

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS - UFT  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA ANIMAL  
TROPICAL**

**Hugo Mariano Rodrigues de Oliveira**

**Estoques de C e N em frações da matéria orgânica do solo sob  
sistemas silvipastoris e pastagem na Amazônia Oriental**

**Araguaína-TO**

**2018**



**HUGO MARIANO RODRIGUES DE OLIVEIRA**

**ESTOQUES DE C E N EM FRAÇÕES DA MATÉRIA ORGÂNICA DO  
SOLO SOB SISTEMAS SILVIPASTORIS E PASTAGEM NA  
AMAZÔNIA ORIENTAL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal Tropical da Universidade Federal do Tocantins, como requisito para obtenção do título de Mestre.

Área de concentração: Produção animal

Orientador: Antonio Clementino dos Santos

Coorientador: Teógenes Senna de Oliveira

**Araguaína-TO**

**2018**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**  
**Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins**

---

O48e Oliveira, Hugo Mariano Rodrigues de.  
Estoques de C e N em frações da matéria orgânica do solo sob sistemas silvipastoris e pastagem na Amazônia Oriental. / Hugo Mariano Rodrigues de Oliveira. – Araguaína, TO, 2018.  
59 f.

Dissertação (Mestrado Acadêmico) - Universidade Federal do Tocantins – Câmpus Universitário de Araguaína - Curso de Pós-Graduação (Mestrado) em Ciência Animal Tropical, 2018.

Orientador: Antonio Clementino dos Santos

Coorientador: Teógenes Senna de Oliveira

1. Estoque de C e N no solo. 2. Ambiente amazônico. 3. Matéria orgânica particulada. 4. Mudança no uso e manejo do solo. I. Título

**CDD 636.089**

---

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte. A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184 do Código Penal.

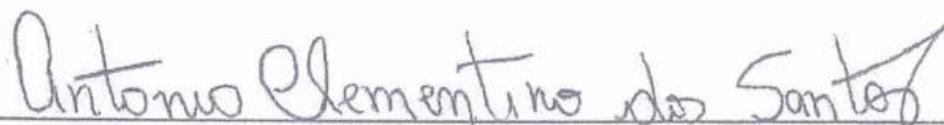
**Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFT com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).**

**Estoque de C e N em frações da matéria orgânica do solo sob sistema silvipastoris e pastagem na Amazônia Oriental**

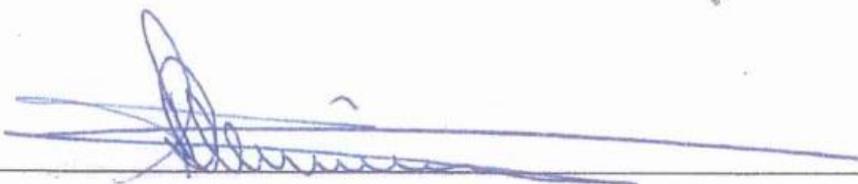
**Por**

**HUGO MARIANO RODRIGUES DE OLIVEIRA**

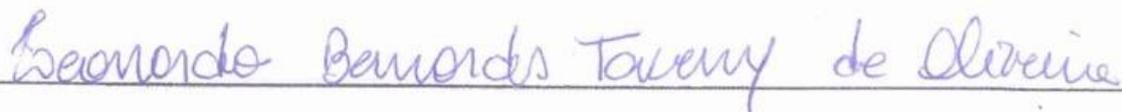
**Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal Tropical da Universidade Federal do Tocantins, como requisito para obtenção do título de Mestre.**



Orientador: Profº Dr. Antonio Clementino dos Santos - UFT



Coorientador: Profº Dr. Teógenes Senna de Oliveira - UFV



Membro: Profº Dr. Leonardo Bernardes Taverny de Oliveira - UFT

À Deus por todas as noites que me fortalece para seguir esse caminho.

Aos meus pais Odonel Mariano de Oliveira e Eliane Rodrigues de Oliveira por todo apoio e ensinamentos que sempre estiveram ao meu lado nas escolhas que fiz.

Ao irmão Humberto Alencar Rodrigues de Oliveira pelo apoio e carinho de sempre;

À toda minha família.

**Dedico**

## AGRADECIMENTOS

Aos meus pais pela força, amor e entusiasmos que motivaram a lutar a cada dia por algo melhor, por todos os ensinamentos da vida, pelo exemplo de humildade e dedicação que sempre me passam e pela oportunidade que sempre me proporcionaram de seguir esse caminho.

Ao meu irmão pelo carinho e apoio que sempre será um grande amigo que tenho muito orgulho.

A minha namorada companheira e amiga Rayssa Pettine Dias, que tenho grande apreço por sua personalidade que me ajuda motiva a buscar os meus objetivos e sempre esteve ao meu lado nas dificuldades e alegrias.

Ao meu orientador Antonio Clementino dos Santos que com sua carreira exemplar de dedicação, sempre nos proporciona oportunidades de estar crescendo e melhorando na vida acadêmica, além de ser um grande exemplo de pessoa.

Ao meu primo Leonardo Bernardes Taverny de Oliveira, por me apresentar o caminho da pesquisa científica que me motivou a seguir a vida acadêmica, além amizade e companhia na vida.

À Andreia de Lara e família que me acolheram em Araguaína desde a graduação com muito carinho e almoços de domingo.

Aos meus amigos Marcio, Marcos, Lucas, Klezion, Otacilio, Aridoulgas, Nayara e Tiago do Laboratório de Pesquisa de Solos da UFT, pelos ensinamentos da vida e profissional.

Aos amigos de mestrado Samea, Karla, Anderson, Jeferson, Josimar do PPGCAT que com muito humor e carisma conseguiram superar as dificuldades juntos nessa luta.

Ao Professor Teógenes Senna de Oliveira pela grande oportunidade de aumentar o horizonte de conhecimento através do projeto de mestrado e da vivencia na Universidade Federal de Viçosa.

Aos professores do programa de Pós-graduação em Ciência Animal Tropical da UFT, pelos ensinamentos e contribuições para a construção de profissionais.

Aos amigos da Universidade Federal de Viçosa Leiliane Bozzi, Hellen Marota, Pedro Souza, Joésio Souza, Mauricio, Marlon Castro, Joelmo Souza, Judyson Matos, Nathalie Sena, Alian Cássio, Pedro Barboza, Lais Barros, Luisa Vieira e todos que sempre me receberam com maior carinho e ajudaram na condução do experimento.

À CAPES pela bolsa de mestrado concedida, e ao programa PRO-AMAZONIA que disponibilizou recursos para condução do experimento.

À UFT e UFV pelo apoio técnico, estrutural e financeiro para realização de todas os procedimentos necessários durante experimento.

**Muito obrigado!!!**

## SUMÁRIO

RESUMO:.....	11
ABSTRACT: .....	12
1. INTRODUÇÃO.....	11
2. MATERIAL E MÉTODOS .....	14
2.1. Identificação das áreas e tratamentos.....	14
2.2. Amostragem de solo .....	15
2.3. Fracionamento granulométrico da matéria orgânica e teores de C e N.....	17
2.4. Cálculo de estoque de carbono do solo .....	17
2.5. Métodos de cálculo dos estoques de C do solo.....	18
2.6. Análise da abundância natural do isótopo $^{13}\text{C}$ ( $\delta^{13}\text{C}$ ).....	20
2.7. Teor de carbono lábil e índice de manejo de carbono (IMC).....	20
2.8. Análise estatística.....	21
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	22
3.1. Teores de C nas frações granulométricas da matéria orgânica.....	22
3.2. Métodos de determinação de estoque de carbono do solo.....	25
3.3. Estoque de carbono nas frações granulométricas da matéria orgânica .....	28
3.4. Teor de nitrogênio nas frações granulométricas da matéria orgânica.....	32
3.5. Estoque e nitrogênio nas frações granulométricas da matéria orgânica .....	35
3.6. Relação C/N.....	37
3.7. Teor de carbono lábil nas frações granulométricas da matéria orgânica .....	38
3.8. Índice de manejo de carbono do solo.....	40
3.9. Abundância natural do isótopo $^{13}\text{C}$ ( $\delta^{13}\text{C}$ ).....	42
3.10. Porcentagem e estoque de carbono de planta C3 e C4.....	44
4. CONCLUSÃO .....	47
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	48

## RESUMO:

A avaliação da qualidade do solo, pode ser realizada utilizando diversas variáveis, mas as que mais identificam as alterações provocados por mudança no uso do solo, são as relacionadas a matéria orgânica do solo (MOS). Nesse sentido, o objetivo desse trabalho foi avaliar os impactos da conversão da mata nativa para uso agrícola na região da Amazônia Oriental no estado do Tocantins em Argissolo Vermelho Eutrófico. Cinco áreas com diferentes uso e manejo do solo foram utilizadas, sendo considerado os tratamentos: sistema silvipastoril com 30% (SSP30%) e 60% de sombreamento (SSP60%); mata nativa (MN); área de pastagem degradada (MD); sistema intensivo de manejo de pastagem com capim mombaça (MI). Amostras de solo nas profundidades 0-5, 5-15, 15-30, 30-60 e 60-100 cm, foram utilizadas para fracionamento granulométrico da MO e posterior determinação de C e N do solo e estimado os estoques nas frações da MO. Foi realizado também análise de abundância natural do isótopo  $^{13}\text{C}$  e determinação da labilidade das frações da MO, que permitiu posteriormente calcular valores de índice de manejo de carbono (IMC). O SSP60%, proporcionou melhoria na qualidade do solo, por ter apresentado maior teor de C e N nas frações granulométricas da matéria orgânica. O SSP30% proporcionou os maiores estoques de C e N no solo, porém proporcionou decréscimo da qualidade do solo, por apresentar menores teores de CL e diminuição do estoque de C da matéria orgânica particulada (MOP). Apesar de ser o sistema com menor aporte de C e N além de menor labilidade do C, o MI proporcionou os maiores valores de teor e estoque de C e N na fração MOP, sendo iguais ao SSP60%, o que pode representar futura melhoria na qualidade do solo. Os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  mostram que a conversão de MN em SSP60% não promoveu alterações na composição do isótopo  $^{13}\text{C}$ , tendo maior participação do C de plantas C3 nesse sistema. O SSP30% devido a maior ação antrópica houve maior contribuição de C provenientes de planta C4. Já o MD teve maior proporção de C de plantas C3 do que os MI.

**Palavras chaves:** abundância natural de isótopo  $^{13}\text{C}$ , ecótono Cerrado-Amazônia, estoques de carbono e nitrogênio, matéria orgânica particulada.

