg dm⁻³ x espessura da camada de solo considerada em cm) / 10.



Figura 3. Determinação de COT pelo método de oxidação por via úmida segundo metodologia descrita por Yeomans e Bremner, antes (a) e após (b) o ponto de viragem (1988).



Figura 4. Agitação das amostras para determinação de COp em agitador horizontal (a) e lavagem das mesmas em água deionizada em peneira de malha 0,53 µm acordo com a metodologia descrita por Cambardella e Elliott (1992).

O índice de manejo de carbono (IMC) foi calculado de acordo com a metodologia descrita por Blair et al. (1995). Inicialmente, foi calculado o índice de compartimento de carbono (ICC), utilizando a expressão: $ICC = COT_{tratamento} / COT_{referência}$, em que COT tratamento, correspondeu ao estoque de COT no tratamento avaliado e COT referência correspondeu ao estoque de carbono na área de vegetação nativa (Cerrado). Em seguida, foi calculado o índice de labilidade (IL), utilizando a expressão $IL = L_{tratamento} / L_{referência}$, em que L tratamento correspondeu a labilidade da matéria orgânica do solo no tratamento avaliado e L referência, a labilidade da matéria orgânica do solo na área de vegetação nativa do Cerrado. A

labilidade (L) foi calculada pela expressão $L = \text{estoque de COp} / \text{estoque de COam}$. Estes índices (ICC e IL) foram utilizados em seguida para o cálculo do IMC, que foi obtido pela expressão $\text{IMC} = \text{ICC} \times \text{IL} \times 100$. Precisa colocar também na metodologia que foi realizado o somatório dos teores e estoques de carbono na camada de 0-30 cm.

Os resultados foram submetidos à verificação de normalidade dos dados e quando houve necessidade os dados foram transformados em $1/\sqrt{x}$ e \sqrt{x} em seguida submetidos à análise de variância e quando houve significância, as médias dos tratamentos foram agrupadas pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$). Para a análise estatística utilizou-se o software AgroEstat - Sistema para Análises Estatísticas de Ensaio Agrônomico (Barbosa e Maldonado Júnior, 2014).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os teores de COT, COp e COam nas camadas de 00,0-10,0, 10,0-20,0 e 20,0-30,0 cm são apresentados na Tabela 2. Na camada de 00,0-10,0 cm, os maiores teores de COT e frações foram encontrados na área de vegetação nativa, não havendo diferenças significativas ($p > 0,05$) entre a área de sistema silvipastoril e sistema convencional de pastagem.

Na camada de 10,0-20,0 cm, o tratamento SS 10,0 se destacou em relação aos demais quanto ao COT e COam, juntamente com a área de vegetação nativa, a qual também apresentou a maior média de COp nesta camada. Na camada de 20,0-30,0 cm o tratamento SS 7,5 apresentou os maiores teores de COam e de COT, neste último juntamente com a área de vegetação nativa, a qual também apresentou o maior valor de COp (Tabela 2).

Piano et al. (2020) evidenciaram a eficiência da área de vegetação nativa em acumular carbono, em relação a outros sistemas de conservação. Estes autores afirmaram que essa superioridade pode ser superada ao longo do manejo destes sistemas, resultando em médias próximas entre essas áreas, o que justifica o destaque do solo de vegetação nativa em relação ao COT e as frações nas camadas superficiais.

Tabela 2. Valores médios dos teores de carbono orgânico total (COT), carbono orgânico particulado (COp) e carbono orgânico associado aos minerais (COam), nas camadas de 00,0-10,0, 10,0-20,0 e 20,0-30,0 cm nas áreas de silvipastoril (SS), pastagem convencional (PC) e vegetação nativa (VN). Bandeirantes, MS, 2020.

Tratamentos	COT	COp (g kg ⁻¹)	COam
	-----00,0-10,0 cm-----		
SS 0,0	8,00 b	1,85 b	6,15 b
SS 2,5	8,66 b	2,55 b	6,10 b
SS 5,0	9,60 b	1,30 b	8,30 b
SS 7,5	10,73 b	1,86 b	8,67 b
SS 10,0	12,41 b	2,93 b	9,48 b
SC	10,99 b	2,21 b	8,78 b
VN	20,30 a	7,65 a	12,64 a
Teste F	15,23**	23,76**	4,21**
Média	11,53	2,91	8,62
CV (%)	18,42	30,42	25,10
-----10,0-20,0 cm-----			
SS 0,0	6,16 b	1,54 b	4,62 b
SS 2,5	7,38 b	1,32 b	6,06 b
SS 5,0	8,45 b	1,54 b	6,90 b
SS 7,5	8,26 b	1,42 b	6,84 b
SS 10,0	13,75 a	1,72 b	12,03 a
SC	9,79 b	1,60 b	8,19 b
VN	14,60 a	4,11 a	10,49 a
Teste F	7,16**	7,86**	5,58**
Média	9,77	1,89	7,88
CV (%)	24,58	37,18	27,79
-----20,0-30,0 cm-----			
SS 0,0	7,88 b	1,09 b	6,78 b
SS 2,5	8,05 b	0,91 b	7,14 b
SS 5,0	6,46 b	0,72 b	5,14 b
SS 7,5	13,63 a	0,82 b	12,81 a
SS 10,0	9,28 b	0,75 b	8,53 b
SC	8,82 b	1,02 b	7,80 b
VN	11,51 a	1,88 a	9,63 b
Teste F	4,80**	4,02**	4,38**
Média	9,38	1,03	8,35
CV (%)	23,67	38,60	26,67

Pelo teste F, ** significativo ($p \leq 0,01$). Médias seguidas pela mesma letra na coluna pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$).