## **ABSTRACT:**

Soil quality assessment can be performed using several variables, but those that most identify changes caused by changes in soil use are those related to soil organic matter (MOS). In this sense, the objective of this work was to evaluate the impacts of the conversion of native forest to agricultural use in the region of the Eastern Amazon in the state of Tocantins in Eutrophic Red Argissolo. Five areas with different land use and management were used, considering the treatments: silvipastoral system with 30% (SSP30%); and 60% shading (SSP60%); native forest (MN); degraded pasture area (MD); intensive pasture management system with mombaça grass (MI). Soil samples at depths 0-5, 5-15, 15-30, 30-60 and 60-100 cm were used for granulometric fractionation of MO and subsequent determination of C and N of the soil and estimated the stocks in the fractions of MO. It was also carried out an analysis of the natural abundance of the  $^{13}\text{C}$  isotope and the determination of the lability of the MO fractions, which later allowed to calculate values of carbon management index (CMI). The SSP60%, provided an improvement in soil quality, because it presented higher C and N content in the particle size fraction of organic matter. The SSP30% provided the largest stocks of C and N in the soil, but provided a decrease in soil quality, due to lower LC levels and a decrease in the C stock of particulate organic matter (POM). In spite of being the system with the lowest C and N input and lower C lability, the IM provided the highest values of C and N content in the POM fraction, being equal to the SSP60%, which may represent a future improvement in quality of the soil. The values of  $\delta^{13}\text{C}$  show that the conversion of MN to SSP60% did not promote changes in the composition of the  $^{13}\text{C}$  isotope, with a higher participation of C3 plants in this system. The SSP30% due to higher anthropogenic action showed a higher contribution of C from the C4 plant. On the other hand, the MD had a greater proportion of C of C3 plants than the MI.

**Keywords:** carbon and nitrogen stocks, ecotone Cerrado-Amazon, natural abundance of  $^{13}\text{C}$  isotope, particulate organic matter.

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Densidade aparente de argissolo vermelho eutrófico sob diferentes usos em cinco profundidades (0-5, 5-15, 15-30, 30-60, 60-100 cm) .....	16
<b>tabela 2.</b> Caracterização química e física de argissolo vermelho eutrófico sob diferentes usos, em quatro profundidades (0-5, 5-15, 15-30, 60-100 cm).....	16
<b>tabela 3.</b> Teor de c em argissolo vermelho eutrófico sob diferentes usos, em cinco profundidades (0-5, 5-15, 15-30, 30-60, 60-100 cm) nas frações da matéria orgânico particulado, associado a minerais e total .....	24
<b>tabela 4.</b> Estoques de c em argissolo vermelho eutrófico sob diferentes usos, em cinco profundidades (0-5, 5-15, 15-30, 30-60, 60-100 cm) nas frações da matéria orgânico particulado, associado a minerais e total .....	30
<b>tabela 5.</b> Teores de n em argissolo vermelho eutrófico sob diferentes usos, em cinco profundidades (0-5, 5-15, 15-30, 30-60, 60-100 cm), nas frações da matéria orgânico particulado, associado a minerais e total .....	33
<b>tabela 6.</b> Estoque de n em argissolo vermelho eutrófico sob diferentes usos, em cinco profundidades (0-5, 5-15, 15-30, 30-60 e 60-100 cm), nas frações particulada, associadas a minerais e total .....	36
<b>tabela 7.</b> Teor de carbono lábil oxidável em kmno4 em argissolo vermelho eutrófico sob diferentes usos, em cinco profundidades (0-5, 5-15, 15-30, 30-60, 60-100 cm) nas frações particulada, associadas a minerais e total .....	39
<b>tabela 8.</b> Porcentagem e estoque de c provenientes de plantas c3 e c4 em argissolo vermelho eutrófico sob diferentes usos, nas profundidades 0-5, 5-15, 15-30 30-60 e 60-100 cm .....	46

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Métodos de cálculo de estoque carbono em argissolo vermelho eutrófico sob diferentes usos na profundidade de 0-100 cm. Médias seguidas pela mesma letra, não diferem entre si, pelo teste de duncan a 5% de probabilidade. ....27
- figura 2.** Relação c/n em argissolo vermelho eutrófico sob diferentes usos, em cinco profundidades (0-5, 5-15, 15-30, 30-60, 60-100 cm). Ssp30%: silvipastoril com 30% de sombreamento; ssp60%: silvipastoril com 60% de sombreamento; mn: mata nativa; md: área de pastagem de mombaça degradado; mi: área de pastagem com mombaça sobre manejo intensivo. Letras minúsculas iguais entre os sistemas não apresentam diferença significativa pelo teste duncan ao nível de 5% de probabilidade. ....37
- figura 3.** Índice de manejo de carbono em argissolo vermelho eutrófico sob diferentes usos em três profundidades 0-15, 15-60 e 60-100 cm. Médias seguidas pela mesma letra em cada profundidade, não diferem entre si, pelo teste de duncan a 5% de probabilidade. ....41
- figura 4.** Variação na  $\delta^{13}c$  da matéria orgânica do solo em argissolo vermelho eutrófico sob diferentes usos, nas profundidades 0-5, 5-15, 15-30 30-60 e 60-100 cm. Ssp30%: silvipastoril com 30% de sombreamento; ssp60%: silvipastoril com 60% de sombreamento; mn: mata nativa; md: área de pastagem degradada de capim mombaça; mi: área de pastagem sobre manejo intensivo com capim mombaça. ....43

## 1. INTRODUÇÃO

A matéria orgânica (MO) é determinante na qualidade do solo devido a sua capacidade de melhoria nas propriedades físicas, químicas e biológicas, além disso, o aumento da MO possibilita o sequestro de carbono no solo, que é imprescindível para mitigação das emissões de gases na atmosfera. Estima-se que do conjunto mundial de carbono no solo de 2500 Pg, aproximadamente 1550 Pg é constituído por carbono orgânico e 950 Pg de carbono inorgânico (LAL, 2004). Sendo que, entre os principais biomas terrestres a maior quantidade de estoque de carbono está nos solos de florestas tropicais com 255 Pg de C no solo (MARTINELLI et al., 2009).

No entanto, a perda de carbono pela respiração do solo (microrganismos e plantas) no acumulado histórico, foi estimada em torno de 98 Pg de C, sendo que o ecossistema tropical contribui com 67% para esse fluxo do solo para atmosfera (BOND-LAMBERTY; THOMSON, 2010). Em contrapartida, o potencial do sequestro de carbono no solo a partir adoção de sistemas conservacionistas varia de 0,4 a 1,2 Pg de C ano<sup>-1</sup>, tendo capacidade de recuperar todo carbono perdido para atmosfera em menos de 100 anos (LAL, 2004).

Com isso, a manutenção da MO é essencial para a sustentabilidade dos sistemas produtivos no médio e longo prazo, principalmente em regiões tropicais de solos altamente intemperizados (SILVA e MENDONÇA, 2007; VILELA e MENDONÇA, 2013). Assim é imprescindível a adoção de sistemas que proporcionem a conservação e o aumento dos estoques de C orgânico que impacta diretamente na qualidade do solo (LOSS et al., 2011).

A mudança no uso e manejo do solo é a segunda maior causa de perdas de C após a combustão de combustíveis fósseis (BOND-LAMBERTY; THOMSON, 2010; FAN et al., 2016). Esse impacto varia de acordo com o tipo de solo, clima e ação antrópica (ASSEFA et al., 2017). Sendo de grande importância os estudos das mudanças dos estoques de carbono no solo em escalas regionais e nacionais, para obter estimativas mais precisas das reservas de carbono e na melhor compreensão do ciclo global do C (MILNE et al., 2007).

Nessa perspectiva o uso indiscriminado do solo acelera processos de degradação e declínio da MO, principalmente em regiões de clima tropical devido à alta pluviosidade e temperatura (MAIA et al., 2006; XAVIER et al., 2009; CARVALHO et al., 2010). Essa redução nos estoques de carbono do solo a partir das mudanças

no uso e manejo da terra, resultada em aumento de emissões de gases para a atmosfera, podendo também afetar a produtividade, devido a mudanças como desagregação do solo, menor disponibilidade de nutrientes e baixa capacidade de retenção de água (CERRI et al., 2007).

O uso de sistemas conservacionistas pode recuperar e melhorar a qualidade do solo a partir de manejo que favorece maior deposição de resíduos orgânicos e mínimo revolvimento do solo. O silvipastoril é um sistema integrada entre floresta, forragem e animal, que visa a recuperação de áreas degradadas para sua inclusão no sistema produtivo, sendo que, ao intensificar o uso com manejo adequado dessas áreas, podem contribuir para redução da perda de nutrientes e incremento de C no solo (MAIA et al., 2006; LEITE et al., 2013).

Já a implantação de pastagens em substituição à vegetação nativa, pode a partir do tipo do manejo resultar em aumento ou diminuição dos estoques de C do solo. Em que, pastagens degradadas resultantes de manejo inadequado, diminuem os teores de nutrientes e matéria orgânico do solo, devido à baixa produtividade das gramíneas, com aporte insuficiente de resíduo vegetal no do solo para manutenção do estoque de C (SIQUEIRA NETO et al., 2009; CARVALHO et al., 2010; COSTA JUNIOR et al., 2011).

As pastagens bem manejadas podem proporcionar nos primeiros anos de implantação diminuição nos estoques de C orgânico do solo, devido a fatores (maior exposição a microrganismos decompositores, umidade e temperatura, diminuição das partículas grosseiras) que aumenta a taxa mineralização do C provenientes da floresta, mas assim como sistemas agroflorestais, as pastagens a longo prazo podem atuar como conservacionistas, por promover maior deposição de MO e nutrientes no solo (CARVALHO et al., 2010; ARAÚJO et al., 2011; LEITE et al., 2013; SACRAMENTO et al., 2013).

Nesse sentido tanto os sistemas silvipastoris como pastagens bem manejadas podem contribuir para redução da perda de nutrientes por erosão, aumento no teor de carbono orgânico e obter taxas de incremento de C similares ou até superior aos de mata nativa, principalmente quando não há revolvimento do solo no preparo da área (MAIA et al., 2006; LEITE et al., 2013).

Dentro desses sistemas existem várias formas de avaliação uma delas é a determinação de carbono orgânico total no solo (COS) que embora seja considerada bom indicador de qualidade do solo, pode ser pouco informativo, e deve levar em

consideração as frações e compartimentos da matéria orgânica do solo (MOREIRA e SIQUEIRA, 2006). O fracionamento da matéria orgânica possibilita melhor avaliação da qualidade do solo, que visa manejo adequado para incremento de MOS (SOUZA et al., 2006 ab).

Assim como no fracionamento granulométrico a matéria orgânica do solo pode ser dividida em diferentes compartimentos quanto a sua labilidade. A determinação do teor de carbono lábil no sistema pode demonstrar a capacidade de proteção física desse elemento, já que esse material de maior labilidade pode ser perdido facilmente, essa estabilidade depende da recalcitrância molecular da matéria orgânica e da proteção física dos agregados à ação dos microrganismos e suas enzimas (CONCEIÇÃO et al., 2008; SILVA et al., 2011).

Outro método de avaliação da dinâmica da matéria orgânica do solo são os estudos de abundância natural do isótopo  $^{13}\text{C}$  ( $\delta^{13}\text{C}$ ) que são utilizados para determinar a origem do carbono presente no solo proveniente de florestas ou pastagem, a partir da observação que o solo tende a ter a mesma composição isotópica que a cobertura vegetal.

Essa composição isotópica se diferem entre as espécies do tipo C3 e C4, plantas do tipo C3 discrimina mais o  $^{13}\text{C}$ , tendo valores menores variando entre -24‰ a -38‰, por outro lado em plantas do tipo C4 há uma menor discriminação do isótopo  $^{13}\text{C}$  em relação a plantas do tipo C3, sendo observados valores maiores, entre -6‰ a -19‰ (ALVES et al., 2005; MARTINELLI et al., 2009).

Portanto, as avaliações do fracionamento do C do solo juntamente com sua labilidade, e origem podem proporcionar melhor entendimento da dinâmica da MO em diferentes sistemas de uso e manejo, e seus impactos nos teores e estoques de carbono e nitrogênio no solo.

Nesse sentido, objetivou-se nesse trabalho avaliar sistemas silvipastoris, pastagens e floresta em ambiente amazônico e seus impactos nos teores e estoques de C e N, nas frações particuladas, associadas a minerais da matéria orgânica e total, bem como na labilidade e sua composição isotópica por meio da abundância natural do  $^{13}\text{C}$  ( $\delta^{13}\text{C}$ ).

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Universidade Federal do Tocantins (UFT) no campus de Araguaína, localizado entre os paralelos 9213700 e 9213900 UTM-NS e meridianos 810500 e 810780 UTM-EW. O clima da região segundo a classificação de Köppen é do tipo Aw (quente e úmido), com período de estiagem de junho a setembro de temperatura e precipitação pluviométrica médias anuais de 28°C e 1800 mm respectivamente (ALVARES et al., 2013).

### 2.1. Identificação das áreas e tratamentos

O solo da área foi classificado como Argissolo Vermelho Eutrófico, onde foi implantado, em agosto de 2011, um experimento composto por duas áreas com diferentes níveis de sombreamento, formando sistema silvipastoril a partir da introdução de capim Mombaça em floresta secundária raleada.

Uma área foi de silvipastoril com 30% de sombreamento (SSP30%) (7.042,2 m<sup>2</sup>) mantida sobre adubação com 60 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de P, 90 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de K e 187,5 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de N. Essa área é mantida sob manejo de pastagem, com controle de altura de entrada (90 cm) e saída (30 cm). Outra área foi destinada ao tratamento silvipastoril com 60% de sombreamento (SSP60%) (7.526,2 m<sup>2</sup>), mantida sobre a mesma adubação utilizada no SSP30% até 2014. Nessa área, a partir de 2014 não houve manejo da pastagem e adubação, sendo usada apenas para pastejo animal esporadicamente, sem controle das alturas de entrada e saída.

As áreas formadas possuem histórico de mais de 25 anos de área abandonada onde formou-se floresta secundária composta principalmente por babaçu (*Attalea speciosa*, Mart), sendo realizado o raleamento de árvores para ajuste do sombreamento, determinada pela radiação global dentro de cada área de silvipastoril comparativamente a leituras realizadas a sol pleno (SP). Para esta avaliação utilizou-se luxímetro modelo LD 200 Instrutherm (radiação global). O cálculo expresso em % foi realizado a partir da seguinte fórmula (SILVA NETO, 2013):

$$\text{Sombreamento} = 100 - \left[ \frac{\text{sistema}}{\text{sol pleno}} \right] \times 100 \quad (1)$$

A pastagem degradada (MD) constitui-se de área cultivada com capim Mombaça, tendo sido anteriormente utilizada como parâmetro de produção em relação aos silvipastoris. Esta área recebeu a mesma adubação e manejo de pastagem das áreas de silvipastoris até 2014, quando esta foi conduzida sob manejo

inadequado com superpastejo, propiciando a degradação da pastagem, caracterizado pela alta infestação de plantas daninhas. Após a infestação, foi realizado cortes uniformes na tentativa de recuperação da pastagem.

Área adjacente aos tratamentos silvipastoris de floresta nativa (MN) também foi selecionada, sendo considerada como parâmetro para as avaliações dos demais sistemas. Outro tratamento foi uma área de capim Mombaça com manejo intensivo (MI) implantada em 2014. A pastagem foi estabelecida sob cultivo convencional, com retirada da vegetação secundária de espécies exóticas herbáceas e arbustivas existentes na área, posteriormente gradagem e correções do solo com aplicação de  $1,5 \text{ Mg ha}^{-1}$  de calcário e adubação com  $80 \text{ kg ha}^{-1}$  de N,  $100 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$  e  $70 \text{ kg ha}^{-1}$  de K. O manejo da pastagem adotado, envolve o corte mecânico a 20 cm do solo para produção de silagem, realizado a cada 30 dias de período de descanso.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado com cinco sistemas de manejo com quatro repetições. Os tratamentos consistem dos cinco sistemas de uso e manejo (silvipastoril com 30% de sombreamento (SSP30%); silvipastoril com 60% de sombreamento (SSP60%); mata nativa (MN); pastagem de mombaça degradada (MD); pastagem de mombaça com manejo intensivo (MI)).

## **2.2. Amostragem de solo**

As coletas foram realizadas com abertura de trincheira de 1 m de profundidade, em que, foram coletadas amostras deformadas em quatro profundidades (0-5; 5-15; 15-30; 60-100 cm), sendo que para cada repetição foram coletadas quatro amostras simples, e para cada tratamento foram coletadas quatro repetições em cada profundidade, para as análises de fracionamento da matéria orgânica. As amostras da profundidade de 30-60 cm foram determinadas por interpolação dos dados das camadas adjacentes.

Foram coletadas amostras indeformadas, em três trincheiras de cada tratamento, em todas as profundidades, para determinação da densidade do solo pelo método do anel volumétrico (EMBRAPA, 2009), tendo sido utilizada para cálculo dos estoques de C e N. Os dados de densidade do solo estão apresentados na tabela 1. As amostras deformadas foram armazenadas em sacos plásticos, transportadas ao Laboratório de Solos da UFT, pesadas, passadas em peneira de 2 mm para determinação de porcentagem de concreções na amostra. A caracterização do solo de cada tratamento é apresentada na tabela 2.

**Tabela 1.** Densidade aparente de Argissolo Vermelho Eutrófico sob diferentes usos em cinco profundidades (0-5, 5-15, 15-30, 30-60, 60-100 cm)

profundidade cm	SSP 30%	SSP 60%	MN	MD	MI
densidade do solo (g/cm <sup>3</sup> )					
0-5	1,45	1,35	1,29	1,53	1,56
5-15	1,48	1,41	1,37	1,54	1,54
15-30	1,47	1,38	1,42	1,41	1,53
30-60	1,54	1,27	1,33	1,24	1,32
60-100	1,52	1,26	1,40	1,10	1,27

SSP30%: Silvipastoril com 30% de sombreamento; SSP60%: silvipastoril com 60% de sombreamento; MN: mata nativa; MD: área de pastagem de mombaça degradado; MI: área de pastagem com mombaça sobre manejo intensivo.

**Tabela 2.** Caracterização química e física de Argissolo Vermelho Eutrófico sob diferentes usos, em quatro profundidades (0-5, 5-15, 15-30, 60-100 cm)

Sistemas	complexo sortivo					composição granulométrica				
	pH H <sub>2</sub> O	P	K	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	cascalho	areia grossa	areia fina	silte	Argila
		mg dm <sup>-3</sup>	cmolc dm <sup>-3</sup>	%	-----kg kg <sup>-1</sup> -----					
<b>0-5 cm</b>										
SSP30%	6,86	8,40	259	6,68	2,63	0,50	0,53	0,20	0,04	0,23
SSP60%	6,69	5,60	239	9,41	1,07	34,33	0,26	0,27	0,11	0,36
MN	6,17	0,90	129	7,63	1,76	16,63	0,26	0,30	0,09	0,35
MD	5,99	3,80	439	7,79	2,78	20,89	0,36	0,23	0,10	0,32
MI	6,38	3,60	289	9,20	4,38	6,70	0,13	0,14	0,14	0,60
<b>5-15 cm</b>										
SSP30%	6,60	1,20	99	3,96	0,74	3,45	0,52	0,19	0,04	0,25
SSP60%	6,55	0,80	101	6,59	0,96	60,81	0,27	0,22	0,13	0,38
MN	6,00	0,40	60	4,56	0,93	29,29	0,24	0,25	0,11	0,41
MD	6,13	0,70	105	8,27	2,51	23,41	0,36	0,21	0,09	0,34
MI	6,30	1,60	159	8,31	3,77	18,35	0,12	0,11	0,11	0,65
<b>15-30 cm</b>										
SSP30%	5,95	0,60	32	4,07	3,32	7,11	0,42	0,17	0,06	0,36
SSP60%	6,35	0,40	59	5,74	1,61	60,91	0,20	0,15	0,18	0,48
MN	5,91	0,30	37	4,10	0,79	32,06	0,20	0,17	0,09	0,55
MD	5,80	0,20	32	5,50	1,94	28,02	0,29	0,16	0,05	0,50
MI	5,46	0,50	60	5,67	3,11	15,33	0,08	0,07	0,08	0,77
<b>60-100 cm</b>										
SSP30%	5,39	0,40	26	2,33	1,16	11,34	0,25	0,11	0,06	0,57
SSP60%	5,94	0,80	55	5,64	2,61	39,05	0,12	0,11	0,27	0,50
MN	5,80	0,10	46	2,59	0,86	25,50	0,13	0,12	0,17	0,58
MD	5,50	0,10	23	5,98	4,77	38,18	0,29	0,13	0,16	0,41
MI	5,57	0,30	42	2,85	4,32	3,99	0,08	0,08	0,27	0,57

SSP30%: Silvipastoril com 30% de sombreamento; SSP60%: silvipastoril com 60% de sombreamento; MN: mata nativa; MD: área de pastagem de mombaça degradado; MI: área de pastagem com mombaça sobre manejo intensivo.