O sistema silvipastoril promove o aumento de COp no solo na camada de 10,0-20,0 cm (Loss et al., 2014), o que não foi observado no presente trabalho, no entanto, os

autores ressaltam que, a inferioridade deste sistema em determinados resultados não significa que este seja ineficiente, as médias inferiores podem ser em resposta ao tempo de implantação da área, em conjunto com outros fatores, sejam eles ambientais ou de manejo. A exemplo tem-se a aplicação de gesso agrícola, o qual promove acréscimo nos teores de carbono (Santos et al., 2020), levantando a hipótese de que a ausência de correções químicas pode ter ocasionado menores teores de carbono nas áreas contendo pastagem.

Apesar de ser uma fração mais sensível a alterações, o COp está associado à deposição de resíduos vegetais, principalmente nas camadas superficiais (Briedis et al., 2012), o que justifica as maiores médias de COp na área de vegetação nativa, principalmente nas camadas superficiais, na qual o processo de deposição de material vegetal é intenso quando comparado às demais áreas.

No sistema silvipastoril percebe-se diferentes níveis de sombreamento e material residual das espécies ao longo da área, o que afeta de forma direta o teor de carbono do solo (Salton et al., 2011; Moraes et al., 2014), principalmente na camada superficial, e em pontos mais próximos da linha de plantio, como observado na Tabela 2, nos quais, em determinados locais da área, observa-se raleio da pastagem.

A serapilheira fornecida pelas árvores no sistema silvipastoril promovem, à longo prazo, contribuição para com a sustentabilidade da forrageira, promovendo também uma relação inversa positiva, onde a forrageira, sendo uma braquiária, proporciona maior deposição de serapilheira no solo (Xavier et al., 2011). Esta afirmação pode justificar os resultados encontrados no presente trabalho, no qual o tratamento cujos pontos de coleta foram na linha de plantio do eucalipto, que estavam com cerca de quarenta e dois meses de idade, não apresentaram médias predominantes.

Almeida et al. (2018) relataram que, ao comparar o sistema silvipastoril, em fase inicial de implantação, com a pastagem convencional não foi possível detectar influência do componente arbóreo na matéria orgânica do solo, devido ao curto período de permanência das árvores na área. Os autores ressaltaram a importância de se realizar avaliações periódicas no decorrer do desenvolvimento das árvores, levando-se a considerar que, após determinado período, não só as pontuações a 7,5 e 10,0 m de distância das árvores irão apresentar médias consistentes, mas que talvez as áreas mais próximas a linha de plantio apresentem maiores teores de carbono.

Na Tabela 3 são apresentados os valores médios dos estoques de COT, COp e COam nas camadas de 00,0-10,0, 10,0-20,0 e 20,0-30,0 cm. Na camada de 0,0-10,0 cm

o tratamento SS 10,0 apresentou o maior estoque de COT, assim como a área de vegetação nativa. Quanto ao COam os tratamentos SS 0,0 e SS 2,5 apresentaram os menores estoques. Para a fração de COp a maior média foi obtida na área de vegetação nativa.

Tabela 3. Valores médios dos estoques de carbono orgânico total (COT), carbono orgânico particulado (COp) e carbono orgânico associado aos minerais (COam), nas camadas de 00,0-10,0, 10,0-20,0 e 20,0-30,0 cm nas áreas de silvipastoril (SS), pastagem convencional (PC) e vegetação nativa (VN). Bandeirantes, MS, 2020.

Tratamentos	COT	COp (Mg ha ⁻¹)	COam
	-----00,0-10,0 cm-----		
SS 0,0	9,80 b	2,27 b	7,53 b
SS 2,5	12,40 b	3,65 b	8,74 b
SS 5,0	12,75 b	1,72 b	11,02 a
SS 7,5	15,04 b	2,61 b	12,43 a
SS 10,0	18,97 a	4,85 b	14,49 a
SC	15,15 b	3,04 b	12,11 a
VN	23,22 a	9,22 a	14,00 a
Teste F	9,44**	16,16**	2,85*
Média	15,33	3,86	11,47
CV (%)	19,11	32,67	26,65
	-----10,0-20,0 cm-----		
SS 0,0	8,26 b	2,06 b	6,19 b
SS 2,5	9,76 b	1,74 b	8,01 b
SS 5,0	12,40 b	2,26 b	10,14 b
SS 7,5	12,04 b	2,06 b	9,97 b
SS 10,0	19,12 a	2,38 b	16,73 a
SC	13,18 b	2,15 b	11,03 b
VN	18,09 a	5,01 a	13,08 a
Teste F	6,47**	5,92**	5,35**
Média	13,26	2,53	10,74
CV (%)	23,86	36,22	27,61
	-----20,0-30,0 cm-----		
SS 0,0	9,33 b	1,29 b	8,04 b
SS 2,5	11,09 b	1,25 b	9,84 b
SS 5,0	9,37 b	1,04 b	8,33 b
SS 7,5	19,50 a	1,18 b	18,33 a
SS 10,0	13,53 b	1,09 b	12,43 b
SC	12,34 b	1,41 b	10,92 b
VN	14,57 b	2,27 a	12,29 b