### 2.3. Fracionamento granulométrico da matéria orgânica e teores de C e N

As amostras foram submetidas ao fracionamento físico da matéria orgânica do solo em fração particulada e fração associada aos minerais (CAMBARDELLA; ELLIOTT, 1992). Para realização desse fracionamento foram utilizadas 10 g de TFSA, em tubo de centrifuga com tampa, adicionado uma bolinha de gude e o hexametáfosfato de sódio ( $5 \text{ g L}^{-1}$ ) para manutenção da dispersão das amostras.

Após 15 horas de agitação em agitador horizontal a 120 rpm e  $20^\circ\text{C}$ , as amostras foram passadas em peneiras com malha de  $53 \mu\text{m}$  (170 mesh), originando duas frações: a matéria orgânica particulada (MOP) é o material retido na peneira de  $53 \mu\text{m}$  que foi coletado em copo descartável de 200 mL. A matéria orgânica associada aos minerais (MAM), equivalente as frações silte e argila, é o material que passa pela peneira e foi coletado em copo descartável de 500 mL.

Estas duas frações foram secas em estufa a  $65^\circ\text{C}$ , pesadas e passadas em peneiras de 0,149 mm (100 mesh) para determinação das concentrações de C e N totais, em analisador elementar acoplado a um espectrômetro de massa de razão isotópica (IRMS).

### 2.4. Cálculo de estoque de carbono do solo

Após a determinação dos teores de C e N nas frações MOP e MAM, foram calculados os estoques desses elementos em cada fração, seguindo a metodologia de correção de massa equivalente do solo descrito por Ellert e Bettany (1995), associado a correção do fator pedregosidade, considerando o estoque de carbono da fração rochosa (ELLERT; BETTANY, 1995; DEMESSIE; SINGH; LAL, 2013). Primeiramente foi calculado a massa do solo de cada profundidade de cada tratamento:

$$M_{\text{solo}} = ds \times E \times A \quad (2)$$

Em que,  $M_{\text{solo}}$  é a massa do solo por unidade de área em cada camada avaliada ( $\text{Mg ha}^{-1}$ );  $ds$  é a densidade do solo em cada camada coletada ( $\text{g cm}^{-3}$ );  $E$  é a espessura de solo de cada camada (m);  $A$  é a unidade de área a ser utilizada ( $1 \text{ ha} = 10.000 \text{ m}^2$ ). Posteriormente foi realizado o cálculo de espessura de camada a ser adicionada ou subtraída dos diferentes tratamentos em relação a mata nativa, utilizando a seguinte formula:

$$E_{(ad|sub)} = (M_{ref.} - M_{area}) \times fha \div ds_{area} \quad (3)$$

Em que,  $E_{(ad|sub)}$  é a espessura da camada de solo a ser adicionada (+) ou subtraída (-) a camada da área (m);  $M_{ref.}$  é a massa equivalente do solo do tratamento referência ( $Mg\ ha^{-1}$ );  $M_{area}$  é a massa equivalente do solo de cada tratamento ( $Mg\ ha^{-1}$ );  $fha$  é a fator de conversão de ha para  $m^2$  ( $0,0001\ ha\ m^{-2}$ );  $ds_{area}$  é a densidade do solo na camada da área ( $g\ cm^{-3}$ ). Em seguida então é possível calcular os estoques de C e N a partir dos valores já obtidos de massa de solo e espessura de camada a ser adicionada ou subtraída a partir da seguinte equação:

$$ECS = [C_{conc} \times ds \times (E \pm E_{(ad|sub)}) \times 10 \times \%TFSA] + EFR \quad (4)$$

Em que, ECS é a estoque de carbono do solo em  $Mg\ ha^{-1}$ ;  $C_{conc}$  é a concentração de carbono da camada avaliada expresso em  $g\ kg^{-1}$ ;  $ds$  é a densidade da camada de solo ( $g\ cm^{-3}$ );  $E$  é a espessura da camada de solo (m);  $E_{(ad|sub)}$  é a espessura da camada de solo a ser adicionada (+) ou subtraída (-) a camada da área (m); 10 é o fator de conversão para área 1 ha ( $10000\ m^2$ ) e de kg para Mg ( $0,001$ ) gerando resultados em  $Mg\ ha^{-1}$ ; EFR é o estoque da fração rochosa, obtida a partir da seguinte formula:

$$EFR = [C_{concFR} \times ds \times E] \times \%FR \quad (5)$$

EFR é o estoque da fração rochosa ( $Mg\ ha^{-1}$ );  $C_{concFR}$  é a concentração de carbono da fração rochosa  $dag\ kg^{-1}$ ;  $ds$  é a densidade do solo ( $g\ cm^{-3}$ );  $E$  é a espessura da camada de solo (m);  $\%FR$  é a porcentagem de fração rochosa na amostra. O cálculo de estoque de C descrito anteriormente, foi utilizado para as análises de C e N neste trabalho.

## 2.5. Métodos de cálculo dos estoques de C do solo

Outros cinco métodos foram utilizados de acordo com Poeplau, Vos e Don (2017) para avaliação do efeito das correções nos cálculos de estoque. O método 1 (M1), o mais comumente utilizado, calcula os estoques a partir da relação entre densidade do solo, espessura da camada e concentração de carbono no solo, sem considerar qualquer tipo de correção quanto a densidade e porcentagem de cascalho e pedras (WANG et al., 2016; LI et al., 2018). Nesse método os estoques de C foram calculados pela seguinte equação:

$$ECS = C_{con.} \times DS \times ES \quad (6)$$

Em que, ECS é o estoque de carbono do solo;  $C_{con.}$  é a concentração de carbono no solo; DS é a densidade aparente do solo a partir do método do anel volumétrico; ES é a espessura da camada avaliada. O método dois (M2) foi o descrito

por Ellert e Bettany, (1995) e calcula os estoques de C a partir da massa de solo equivalente, nesse método corrige-se a espessura da camada de solo de acordo com alterações na densidade aparente, considerando mata nativa como referência. A partir da determinação da espessura de camada de solo a ser adicionada ou subtraída (equação 3), foi então calculado os estoques de C, de acordo com a seguinte equação:

$$ECS = C_{conc} \times ds \times (E \pm E(ad|sub)) \times 10 \quad (7)$$

Em que, ECS é o estoque de C do solo em Mg ha<sup>-1</sup>; C<sub>conc.</sub> é a concentração de C da camada avaliada expresso em g kg<sup>-1</sup>; E é a espessura da camada de solo (m); E(ad|sub) é a espessura da camada de solo a ser adicionada (+) ou subtraída (-) à camada da área (m); 10 é o fator de conversão para área 1 ha (10000 m<sup>2</sup>) e de kg para Mg (0,001) gerando resultados em Mg ha<sup>-1</sup>. O método 3 (M3) descrito por Don et al., (2007), diferencia dos métodos anteriores na forma de calcular a densidade do solo, pois considera a massa de solo e a massa e densidade de fragmentos rochosos (>2mm) em um volume de amostra.

$$DS_{solo\ fino} = \frac{massa\ amostra - massa\ FR}{Volume\ amostra - \frac{massa\ FR}{DS_{FR}}} \quad (8)$$

Em que, DS<sub>solo fino</sub> é a densidade do solo retirando a massa e densidade da fração rochosa em g dm<sup>-3</sup>; massa FR é a massa de fragmentos rochosos presente na massa total da amostra; DS<sub>FR</sub> é a densidade de fragmento de rocha, que nesse trabalho foi utilizado 2,6 g cm<sup>-3</sup> a mesma densidade determinada por Don et al., (2007). Com a determinação da densidade do solo fino calcula-se o estoque na formula:

$$ECS = C_{con.} \times DS_{solo\ fino} \times ES \quad (9)$$

Em que, ECS é o estoque de C do solo em Mg ha<sup>-1</sup>; C<sub>conc.</sub> é a concentração de C da camada avaliada expresso em g kg<sup>-1</sup>; DS<sub>solo fino</sub> = densidade do solo retirando a massa e densidade da fração rochosa g dm<sup>-3</sup> e E é a espessura da camada de solo (m). O método quatro (M4) considera a porcentagem da fração rochosa presente na amostra, realizando correção apenas desse fator, utilizando a densidade aparente do solo (SHRESTHA et al., 2004; FERNÁNDEZ-ROMERO; LOZANO-GARCÍA; PARRAS-ALCÁNTARA, 2014), calculando o estoque no seguinte modelo:

$$ECS = C_{conc} \times DS \times E \times 1 - (\%cascalho/100) \quad (10)$$

Em que, ECS é o estoque de C do solo em Mg ha<sup>-1</sup>; C<sub>conc.</sub> é a concentração de C da camada avaliada expresso em g kg<sup>-1</sup>; DS é a densidade aparente do solo; E é a espessura da camada de solo (m) e 1 - (%cascalho/100) é a correção do fator

pedregosidade. O método cinco (M) de determinação de estoque tem o mesmo padrão de fórmula do método 4 (eq. 10), porém utilizando a densidade do solo corrigida para o fator pedregosidade (eq. 8) descrito por Don et al., (2007).

$$ECS = C_{conc} \times DS_{solo\ fino} \times E \times 1 - (\%cascalho/100) \quad (11)$$

Em que, ECS é o estoque de C do solo em Mg ha<sup>-1</sup>; C<sub>conc</sub>. é a concentração de C da camada avaliada expresso em g kg<sup>-1</sup>; DS<sub>solo fino</sub> = densidade do solo retirando a massa e densidade da fração rochosa g dm<sup>-3</sup>; E é a espessura da camada de solo (m) e 1 - (%cascalho/100) é a correção do fator pedregosidade.

## 2.6. Análise da abundância natural do isótopo <sup>13</sup>C (δ<sup>13</sup>C)

A análise da abundância natural do isótopo <sup>13</sup>C (δ<sup>13</sup>C) do solo foi determinada em espectrômetro de massa de razão isotópica (ANCA GSL 20-20, Sercon, Crewe, UK). A razão isotópica foi expressa em partes por 1000 (‰) em relação ao padrão Pee Dee Belemnita (PDB), conforme a equação:

$$\delta^{13}C = \left( \frac{\frac{13_c}{12_c} amostra - \frac{13_c}{12_c} padrão}{\frac{13_c}{12_c} padrão} \right) \times 1000 \quad (12)$$

O compartimento de C da MOS derivado de planta C<sub>4</sub> foi calculado conforme Martinelli et al. (2009):

$$\%C_4 = \left( \frac{(\delta - \delta_s)}{\delta_p - \delta_s} \right) \times 100 \quad (13)$$

Em que, %C<sub>4</sub> é a porcentagem de C derivado de planta C<sub>4</sub>; δ é a abundância natural do <sup>13</sup>C nas amostras de solo; δ<sub>s</sub> é a abundância natural do <sup>13</sup>C nas amostras sem nenhuma contribuição das plantas C<sub>4</sub> com valor médio de -28,58‰, obtido a partir da coleta da serrapilheira da mata nativa da área referência; δ<sub>p</sub> é a abundância natural do <sup>13</sup>C nas amostras das plantas C<sub>4</sub> com média de -15,20‰, proveniente da serrapilheira da área de capim Mombaça em monocultivo. A contribuição percentual do C originário de planta C<sub>3</sub> foi calculada conforme equação abaixo:

$$\%C_3 = 100 - \%C_4 \quad (14)$$

Em que, % C<sub>3</sub> é a porcentagem de C derivado de planta C<sub>3</sub>; %C<sub>4</sub> é a porcentagem de C derivado de planta C<sub>4</sub>.

## 2.7. Teor de carbono lábil e índice de manejo de carbono (IMC)

Amostras de MOP e MAM foram moídas e passadas em peneiras de 0,149 mm (100 mesh), sendo utilizadas para determinação da concentração de C lábil utilizando

KMnO<sub>4</sub>. O C lábil (CL) foi determinado de acordo com (WEIL et al., 2003). utilizou-se aproximadamente 0,8 g em tubos de centrífuga de 50 mL, em seguida, adicionou-se 18 mL de água e 2 mL de solução de KMnO<sub>4</sub> (0,033 mol L<sup>-1</sup>). Os tubos foram imediatamente tampados e agitados em agitador horizontal por 30 minutos à 140 rpm e após esse período, os tubos foram abertos e deixados por 10 minutos para decantação, sendo pipetados 0,5 mL do sobrenadante para outro conjunto de tubos com 49,5 mL de água, sempre protegidos da luz. Após este procedimento foram realizadas as leituras em espectrofotômetro a 565 nm. O C não lábil (CNL) foi determinado pela diferença entre o CT e o CL.

A partir dos dados de C total, CL e CNL foi calculado o índice de manejo de C (IMC), utilizando os valores obtidos da mata nativa como referência, por meio da fórmula descrita por Blair et al., (1995):

$$IMC = \left[ \left( \frac{CT_1}{CT_2} \right) \times \left( \frac{\frac{CL_1}{CNL_1}}{\frac{CL_2}{CNL_2}} \right) \right] \times 100 \quad (15)$$

Em que: CT<sub>1</sub> é o C total do solo (amostra); CT<sub>2</sub> é o C total do solo da área referência (mata nativa); CL<sub>1</sub> é o C lábil do solo; CNL<sub>1</sub> é o C não lábil do solo; CL<sub>2</sub> é o C lábil do solo da área referência (mata nativa); e CNL<sub>2</sub> é o C não lábil do solo da área referência (mata nativa).

## 2.8. Análise estatística

A análise estatística foi realizada considerando os dados separadamente por camada de solo. Primeiramente foram submetidos a teste de normalidade e quando necessário foram transformados em Log (x). Em seguida foram realizadas as análises de variância e comparações de médias entre tratamentos, tendo sido aplicado o teste Duncan ao nível de 5% de probabilidade.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. Teores de C nas frações granulométricas da matéria orgânica

Os sistemas de manejo alteraram os teores de C da matéria orgânica particulado (C-MOP), associado a minerais (C-MAM) e total (CT) em todas as profundidades ( $P < 0,05$ ). A tabela 3 mostra que, em todo perfil avaliado exceto na última camada (60-100 cm) foi observada tendência de resposta, em que, o SSP60% apresentou maiores teores de C total, em média 31,84% maior que a MN, condição referência. Os tratamentos SSP30%, MN e MD não diferem entre si, porém o MD também não diferiu estatisticamente do MI, obtendo os menores valores para os teores de C total. Essa tendência de respostas foi observada nas profundidades de 0-5, 15-30 e 30-60 cm (Tabela 3).

Na profundidade de 5-15 apenas o SSP60% diferiu dos demais com os maiores teores de C total, sendo os demais sistemas (MN, SSP30%, MD e MI) semelhantes estatisticamente. Apenas na maior profundidade (60-100 cm) foi observada que os sistemas SSP60%, SSP30%, MN e MD não se diferem entre si, apresentando valores maiores de C Total em relação ao sistema MI.

Os valores de C total para todos os tratamentos são consideravelmente elevados, comparados a outros estudos de uso semelhantes e com teores de argila próximos (SILVA JÚNIOR et al., 2009; DEMESSIE; SINGH; LAL, 2013; LEITE et al., 2013; SACRAMENTO et al., 2013; CONCEIÇÃO et al., 2014). Os maiores teores de C total do SSP60% comparativamente a MI, podem estar relacionados à maior entrada de C proveniente da gramínea, a qual possui ciclo curto de senescência e proporciona rápida deposição de resíduos vegetais sobre o solo. Além disso, as gramíneas possuem sistema radicular abundante e proporcionam incremento C no solo (DESJARDINS et al., 2004; SILVA JÚNIOR et al., 2009).

Os sistemas SSP30% apresentou teores de C similares a MN (Tabela 3). O que mostra o potencial de manutenção da qualidade do solo. A menor deposição em relação a SSP60% pode estar relacionada a maior intensificação de uso dessa área com a contínua manutenção do manejo de pastagem e adubação, contribuindo para aumento da atividade microbológica, conseqüentemente, maior decomposição da matéria orgânica (LOZANO-GARCÍA; PARRAS-ALCÁNTARA, 2013; SANTOS, 2014; WANG et al., 2017).

No sistema MD os teores de C no solo foram similares aos da MN (Tabela 3). Provavelmente devido à alta densidade plantas daninhas, que por sua vez, pode ter contribuído com incremento de C no solo devido ao seu manejo, sendo realizada cortes com roçadeira na tentativa de recuperação da pastagem, esse material depositado sobre o solo e a morte de raízes que ocorre após o corte pode ter contribuído para entrada de carbono no sistema (SARMENTO et al., 2008; LOPES et al., 2011).

Os menores teores de C em todas as camadas de solo ocorreram em MI (Tabela 3), o que pode ser devido a menor entrada de resíduos e pelo plantio convencional, realizado na implantação da gramínea, com revolvimento do solo e conseqüentemente, maior exposição da MOS (CAMPOS et al., 2013). Além disso, ocorre maior taxa de decomposição e mineralização da MO, em resposta a maior atividade microbiana de solos sob manejo intensivo de fertilização no curto prazo (DEMESSIE; SINGH; LAL, 2013; BROOKES et al., 2017; LI et al., 2018).

O carbono da matéria orgânica particulado (C-MOP) diferiu entre os tratamentos, em todas as camadas de solo avaliadas ( $p < 0,05$ ). Na média entre todos os tratamentos, da primeira para a segunda camada, tem uma diminuição de 63,5% do teor de C-MOP, que diminui mais ainda nas profundidades seguintes. Mostrando que o C-MOP está relacionada a capacidade de deposição de resíduos culturais na superfície do solo (SANTOS et al., 2013; FACCIN et al., 2016).

Os maiores teores de C-MOP ocorreram no SSP60%, em todas as camadas de solo, que refletiu no maior teor de COT. Os valores de C-MOP possuem mais variações nas camadas superfícies, pois essa fração está diretamente ligada a materiais mais grosseiros (CAMBARDELLA; ELLIOTT, 1992). Esses resultados, principalmente nas camadas de 0-5 e 5-15 cm, pode ser proveniente do maior aporte em serrapilheira dentro desse sistema, aliado a característica de menor degradação de parte dos resíduos culturais advindos da gramínea, e que possuem maiores relações C/N (CONCEIÇÃO et al., 2014).

Diferente dos resultados de teor de CT, o MI foi o segundo maior em relação a C-MOP na camada de 0-5 e 5-15 cm (Tabela 3), o que torna evidente, que esse sistema tem alta capacidade de deposição de resíduos culturais na superfície do solo, pois não diferenciou do SSP60% e MN ( $p < 0,05$ ). A maior proporção de C no MI pode ser devido ao manejo da pastagem, com maior período de descanso, que propicia maior senescência das folhas velhas, aumentando os resíduos vegetais na superfície

do solo. os resíduos proveniente da gramínea possuem degradação mais lenta devido a maior relação C/N, podendo ficar mais tempo sobre a superfície do solo compondo a MOP (GAZOLLA et al., 2015; FACCIN et al., 2016).

**Tabela 3.** Teor de C em Argissolo Vermelho Eutrófico sob diferentes usos, em cinco profundidades (0-5, 5-15, 15-30, 30-60, 60-100 cm) nas frações da matéria orgânico particulado, associado a minerais e total

Profundidade cm	SSP 30%	SSP 60%	MN	MD	MI
<b>C Total g kg<sup>-1</sup></b>					
<b>0-5</b>	73,55 b	106,66 a	72,70 b	59,27 bc	50,42 c
<b>5-15</b>	29,50 b	43,51 a	29,91 b	34,99 b	29,32 b
<b>15-30</b>	18,51 b	24,89 a	20,45 b	16,79 bc	14,88 c
<b>30-60</b>	14,43 b	18,56 a	15,53 ab	13,34 bc	11,20 c
<b>60-100</b>	8,08 a	8,72 a	7,87 a	7,98 a	5,49 b
<b>C-MOP g kg<sup>-1</sup></b>					
<b>0-5</b>	13,53 d	41,51 a	23,16 bc	14,29 cd	24,68 ab
<b>5-15</b>	2,80 c	12,89 a	6,63 b	4,84 bc	11,23 a
<b>15-30</b>	1,98 c	8,72 a	4,07 b	3,25 bc	4,61 b
<b>30-60</b>	1,90 b	6,89 a	3,24 b	2,74 b	3,50 b
<b>60-100</b>	1,76 b	4,04 a	1,96 b	1,94 b	1,79 b
<b>C-MAM g kg<sup>-1</sup></b>					
<b>0-5</b>	60,02 a	65,14 a	49,55 b	44,99 b	25,75 c
<b>5-15</b>	26,71 ab	30,62 a	23,27 b	30,15 a	18,09 c
<b>15-30</b>	16,53 a	11,67 a	16,38 a	13,53 ab	10,27 b
<b>30-60</b>	12,53 a	11,67 a	12,29 a	10,60 a	7,70 b
<b>60-100</b>	6,32 a	4,68 ab	5,92 a	6,04 a	3,70 b

CT: carbono total; C-MOP: C da matéria orgânico particulado; C-MAM: C da matéria orgânico associado aos minerais; SSP30%: sistema silvipastoril com 30% de sombreamento; SSP60%: sistema silvipastoril com 60% de sombreamento; MN: mata nativa; MD: área de pastagem degradada com capim mombaça; MI: área de pastagem sobre manejo intensivo com capim mombaça. Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si, pelo teste Duncan a 5% de probabilidade.