Teste F	5,64**	2,96*	5,32**
Média	12,82	1,36	11,46
CV (%)	23,31	35,91	26,43

Pelo teste F, ** significativo ($p \leq 0,01$); * significativo ($p \leq 0,05$). Médias seguidas pela mesma letra na coluna pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$).

Na camada de 10,0-20,0 cm o tratamento SS 10,0 se destacou em relação aos demais tratamentos para os estoques de COT e COam, juntamente com a área de vegetação nativa, a qual também apresentou os maiores estoques de COp. Já na camada mais profunda a área de vegetação nativa apresentou os maiores estoques de COp, observando-se maiores estoques de COT e COam com o tratamento SS 7,5 (Tabela 3).

Segundo Azar et al. (2013), as atividades microbiana e decompositora são aceleradas no sistema silvipastoril, levando à maior decomposição de biomassa nesta área do que em um sistema convencional de pastagem, e, conseqüentemente, à maiores concentrações de carbono orgânico, o que pode ser admitido no presente trabalho, no qual, os pontos a 10,0 e 7,5 m de distância da linha de plantio do eucalipto, nas camada de 00,0-20,0 e 20,0-30,0 cm, respectivamente, apresentaram estoques de COT superiores.

A eficiência na estocagem de carbono nos sistemas agroflorestais pode ser influenciada pelo arranjo de renques adotado, idade do sistema e espécies utilizadas (Torres et al., 2013; Schettini et al., 2017). Moreira et al. (2018) afirmaram que a orientação dos renques Leste-Oeste é a ideal para que os raios solares sejam distribuídos de forma mais homogênea e não afete negativamente os atributos do solo, podendo justificar as maiores concentrações de carbono na área de silvipastoril em pontos menos sombreados ao longo do dia. Borges et al. (2018) também explicam este resultado ao afirmarem que, os atributos do solo, em sistemas integrados com a pecuária, são afetados pelo pisoteamento dos animais, principalmente perto das árvores, local onde estes encontram sombras.

Segundo Silva et al. (2018), em áreas de pastagem, em camadas superficiais, 0,0 a 0,2 m, é possível que ocorra maior acúmulo de carbono, porém, não foi o observado nos presentes resultados, pois, s

egundo Ramos (2013), ao avaliar a influência da adubação nitrogenada na qualidade e quantidade de matéria orgânica, é possível notar que na ausência de aplicação de N, pode ocorrer uma menor fertilidade do solo e, conseqüentemente,

estoques inferiores de C, o que pode justificar alguns estoques insatisfatórios de C apresentados na Tabela 3.

Campos et al. (2016) afirmaram que o estoque de carbono é afetado significativamente pelo sistema de uso e manejo do solo, quando o manejo é feita da forma adequada ou não. Além disso, a quantidade de carbono orgânico total está relacionada com os valores de densidade do solo, o que varia de acordo com a profundidade, de modo que os estoques de carbono são mais dependentes da densidade do solo que dos teores de carbono (Soares et al., 2018).

Além dos sistemas silvipastoris serem eficientes em sequestrar carbono, em resposta ao excedente de árvores do sistema (Castro Neto et al., 2017), eles também se mostram eficientes na estocagem deste carbono, devido a maior atividade decompositora ocorrente nestas áreas (Azar et al., 2013). No presente trabalho os maiores estoques de COT e CO_{am} foram observados no tratamento SS 10, o que pode ser resultado do pouco tempo de implantação do sistema, da maior distância das árvores, o que proporciona menor sombreamento, e também dos efeitos iniciais do sistema sob a pastagem, principalmente aquela localizada mais ao centro do entre renque.

Silva et al. (2020) também relataram superioridade do sistema silvipastoril, recém arborizado, sobre o sistema convencional, aproximadamente dois anos, ocorrendo maiores estoques de COT e CO_{am}. No entanto, diferente dos resultados apresentados na Tabela 3, a copa das árvores não influenciou no aporte de carbono no solo, o que pode ser justificado pelo curto período de arborização da área.

As médias inferiores apresentadas pelo sistema de pastagem convencional quando comparadas aos tratamentos SS 7,5 e SS 10,0 quanto ao COT e CO_{am} na camada de 0,0-0,3 m, podem ser justificadas pela possibilidade da área se encontrar em algum nível de degradação ou até mesmo pela falta de um outro componente, como o arbóreo por exemplo, que contribua para uma maior deposição de resíduo vegetal no solo. Chaves (2014) observou aumento de carbono no solo em uma área de pastagem degradada onde foi implantado o sistema silvipastoril, enquanto que, em área de pastagem convencional foram encontrados os menores estoques, o que se deve a menor quantidade de matéria orgânica e menor potencial produtivo deste solo em resposta à degradação da área.

Apesar do C_{Op} ser uma fração mais sensível à manutenção de carbono, o fato desta fração não ter apresentado alterações no sistema silvipastoril, no presente trabalho,

pode ser justificado pelo curto período de avaliação, a qual ocorreu aproximadamente quatro anos após o estabelecimento das arbóreas no sistema, pois, segundo Srinivasan et al. (2012), a longo prazo o estoque de COp aumenta correlacionado às concentrações de COT. Além disso, esta fração também sofre degradação mais facilmente (Badgery et al., 2020), o que também pode justificar sua inferioridade nos sistemas de produção avaliados.

Ao analisar os incrementos de carbono no somatório das camadas de 00,0 a 30,0 cm é notável maior acúmulo de carbono na fração associada aos minerais nos locais mais distantes da linha de plantio, com incrementos próximos aos encontrados na área de referência. A predominância de pastagem em pontos mais distantes da linha de plantio, a qual já encontrava-se implantada antes da instalação do sistema silvipastoril, favoreceu o acúmulo de carbono na fração associada aos minerais, a qual apresenta maior grau de humificação e recalcitrância (Chan; Bowman; Oates, 2001) que pode ter sido proporcionada pela maior permanência da espécie forrageira em determinados pontos (Figura 5).

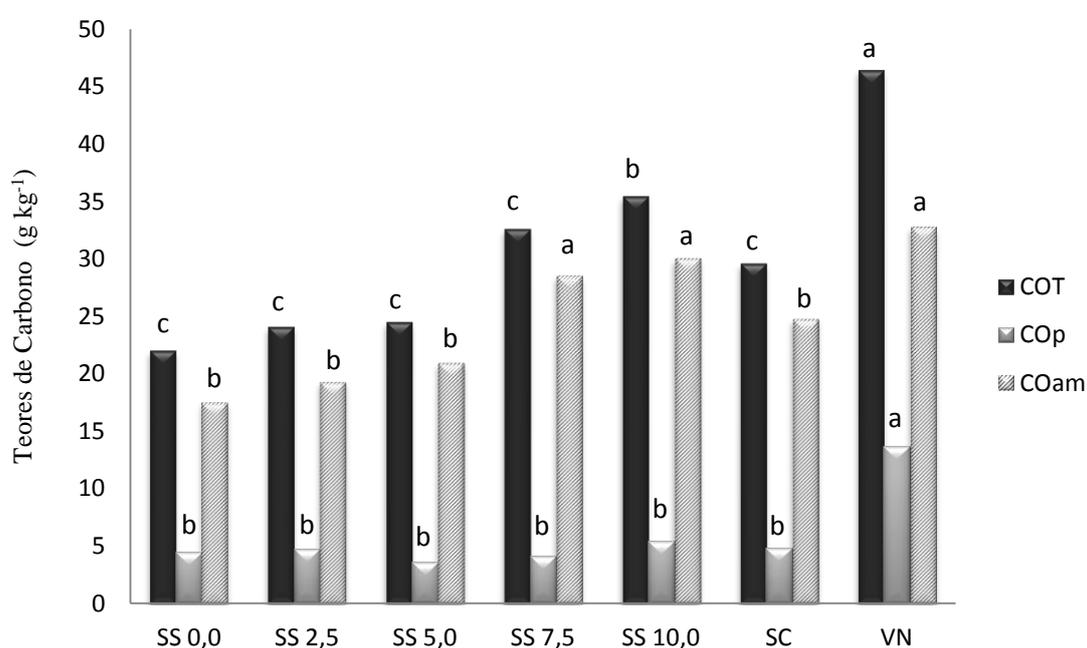


Figura 5. Teores de carbono orgânico total (COT), particulado (COp) e associado aos minerais (COam) nas áreas do sistema silvipastoril (SS), pastagem convencional (SC) e área de vegetação nativa (VN) na camada de 00,0-30,0 cm. Bandeirantes, MS, 2020. Médias seguidas pela mesma letra pertencem ao mesmo grupo pelo teste de agrupamento de Scott-Knott (1974), a 5% de probabilidade.

Na Figura 6, são notáveis maiores estoques de COT a maiores distâncias da linha de plantio do eucalipto, 7,5 e 10,0 m, as quais apresentaram capacidade de estocagem de carbono equivalente a área de vegetação nativa ao avaliar-se o conteúdo total até 30,0 cm de profundidade do solo. O mesmo ocorreu quanto aos estoques de COam, os quais foram maiores nas mesmas distâncias, acompanhando as médias de teores de COam no somatório da profundidade de 00,0 a 30,0 cm.