O sistema SSP30% foi o que proporcionou menores teores de C-MOP até a profundidade de 15-30 cm (Tabela 3). Esse resultado pode ser proveniente do uso e manejo na área e de fatores que favoreceram a mais rápida degradação do material mais grosseiro (> 53 µm), como pisoteio, temperatura e umidade.

A adubação continua também pode ter favorecido a maior atividade microbiana e com isso, rápida degradação, tanto do material mais lábil quanto do recalcitrante, sendo que o C advindo dessa decomposição está na fração mais protegida da matriz do solo. Os maiores teores de C-MAM que podem propiciar uma das principais características de estabilização da MO, a formação de pontes de ligação entre a

matéria orgânica do solo (MOS) e os filossilicatos (COTRUFO et al., 2013; KANTOLA; MASTERS; DELUCIA, 2017).

A partir da camada de 30-60 cm os valores de C-MOP da MN, MD, MI e SSP30% não diferiram entre si ( $p < 0,05$ ). Apenas o SSP60% apresentou maiores valores de C-MOP em profundidade (Tabela 3), o que pode ser relacionado às maiores quantidades de C provenientes das raízes. Pois a liberação de exsudatos pelas raízes aumentam a atividade microbiana, que produzem agentes cimentantes unindo as partículas de solo, que podem proporcionar estabilização de agregados (ROZANE et al., 2010; VICENTE et al., 2012; ONTL et al., 2015). Agregados mais estáveis são inversamente proporcional a densidade do solo, sendo que no SSP60% obteve as menores densidades de solo (BRANDÃO; SILVA, 2012; WENDLING et al., 2012).

O C da fração da matéria orgânica associada a minerais (C-MAM) não apresentou diferenças ( $p > 0,05$ ) entre os tratamentos SSP30% e SSP60% em todas as camadas avaliadas, sendo que na camada de 0-5 cm as médias entre desses tratamentos foram de 60,02 e 65,14 g kg<sup>-1</sup> de C respectivamente, diminuindo em média 24,46% para os sistemas MN e MD que não diferiram e 58,85% para o sistema MI que teve o menor teor de carbono na MAM (Tabela 3).

A partir da camada de 15-30 cm não existem diferenças entre SSP30%, SSP60%, MN e MD para o teor de C-MAM ( $p > 0,05$ ). O sistema MI obteve os menores valores de MAM em todas as camadas em relação aos demais tratamentos (Tabela 3). As áreas de pastagem recém-implantadas sob manejo intensivo de adubação e corte de forragem, podem proporcionar decréscimo de teor de C do solo com a menor proporção C-MAM. A perda de C proveniente dessa fração pode estar associada ao manejo de implantação da pastagem e suas práticas tais como o revolvimento do solo, que proporciona maior exposição a ação de microrganismos decompositores e aumento da mineralização pela intensificação da adubação (KHAN et al., 2007; MULVANEY; KHAN; ELLSWORTH, 2009). Porém, segundo Brookes et al., (2017) a ação dos microrganismos sobre o C do solo ainda é incerta e precisão mais estudos que priorizem o entendimento da dinâmica da mineralização do C e sua utilização microbiana.

### **3.2. Métodos de determinação de estoque de carbono do solo**

Para avaliação dos métodos de cálculo de estoques de C do solo (ECS), foi realizado o somatório dos ECS de todas as profundidades, nos seus respectivos

tratamentos e repetições, sendo vinte repetições em cada método. Na figura 3 estão apresentados os ECS com diferença significativa entre os métodos. Considera-se o método cinco (M5) o mais próximo da condição real da área, o qual apresentou o menor ECS com média de 155,52 Mg ha<sup>-1</sup>.

O método 1 (M1), superestimou o ECS em 54,49% em relação ao M5, com média de ECS de 240,26 Mg ha<sup>-1</sup>. O método 2 (M2) apresentou valor de ECS de 234,19 Mg ha<sup>-1</sup> e não diferiu do M1 ( $p > 0,05$ ). M2 superestimou o ECS em 50,65% em relação ao M5. Os métodos M1 e M2, não levam em consideração a porção de fragmentos de rochas (FR) presentes no solo. Quanto maior a proporção de FR, maior será a diferença entre os métodos, o que foi observado por Poeplau, Vos e Don (2017), que comparando os métodos de determinação de ECS chegaram a superestimação de 144% do M1 em relação ao M5 em porcentagem de FR maior que 30%.

Na média geral das áreas desse experimento, a porcentagem de fragmentos de rocha foi de 24,37%. A menor porcentagem de FR nesse estudo, pode ter contribuído para menor superestimação, comparado ao observado por Poeplau, Vos e Don (2017). Considerando que quanto maior a presença de FR, maior será a diferença entre os métodos de determinação de ECS.

Apesar de M1 e M2 serem semelhantes, o M2 apresenta menor resultado ECS, e não difere também do método 3 ( $p > 0,05$ ). Mostrando que o fator de correção utilizado pelo M2, proporciona diminuição dos ECS em relação ao M1. O M2 foi descrito por Ellert e Bettany (1995), e calcula a massa equivalente do solo, ajustando a espessura da camada de solo, para corrigir erros introduzidos devido a variação na densidade aparente, principalmente em áreas que comparam diferentes sistemas de uso e manejo como foi nesse trabalho.

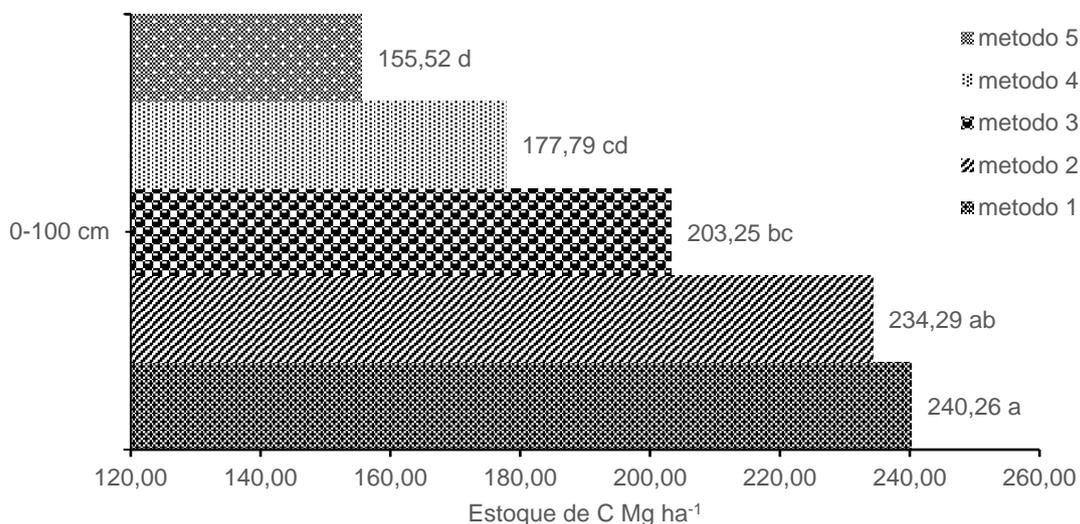
Em trabalho realizado comparando os métodos M1 e M2, Schrumpf et al., (2011), apesar de não encontrarem diferença ( $p > 0,05$ ), eles indicam que utilizar o M2 acentua as diferenças de estoque entre áreas diferentes, atribuindo isso a relação negativa existente entre concentração de C e densidade do solo.

Embora tenha encontrada pouca diferença entre M1 e M2, recomenda-se utilizar o M2, para que as mudanças na densidade solo possam ser corrigidas, principalmente quando objetiva-se avaliar áreas com diferentes uso e manejo do solo e em diferentes profundidades, em áreas com baixo porcentagem de pedras.

O método 3 (M3) também proporcionou diferença ( $p < 0,05$ ) em relação ao M5 e superestimou em 30,69% os valores de ECS. O M3 é um dos métodos que inclui a

participação da FR nos cálculos de estoque, esse método descrito por (DON et al., 2007) diferencia do método M1, pela forma de determinação da densidade aparente do solo, o qual considera a densidade da FR (massa volume<sup>-1</sup>), que foi em média 2,6 g dm<sup>-3</sup>, e também utiliza a massa da fração rochosa.

Apesar da correção considerar a densidade da FR, o M3 ainda tem alta superestimação do ECS em relação ao M5. O que ocorre devido ao M5 além de determinar a densidade aparente, com valores de massa e densidade da fração rochosa, considera também a porcentagem da FR na massa total do solo, o que explica a maior diferença entre os diferentes métodos quanto maior for a porcentagem de rochas.



**Figura 1.** Métodos de cálculo de estoque carbono em Argissolo Vermelho Eutrófico sob diferentes usos na profundidade de 0-100 cm. Médias seguidas pela mesma letra, não diferem entre si, pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

O método 4 (M4) não diferiu do M5 ( $p > 0,05$ ), que é considerado o mais representativo da real situação do solo (Figura 3). Porém o M4, também não difere do M3, tendo resultado intermediário entre M5 e M3, com valor de ECS do M4 de 177,79 Mg ha<sup>-1</sup>. O M4 proporciona valores de ECS 14,32% menores que o M3 e superestima o ECS em 14,32% em relação ao M5.

Em relação ao fator de correção da FR, o cálculo utilizado no M4, tem maior impacto na diminuição do ECS do que o utilizado pelo M3. O fator de correção do M4, é a retirada da porcentagem da FR na amostra de solo (SHRESTHA et al., 2004; LOZANO-GARCÍA; PARRAS-ALCÁNTARA, 2013), diminuindo a massa de TFSA da

amostra, aumentando a diferença entre massa e volume, causando efeito de diluição do teor de C, que resulta em menor ECS em áreas com maior porcentagem de FR.

### **3.3. Estoque de carbono nas frações granulométricas da matéria orgânica**

Os estoques de C total do solo (ECT) e das frações MOP e MAM usados para comparação entre as áreas em cada profundidade são apresentados na Tabela 4. Os cálculos para determinar os estoques foram realizados a partir das correções para massa equivalente do solo, que corrige as diferenças de densidades aparente entre os sistemas e as camadas de solo (ELLERT; BETTANY, 1995). Além das correções pela presença das frações rochosas, pois existe influência direta do fator pedregosidade nos estoques de C do solo (DEMESSIE; SINGH; LAL, 2013).