Resultados semelhantes são apresentados na literatura, na qual é descrito o potencial dos sistemas conservacionistas, como os silvipastoris, em estocar carbono, principalmente em camadas superficiais (Rossetti e Centurion, 2015; Lira Júnior et al., 2020). Profundidades superficiais, até 20,0 cm, por exemplo, são mais sensíveis em detectar as alterações ocorridas na matéria orgânica no solo, principalmente em sistemas com menor tempo de implantação (Caetano et al., 2013), o que reafirma a importância dos resultados obtidos na camada de 00,0 a 30,0 cm apresentados na Figura 6.

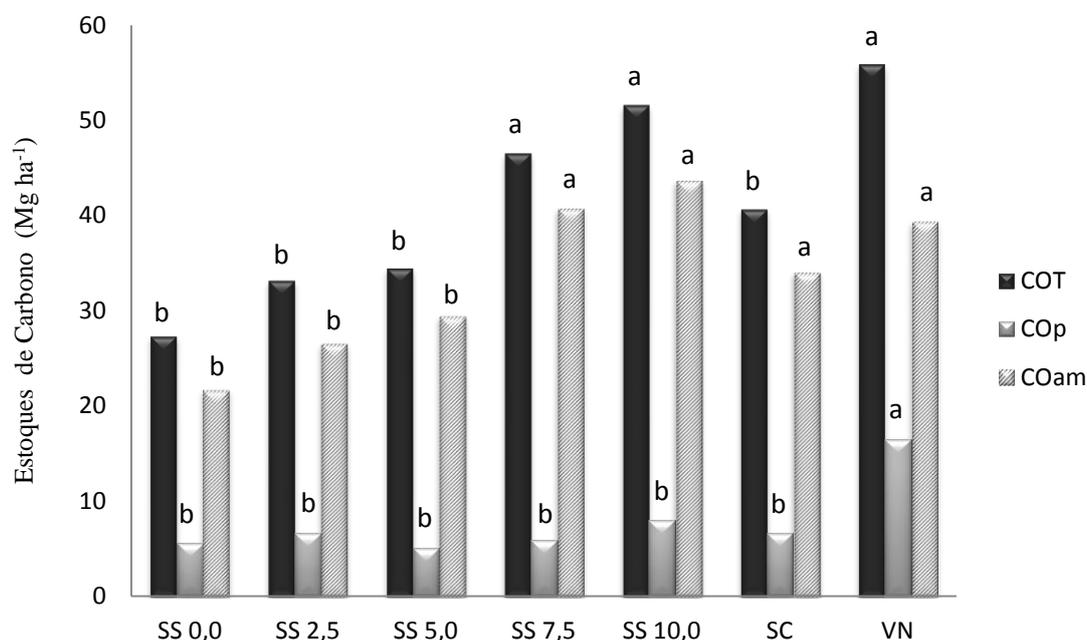


Figura 6. Estoques de carbono orgânico total (COT), particulado (COp) e associado aos minerais (COam) nas áreas do sistema silvipastoril (SS), pastagem convencional (SC) e área de vegetação nativa (VN) na camada de 00,0-30,0 cm. Bandeirantes, MS, 2020. Médias seguidas pela mesma letra pertencem ao mesmo grupo pelo teste de agrupamento de ScottKnott (1974), a 5% de probabilidade.

Os valores médios de IMC nas camadas de 00,0-10,0, 10,0-20,0 e 20,0-30,0 cm são apresentados na Tabela 4. Em todas as camadas, para os tratamentos estudados nas

áreas de sistemas silvipastoril e convencional, observou-se índices de manejo de carbono inferiores aos da área de vegetação nativa.

Quanto maior o processo de degradação, menor é o valor de IMC, indicando que, o sistema de manejo está sendo pouco eficiente para promover incrementos no carbono orgânico do solo. Valores de IMC a partir de 100, que é referência, representam um solo com maior qualidade, indicando que ocorre alteração satisfatória da matéria orgânica (Blair et al., 1995; Silva et al., 2011).

Tabela 4. Valores médios do índice de manejo de carbono nas camadas 00,0-10,0, 10,0-20,0 e 20,0-30,0 cm nas áreas de silvipastoril (SS), pastagem convencional (PC) e vegetação nativa (VN). Bandeirantes, MS, 2020.

Tratamentos	IMC		
	00,0-10,0 cm	10,0-20,0 cm	20,0-30,0 cm
SS 0,0	19,78 c	41,19 b	55,67 b
SS 2,5	35,14 b	31,95 b	54,79 b
SS 5,0	14,01 c	41,23 b	44,76 b
SS 7,5	21,03 c	36,11 b	46,83 b
SS 10,0	41,71 b	40,95 b	44,95 b
SC	25,95 c	37,21 b	60,44 b
VN	100,00 a	100,00 a	100,00 a
Teste F	28,18**	11,70**	4,46**
Média	36,80	46,95	58,21
CV (%)	30,13	29,44	31,54

Pelo teste F, ** significativo ($p \leq 0,01$). Médias seguidas pela mesma letra na coluna pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$).