Os maiores ECT na camada de 0-5 cm de profundidade foram observados em SSP30% e SSP60% com média de 45,72 Mg ha<sup>-1</sup> (Tabela 4). A mata nativa (MN) apresentou valores de estoque de C intermediários, em torno de 38,86 Mg ha<sup>-1</sup>, sendo semelhantes aos sistemas com maior ECT (SSP30%, SSP60%). A MN também não se difere dos sistemas MD e MI, os quais apresentam os menores estoques de C com média de 30,22 Mg ha<sup>-1</sup> sendo semelhantes estatisticamente ( $p > 0,05$ ).

Esse resultado mostra que os sistemas silvipastoris possuem alta capacidade de incremento de C no solo, até mesmo em relação a área referência (MN) e mesmo tendo sido observado elevadas proporções.

Os maiores ECT podem estar relacionados ao aporte de material proveniente das gramíneas principalmente pelo sistema radicular, favorecendo entrada de C com a senescência de raízes (RANGEL; SILVA, 2007). Além da qualidade desse material adicionado ao solo pelas gramíneas (alta relação C/N), que favorece a diminuição da sua velocidade de decomposição, podendo proporcionar incremento de C após a decomposição dos resíduos (COSTA et al., 2015; FACCIN et al., 2016).

Na segunda camada de solo avaliada (5-15 cm) os maiores valores de ECT ocorreram em SSP30% em torno de 39,08 Mg ha<sup>-1</sup>, camada essa que apresenta menores proporções de concreções em relação aos demais tratamentos (Tabela 4). MD e MI não diferiu do SSP30% apresentando valores intermediários (34,71 Mg ha<sup>-1</sup>) igualando-se ( $p > 0,05$ ) também ao MN e SSP60% os quais apresentaram menores valores de ECT respectivamente com média de 29,17 Mg ha<sup>-1</sup> e 23,07 Mg ha<sup>-1</sup>.

A partir dessa profundidade (5-15 cm) verifica-se a maior influência da presença de concreções (cascalho) nos estoques de C, o que diminui com o aumento das

proporções de concreções. Entre os sistemas estudados o SSP60% a MN e o MD, possuem as maiores proporções de cascalhos e os menores estoques de C.

O efeito de diluição existente, é evidente, mesmo com os maiores teores de C no solo em todas as camadas avaliadas, o SSP60% apresentou os menores estoques de C a partir da segunda camada, onde as proporções de cascalho foram maiores, diminuindo assim a massa de solo. Esse mesmo efeito foi observado por SANTANA, (2015) que mostra a importância da quantificação da pedregosidade na estimativa de estoques. Entretanto, a primeira camada de solo mostra a eficiência do SSP60% no aumento dos estoques de C.

Nas profundidades de 15-30 cm e 30-60 cm, o SSP30% foi superior a todos os outros tratamentos (Tabela 4), igualando a MN, MD e MI ( $p>0,05$ ). Estes tratamentos apresentaram valores intermediários e também não diferem estatisticamente do sistema SSP60%, o que apresentou os menores estoques de C nessas profundidades.

Na última camada de solo avaliada (60-100 cm), apenas o SSP30% foi superior a todos os demais tratamentos (MN, MD, MI e SSP60%), os quais não diferem entre si ( $p>0,05$ ). A tendência de se igualarem nas últimas profundidades também foi observado nos estoques de C da MOP, o que mostra a influência dessa fração nos valores totais de estoque de C.

Na tabela 4 também são apresentados os resultados dos estoques de C da MOP (ECMOP), mostrando a influência dos materiais mais grosseiros na deposição de C no solo. Na camada superficial do solo (0-5 cm), o SSP60% e MI foram os que apresentaram maiores valores de ECMOP, sendo iguais entre si ( $p>0,05$ ), com médias de  $16,95 \text{ Mg ha}^{-1}$  e  $14,82 \text{ Mg ha}^{-1}$  respectivamente. Os menores ECMOP foram nos sistemas SSP30% e MD, tendo em média,  $8,67$  e  $7,22 \text{ Mg ha}^{-1}$  de ECMOP e não diferindo entre si ( $p>0,05$ ). Na MN, a média de ECMOP foi de  $12,30 \text{ Mg ha}^{-1}$ , sendo este valor intermediário, não diferindo ( $p>0,05$ ) dos sistemas de maior (SSP60%, MI) e menor ECMOP (SSP30%, MD).

Na camada de 5-15 cm, o MI obteve os maiores valores de ECMOP sendo superior a todos os demais tratamentos com média de  $12,37 \text{ Mg ha}^{-1}$ . Já os SSP60%, MN e MD não diferiram entre si ( $p>0,05$ ), com valores de ECMOP respectivamente  $6,74$ ,  $6,49$  e  $4,91 \text{ Mg ha}^{-1}$ . O MD também não diferiu do SSP30%, o que obteve o menor ECMOP, aproximadamente com média de  $3,70 \text{ Mg ha}^{-1}$ .

Na camada de 15-30 cm os valores seguiram a mesma tendência da camada de 5-15 cm, com MI superior aos demais tratamentos, com média de ECMOP de 8,39 Mg ha<sup>-1</sup>, porém igual ao SSP60% e MN, respectivamente, com valores de ECMOP de 6,97 e 5,73 Mg ha<sup>-1</sup>. Os menores ECMOP foram no MD e SSP30% que não diferem entre si ( $p>0,05$ ), com média de 4,81 e 3,96 Mg ha<sup>-1</sup> respectivamente.

**Tabela 4.** Estoques de C em Argissolo Vermelho Eutrófico sob diferentes usos, em cinco profundidades (0-5, 5-15, 15-30, 30-60, 60-100 cm) nas frações da matéria orgânica particulado, associado a minerais e total

Profundidade (cm)	SSP30%	SSP60%	MN	MD	MI
<b>C total Mg ha<sup>-1</sup></b>					
<b>0-5</b>	47,15 a	44,30 a	38,86 ab	30,17 b	30,26 b
<b>5-15</b>	39,08 a	23,07 c	29,17 bc	36,93 ab	32,49 ab
<b>15-30</b>	36,74 a	20,21 b	30,60 ab	25,91 ab	26,79 ab
<b>30-60</b>	52,56 a	34,68 b	44,54 ab	36,23 b	39,79 ab
<b>60-100</b>	39,83 a	29,48 b	32,69 b	26,93 b	29,40 b
<b>C da MOP Mg ha<sup>-1</sup></b>					
<b>0-5</b>	8,67 b	16,95 a	12,30 ab	7,22 b	14,82 a
<b>5-15</b>	3,70 c	6,74 b	6,49 b	4,91 bc	12,37 a
<b>15-30</b>	3,96 c	6,97 ab	5,73 ab	4,81 bc	8,39 a
<b>30-60</b>	6,89 b	12,68 a	8,94 ab	7,44 b	12,61 a
<b>60-100</b>	8,57 a	13,49 a	8,06 a	7,11 a	9,79 a
<b>C da MAM Mg ha<sup>-1</sup></b>					
<b>0-5</b>	38,49 a	27,35 b	26,57 b	22,95 b	15,44 c
<b>5-15</b>	35,38 a	16,36 b	22,71 b	32,02 a	20,13 b
<b>15-30</b>	32,78 a	13,29 c	24,89 ab	21,13 bc	18,42 bc
<b>30-60</b>	45,68 a	22,06 c	35,62 ab	28,84 bc	27,19 bc
<b>60-100</b>	31,27 a	16,01 c	24,64 b	19,85 bc	19,61 bc
<b>Concreções (%)</b>					
<b>0-5</b>	0,67 d	34,33 a	16,64 bc	20,89 b	6,70 cd
<b>5-15</b>	3,45 c	60,81 a	29,29 b	23,42 b	18,35 bc
<b>15-30</b>	7,11 c	60,91 a	32,06 b	28,02 b	15,33 bc
<b>30-60</b>	8,77 c	52,36 a	29,50 b	31,99 b	10,90 c
<b>60-100</b>	11,35 bc	39,06 a	25,50 ab	38,18 a	5,33 c

CT: carbono total; C-MOP: C da matéria orgânica particulado; C-MAM: C da matéria orgânica associado aos minerais; Concreções (%): fração de fragmentos rochosos maior que 2mm; SSP30%: sistema silvipastoril com 30% de sombreamento; SSP60%: sistema silvipastoril com 60% de sombreamento; MN: mata nativa; MD: área de pastagem degradada com capim mombaça; MI: área de pastagem sobre manejo intensivo com capim mombaça. Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si, pelo teste Duncan a 5% de probabilidade.

Na camada de 30-60 cm, o SSP60% e MI não diferem entre si ( $p>0,05$ ), apresentando os maiores valores de ECMOP, com média de 12,68 e 12,61 Mg ha<sup>-1</sup>. A MN não diferiu ( $p>0,05$ ) dos tratamentos com maiores ECMOP, porém, obteve valor

intermediário, com média de 8,94 Mg ha<sup>-1</sup>, igualando-se ( $p>0,05$ ) aos tratamentos com menores valores de ECMOP.

Os menores ECMOP foram no MD e SSP30%, com médias de ECMOP, 7,44 e 6,89 Mg ha<sup>-1</sup> respectivamente. A diferença de ECMOP entre os tratamentos, nas primeiras profundidades, são associadas a deposição de serrapilheira na superfície do solo. Já em maiores profundidades, pode estar relacionada a produção de exsudatos e senescência de raízes.

Na última camada de solo (60-100 cm) não houve diferenças ( $p>0,05$ ) entre os tratamentos, mostrando que a partir dessa profundidade, o ECMOP torna-se menos eficiente em diferenciar os sistemas. Esses resultados podem ser devido à diminuição da presença de material mais grosseiro ( $> 53 \mu\text{m}$ ).

Os valores de estoque de C da MAM estão presentes na tabela 4. SSP30% foi superior aos demais tratamentos em todas as camadas avaliadas. Devido a influência da fração MAM, proporcionou os maiores estoques de C total, pois, foi o sistema com menores valores de ECMOP.

O aumento do ECMAM pode estar relacionado à diminuição do ECMOP. O material mais grosseiros, que compõem a MOP, é decomposto em partículas menores, mais recalcitrantes por serem provenientes das gramíneas, tendo assim decomposição mais lenta, favorecendo o aumento da ligação dos carbonos às partículas minerais do solo (SILVA e MENDONÇA 2007; LOSS et al., 2011; GAZOLLA et al., 2015). Além disso, o manejo de adubação do SSP30%, com aplicações de N por ciclos de pastejo, podem promover aumento de frações mais estáveis, como a fração MAM da MOS (FACCIN et al., 2016).