Para os tratamentos avaliados no presente trabalho são observados valores de IMC inferiores ao valor ideal, que é o apresentado pela área de vegetação nativa. Nas áreas de vegetação nativa há um processo contínuo de deposição de material vegetal, atividade biológica, não ocorrência de ação antrópica, e, conseqüentemente, manutenção da matéria orgânica e qualidade do solo. Segundo Schiavo et al. (2011), pastagem com braquiária é o sistema que mais se aproxima da área de vegetação nativa, o que pode ser observado na camada mais profunda na Tabela 4, possivelmente por ser uma zona mais profunda e que passou por menores influências.

A avaliação de carbono nos sistemas de produção auxilia no reconhecimento das características da área e na tomada de decisão, partindo-se da ideia que o carbono é uma fração sensível para as alterações sofridas pelo solo em função do manejo da área. No entanto, ainda há a necessidade de se explorar mais a área, trazendo ao conhecimento as relações de diversas práticas agrícolas com o sequestro ou redução de carbono no solo.

4. CONCLUSÕES

Sistemas silvipastoris são mais eficientes no acúmulo e estoque de carbono no solo, na quantificação total (COT) e na fração associada aos minerais, em pontos mais distantes da copa das árvores pela maior interação dos sistemas radiculares das duas espécies vegetais presentes no sistema.

Para a avaliação da fração COp sugere-se a repetição da mesma com o avanço do desenvolvimento do sistema silvipastoril para a detecção de possíveis alterações desta fração neste sistema de integração.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSEFA, D., REWALD, B., SANDÉN, H., ROSINGER, C., ABIYU, A., YITAFERU, B. & GODBOLD, D. L. Deforestation and land use strongly effect soil organic carbon and nitrogen stock in Northwest Ethiopia. **Catena**, v.153, p. 89-99, 2017.
- AZAR, G. S.; ARAÚJO, A. S. F.; OLIVEIRA, M. E.; AZEVÊDO, D. M. M. R. Biomassa e atividade microbiana do solo sob pastagem em sistemas de monocultura e silvipastoril. **Semina: Ciências Agrárias**, v.34, p. 2727-2736, 2013.
- BADGERY, W. B.; MWENDWA, J. M.; ANWAR, M. R.; SIMMONS, A.; BROADFOOT, K. H.; ROHAN, M.; BHUPINDER, P. S. Unexpected Increases in Soil Carbon Eventually Fell in Low Rainfall Farming Systems. **Journal Environ Manage**, v.261, 2020.
- BALDOTTO, M. A.; VIEIRA, E. M.; SOUZA, D. O.; BALDOTTO, L. E. B. Estoque e frações de carbono orgânico e fertilidade de solo sob floresta, agricultura e pecuária. **Revista Ceres**, v.62, p. 301-309, 2015.
- BARBOSA, J. C.; MALDONADO JÚNIOR, W. AgroEstat - Sistema para Análises Estatísticas de Ensaios Agronômicos. Versão 1.1.0.712, 2014.
- BLAIR, G. J.; LEFROY, D. B.; LISLE, L. Soil carbon fractions, based on their degree of oxidation, and the development of a carbon management index for agricultural systems. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 46, p. 1459-1466, 1995.
- BORGES, W. L. B.; CALONEGO, J. C.; ROSOLEN, C. A. Impact of crop-livestock-forest integration on soil quality. **Agroforestry Systems**, v.93, p. 2111-2119, 2018.

- BRIEDIS, C. SÁ, J. C. M.; DE-CARLI, R. S.; ANTUNES, E. A. P.; SIMON, L.; ROMKO, M. L.; ELIAS, L. S.; FERREIRA, A. O. Particulate soil organic carbon and stratification ratio increases in response to crop residue decomposition under no-till. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, p. 1483-1490, 2012.
- CAETANO, J. O.; BENITES, V. M.; SILVA, G. P.; ASSIS, R. L.; CARGNELUTTI FILHO, A. Dinâmica da matéria orgânica de um Neossolo Quartzarênico de Cerrado convertido para cultivo em sucessão de soja e milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.37, p. 1245-1255, 2013.
- CAMBARDELLA, C. A.; ELLIOT, E. T. Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence. **Soil Science Society of America Journal**, v. 56, p. 777-783, 1992.
- CAMPOS, M. C. C.; SOARES, M. D. R.; NASCIMENTO, M. F.; SILVA, D. M. P. Estoque de carbono no solo e agregados em Cambissolo sob diferentes manejos no sul do Amazonas. **Revista Ambiente e Água**, v.11, p. 339-349, 2016.
- CASTRO NETO, F.; JACOVINE, L. A. G.; TORRES, C. M. M. E.; OLIVEIRA NETO, S. N.; CASTRO, M. M.; VILLANOVA, P. H.; FERREIRA, G. L. Balanço de Carbono – Viabilidade Econômica de Dois Sistemas Agroflorestais em Viçosa, MG. **Revista Floresta e Ambiente**, v.24, p.1-9, 2017.
- CHAN, K. Y.; BOWMAN, A.; OATES, A. Oxidizable organic carbon fractions and soil quality changes in an paleustalf under different pasture leys. **Soil Science**, v. 166, p. 61-67, 2001.
- CHAVES, S. S. F. **Dinâmica do carbono no solo sob diferentes usos da terra em Paragominas, PA**. 2014. 88 p. Tese (Mestrado em Fitotecnia) - Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2014.
- COUTINHO, F. S.; PEREIRA, M. G.; MENEZES, C. E. G.; GUARESCHI, R. F.; ASSUNÇÃO, S. A. Atributos Edáficos em Áreas de Agricultura, Pastagem e Três Estágios Sucessionais de Floresta. **Revista Floresta e Ambiente**, v.24, p.1-11, 2017.
- CUNHA NETO, F. V.; PEREIRA, M. G.; LELES, P. S. S.; ABEL, E. L. S. Atributos químicos e físicos do solo em áreas sob diferentes coberturas florestais e pastagem em além Paraíba – MG. **Ciência Florestal**, v.28, p. 13-24, 2018.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. 2. ed. Brasília, 1997. 212p.
- KÖPPEN, W. **Climatologia**: con un estudio de los climas de la tierra. México: Fondo de Cultura Económica, 1948. 478p.
- LANA, A. M. Q.; LANA, R. M. Q.; LEMES, E. M.; REIS, G. L.; MOREIRA, G. H. F. A. Influência de árvores nativas ou exóticas na fertilidade do solo em décadas de sistema silvipastoril no bioma cerrado brasileiro. **Sistemas Agroflorestais**, v.92, p. 415-424, 2018.
- LIRA JUNIOR, A. M.; FRACETTO, F. J. C.; FERREIRA, J. S.; SILVA, M. B.; FRACETTO, G. G. M. Legume-based silvopastoral systems drive C and N soil stocks in a subhumid tropical environment. **Catena**, v. 189, 2020.

LOSS, A.; COUTINHO, F. S.; PEREIRA, M. G.; SILVA, R. A. C.; TORRES, J. L. R.; RAVELLI NETO, A. Fertilidade e carbono total e oxidável de Latossolo de Cerrado sob pastagem irrigada e de sequeiro. **Ciência Rural**, v.43, p. 426-432, 2013.

LOSS, A.; RIBEIRO, E. C.; PEREIRA, M. G.; COSTA, E. M. Atributos físicos e químicos do solo em sistemas de consórcio e sucessão de lavoura, pastagem e silvipastoril em Santa Teresa, ES. **Bioscience Journal**, v.30, p. 1347-1357, 2014.

MACEDO, M. C. M.; ARAÚJO, A. R.; Sistemas de produção em integração: alternativa para recuperação de pastagens degradadas. In: BUNGENSTAB, D. J.; ALMEIDA, R. G. de; LAURA, V. A.; BALBINO, L. C.; FERREIRA, A. D. **ILPF: inovação com integração lavoura, pecuária e floresta**. Brasília: Embrapa Cerrados, 2019. Cap 20, p.296-317.

MARTINKOSKI, L.; VOGEL, G. F.; JADOSKI, S. O.; WATZLAWICK, L. F. Qualidade física do solo sob manejo silvipastoril e floresta secundária. **Floresta e Ambiente**, v.24, p.-9, 2017.

MAURÍCIO, R. M.; PACIULLO, D. S.; SILVEIRA, S. R.; RIBEIRO, R. S.; CALSAVARA, L. H. F.; MADUREIRA, A. P.; CASTRO, G. H. F.; SOUZA, L. F. Sistemas silvipastoris: produção animal, conservação ambiental e serviços ambientais. In: SIMBRA, S., 2013 Viçosa-MG. **Resumos [...]**. Viçosa: Simbra, 2013. 21 p.

MENEZES, C. E. G.; GUARESCHI, R. F.; PEREIRA, M. G.; ANJOS, L. H. C.; CORREIA, M. E. F.; BALIEIRO, F. C.; PICCOLO, M. C. Organic matter in areas under secondary forests and pasture. **Revista Cerne**, v.23, p. 42-48, 2017.

MORAES, A.; CARVALHO, P. C. F.; LUSTOSA, S. B. C.; LANG, C. R.; DEISS, L. Research on integrated crop-livestock systems in Brazil. **Revista Ciência Agronômica**, v. 45, p. 1024-1031, 2014.

MOREIRA, G.M., NEVES, J.C.N., MAGALHÃES, C.A.S., FARIAS NETO, A.L., SAUER, G., & SILVA, J.F.V., FERNANDES, R.B.A. Soil chemical attributes in response to tree distance and sun-exposed faces after the implantation of an integrated crop-livestock-forestry system. **Revista Árvore**, v.42, p.1-9, 2018.

PIANO, J. T.; REGO, C. A. R. M.; VENGEN, A. P.; EGEWARTH, J. F.; EGEWARTH, V. A.; MATTEI, E.; OLIVEIRA, P. S. R.; HERRERA, J. L. Soil organic matter fractions and carbono management index under integrated crop-livestock system. **Bioscience Journal**, v.36, p. 743-760, 2020.

RAMOS, L. S. **Eficiência de um sistema silvipastoril em substituição à adubação nitrogenada e a sua relação com a dinâmica da matéria orgânica em solo distrocoeso**. 2013. 88 f. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) – Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2013.

ROSSETTI, K. V.; CENTURION, J. F. Estoque de carbono e atributos físicos de um Latossolo em cronossequência sob diferentes manejos. **Gestão e Controle Ambiental**, v.19, p.252-258, 2015.

- ROSSI, C. Q.; PEREIRA, M. G.; GIÁCOMO, S. G.; BETTA, M.; POLIDORO, J. C. Frações lábeis da matéria orgânica em sistema de cultivo com palha de braquiária e sorgo. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, p. 38-46, 2012.
- SACRAMENTO, J. A. A. S.; ARAÚJO, A. C. M.; ESCOBAR, M. E. O.; XAVIER, F. A. S.; CAVALCANTE, A. C. R.; OLIVEIRA, T. S. Soil carbon and nitrogen stocks in traditional agricultural and agroforestry systems in the semiarid region of Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.37, p. 784-795, 2013.
- 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.
- SANTOS, E. S. N.; CAMPOS, M. C. C.; SOUZA, F. G.; CUNHA, J. M.; PINHEIRO, E. N.; LIMA, A. F. L.; BRITO, W. B. M.; WADT, P. G. S. The stability of aggregates and organic carbon content after the application of gypsum, soil scarification and a succession of agricultural crops. **Bioscience Journal**, v.36, p. 720-730, 2020.
- SCHETTINI, B. L. S.; JACOVINE, L. A. G.; TORRES, C. M. M. E.; OLIVEIRA NETO, S. N.; ROCHA, S. J. S. S.; ALVES, E. B. B. M.; VILLANOVA, P. H. Estocagem de Carbono em Sistemas Silvopastoris com Diferentes Arranjos e Materiais Genéticos. **Advances in Forestry Science**, v.4, p.175-179, 2017.
- SCHIAVO, J. A.; ROSSET, J. S.; PEREIRA, M. G.; SALTON, J. C. Índice de manejo de carbono e atributos químicos de Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, p.1332-1338, 2011.
- SILVA, E. F.; LOURENTE, E. P. R.; MARCHETTI, M. E.; MERCANTE, F. M.; FERREIRA, A. K. T.; FUJII, G. C. Frações lábeis e recalcitrantes de matéria orgânica em solos sob integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, p. 1321- 1331, 2011.
- SILVA, J. C. N.; SILVA, A. R.; VELOSO, C. A. C.; DANTAS, E. F.; SACRAMENTO, J. A. A. S. Aggregation, carbon, and total soil nitrogen in crop-livestock-forest integration in the Eastern Amazon. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.22, p. 837-842, 2018.
- SILVA, J. R. M.; ENSINAS, S. C.; BARBOSA, G. F.; REZENDE, J. V. O.; BARRETA, P. G. V.; ZUFFO, A. M. Total organic carbon and the humic fractions of the soil organic matter in silvopastoral system. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.15, p.1-6, , 2020.
- SOARES, M. D. R.; CAMPOS, M. C. C.; CUNHA, J. M.; SOUZA, Z. M.; OLIVEIRA, I. A.; AQUINO, R. E.; MANTOVANELLI, B. C.; OLIVEIRA, L. S. Variabilidade espacial do estoque de carbono e atributos físicos do solo em terra preta arqueológica sob pastagem. **Revista Ambiente e Água**, v.13, p.1-13, 2018.
- SRINIVASAN, V.; MAHESWARAPPA, H. P.; RATTAN, L. Long term effects of topsoil depth and amendments on particulate and non particulate carbon fractions in a Miamian soil of Central Ohio. **Soil and Tillage Research**, v.121, p.10-17, 2012.

TORRES, C. M. M. E.; JACOVINE, L. A. G.; OLIVEIRA NETO, S. N.; BRIANEZI, D.; ALVES, E. B. B. M. Sistemas agroflorestais no Brasil: uma abordagem sobre a estocagem de carbono. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v.34, p. 235-244, 2013.

WENDLING, B.; JUCKSCH, I.; MENDONÇA, E. S.; VINHAL-FREITAS, I. C. Mudanças no carbono e nitrogênio em diferentes compartimentos da matéria orgânica sob Sistema agrossilvipastoril. **Revista Ciência Florestal**, v.21, p. 641-653, 2011.

XAVIER, D. F.; LÉDO, F. J. S.; PACIULLO, D. S. C.; PIRES, M. F. A.; BODDEY, R. M. Dinâmica da serapilheira em pastagens de braquiária em sistema silvipastoril e monocultura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, p. 1214-1219, 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**, v. 19, p. 1467-1476, 1988.