Os tratamentos SSP60% e MI, não diferiram entre si ( $p>0,05$ ), apresentaram menores valores ECMAM em todas as profundidades. Para MI, a perda de C do solo, pode ser devido ao uso de cultivo convencional na implantação da pastagem, contribuído para rápida degradação da MO e perda do C associado aos minerais. Porém é possível que este sistema futuramente possa atuar como conservacionista pois proporcionou maior deposição de ECMOP, isso pode aumentar o estoque de carbono no solo com maior tempo de uso desse sistema, sendo que posteriormente esse material pode compor o ECMAM.

O ECMAM no SSP60% foi afetado diretamente pelo fator pedregosidade sendo este sistema que possui maiores proporções de cascalhos em todas as profundidades

(Tabela 4). A área do SSP60% possui proporções de cascalhos superiores ao SSP30% e MI em média 44,34% e 82,00% respectivamente.

O ECMAM no SSP60%, foi mais afetado do que a ECMOP pelo fator pedregosidade, devido aos teores da fração MAM não diferirem tanto quanto os teores da fração MOP. Ou seja, mesmo com o efeito da presença de cascalho na fração MOP, devido a diferenças serem significativamente maiores entre os tratamentos, as mesmas tendências de respostas dos teores, foram observados no ECMOP. Já no ECMAM pelo fato dos valores de teor de carbono na fração MAM possuírem menor diferença entre os tratamentos proporcionou maior efeito de diminuição do ECMAM pelo fator pedregosidade.

Tanto no SSP60% quanto no MI, os menores estoques de C total, foram influenciados pelos menores estoques de C da fração MAM (Tabela 4). Esta fração está ligada a estabilidade dos agregados do solo, por seu avançado estágio de humificação e interação com a fração mineral, fornecendo proteção física à matéria orgânica, por estarem no interior dos microagregados.

Portanto, além da entrada de C pela fração MOP, pelo fluxo contínuo de deposição de serrapilheira, é de grande importância o aumento ou manutenção dos teores e estoques de C na fração MAM, para prevenir a exaustão da MOS e consequente início da degradação do solo, pois a fração MOP possui maior facilidade de perda, podendo ser mais facilmente alterado pelo uso e manejo do solo do que a fração MAM (BAYER et al., 2004; CARMO et al., 2012; LOZANO-GARCÍA; PARRAS-ALCÁNTARA, 2013; DEBASISH; KUKAL; BAWA, 2014; FACCIN et al., 2016).

### **3.4. Teor de nitrogênio nas frações granulométricas da matéria orgânica**

Na tabela 5 são apresentados os teores de N total e nas frações da MOP e MAM. Houve diferença ( $p < 0,05$ ) entre os tratamentos em todas as profundidades em relação aos teores de nitrogênio total (NT). Na primeira camada de 0-5 cm, os tratamentos SSP60% e SSP30%, apresentaram os maiores teores de NT, não diferindo entre si ( $p > 0,05$ ). O tratamento SSP30% também não diferiu da MN e MD. Nessa mesma camada de solo o MI apresentou os menores teores de NT, com a mesma tendência de resposta dos teores de C total, evidenciando que, quanto maior o teor de carbono orgânico no solo maior o teor de nitrogênio, o mesmo foi observado por Rangel e Silva (2007).

Na camada de 5-15, o sistema SSP60% teve os maiores valores de teor de NT, diferindo dos demais tratamentos ( $p < 0,05$ ). SSP30% e MD não diferiram entre si quanto aos teores de NT, com média de 2,94 e 3,16 g kg<sup>-1</sup> de NT respectivamente. A MN e MI não diferem entre si ( $p > 0,05$ ), sendo os tratamentos com menores teores de NT. A partir dessa camada de solo (5-15 cm) o SSP30%, SSP60%, MN e MD não diferem entre si, sendo estes maiores que o sistema MI.

Os teores de nitrogênio na fração MOP (N-MOP) são apresentados na tabela 5. A diferença entre os tratamentos até a profundidade de 30-60 cm, sendo todos iguais ( $p > 0,05$ ) na última camada de solo avaliada (60-100 cm). Os valores de N-MOP assim como o NT, tendo a mesma tendência de resposta dos teores de C da MOP. É evidente, que o teor de carbono tem relação direta com o teor de nitrogênio na MOP. A fração MOP é mais lábil devido a sua maior exposição a ação dos microrganismos decompositores da MO (SALTON et al., 2011).

**Tabela 5.** Teores de N em Argissolo Vermelho Eutrófico sob diferentes usos, em cinco profundidades (0-5, 5-15, 15-30, 30-60, 60-100 cm), nas frações da matéria orgânico particulado, associado a minerais e total

Profundidade (cm)	SSP 30%	SSP 60%	MN	MD	MI
	<b>N total g kg<sup>-1</sup></b>				
<b>0-5</b>	6,46 ab	7,62 a	5,72 b	5,28 b	3,67 c
<b>5-15</b>	2,94 bc	3,56 a	2,61 cd	3,16 ab	2,12 d
<b>15-30</b>	1,80 a	1,85 a	1,72 a	1,52 ab	1,13 b
<b>30-60</b>	1,43 a	1,36 a	1,30 a	1,25 a	0,88 b
<b>60-100</b>	0,86 a	0,60 b	0,66 ab	0,82 a	0,49 b
	<b>N-MOP g kg<sup>-1</sup></b>				
<b>0-5</b>	0,78 b	2,10 a	1,36 ab	1,01 b	1,30 ab
<b>5-15</b>	0,13 c	0,51 ab	0,30 bc	0,31 bc	0,54 a
<b>15-30</b>	0,07 c	0,31 a	0,16 bc	0,19 ab	0,22 ab
<b>30-60</b>	0,09 c	0,25 a	0,14 bc	0,17 ab	0,18 ab
<b>60-100</b>	0,11 a	0,17 a	0,10 a	0,14 a	0,11 a
	<b>N-MAM g kg<sup>-1</sup></b>				
<b>0-5</b>	5,67 a	5,51 a	4,36 b	4,26 b	2,38 c
<b>5-15</b>	2,81 a	3,05 a	2,31 b	2,85 a	1,58 c
<b>15-30</b>	1,73 a	1,54 a	1,56 a	1,33 ab	0,91 b
<b>30-60</b>	1,34 a	1,11 a	1,17 a	1,07 a	0,71 b
<b>60-100</b>	0,74 a	0,43 b	0,56 ab	0,67 a	0,39 b

N total: teor de N total; N-MOP: teor de N na fração MOP; N-MAM: teor de N na fração MAM; SSP30%: Silvopastoril com 30% de sombreamento; SSP60%: silvopastoril com 60% de sombreamento; MN: mata nativa; MD: área de pastagem degradada com capim mombaça; área de pastagem com mombaça sobre manejo intensivo. Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

Na camada de 0-5 cm o SSP60%, MN e MI, não diferem entre si ( $p>0,05$ ) e apresentaram os maiores teores de N-MOP, com valores médias de 2,10, 1,36 e 1,30  $\text{g kg}^{-1}$  respectivamente. MD e SSP30% foram inferiores aos demais tratamentos, com média 0,89  $\text{g kg}^{-1}$  de N. A partir da camada de 5-15 cm, há diminuição mais acentuada de N-MOP na MN, que não diferiu do SSP30%. Estes tratamentos proporcionam os menores teores de N-MOP, até a profundidade de 30-60 cm. SSP60% apresentou os maiores teores de N-MOP em todas as camadas de solo.

Os menores teores de N na fração MAM (N-MAM) foram no MI, em todas as camadas de solo, assim como nos teores de C (Tabela 5). A perda de N total e nas frações no MI, pode ter ocorrido devido ao manejo da adubação nitrogenada. Que proporciona a maior atividade dos microrganismos do solo, os quais, utilizam C dos resíduos vegetais e da MOS, diminuindo o armazenamento de C e N no solo (KHAN et al., 2007).

Os menores teores de N, podem também ser explicado a partir do estudo de Mendham et al., (2004), que avaliando taxa de mineralização da MOP em pastagem e plantações de eucalipto, mostraram que na pastagem obtiveram maior taxa de mineralização do C e N, e a maior oxidação da MO.

Os teores de N-MAM, apresentaram diferenças entre os tratamentos nas duas primeiras camadas de solo (0-5, 5-15 cm). SSP60% e SSP30% apresentaram os maiores teores de N-MAM, com médias de 5,51 e 5,67  $\text{g kg}^{-1}$  respectivamente. MN e MD não diferiram entre si ( $p>0,05$ ), com valores médios de N-MAM respectivamente de 4,36 e 4,26  $\text{g kg}^{-1}$  (Tabela 5).

Os resultados de N total, N da fração MOP e MAM, seguiram mesmas tendências de respostas do teor de C (Tabela 3). No SSP30% o teor de N encontra-se mais associado a fração MAM, sendo esta forma mais recalcitrante e contribui significativamente no teor de NT, mostrando que, quantitativamente, a fração que mais contribui para composição de N e C total foi a fração MAM.

Assim como o SSP60% que possuindo maiores teores de MOP e MAM foi o sistema com maior aporte de C e N totais, o mesmo observado por Mendham et al., (2004). Sendo que, a proporção C e N na fração particulada foi menor do que a recuperação total de matéria não particulada, indicando que o material de argila e silte apresentava uma maior concentração de C e N em uma base unitária.

### 3.5. Estoque e nitrogênio nas frações granulométricas da matéria orgânica

Os estoques de nitrogênio total (ENT) (Tabela 6), apresentaram diferença entre os tratamentos ( $p < 0,05$ ). Na profundidade de 0-5 cm, o sistema SSP30% apresentou o maior ENT, com média de  $4,14 \text{ Mg ha}^{-1}$ . SSP60%, MN e MD não se diferiram entre si ( $p > 0,05$ ), os valores de ENT variaram de 2,69 a  $3,17 \text{ Mg ha}^{-1}$ . MI apresentou os menores ENT, com média de  $2,20 \text{ Mg ha}^{-1}$ .

Nas profundidades de 5-15 e 15-30 cm, os tratamentos SSP60% e MI, apresentaram as menores médias de ENT, não diferindo da MN, que possui valores intermediários de ENT ( $2,55 \text{ Mg ha}^{-1}$ ). MN também não diferiu do MD, o que apresentou média de  $3,35 \text{ Mg ha}^{-1}$ . MD não diferiu do SSP30%, o que apresentou os maiores ENT ( $3,90 \text{ Mg ha}^{-1}$ ). Nas camadas 30-60 e 60-100 cm, não houve diferença entre os tratamentos SSP60%, MN, MD e MI ( $p > 0,05$ ), com médias de ENT variando de 2,06 a  $3,76 \text{ Mg ha}^{-1}$ , as quais foram inferiores ao sistema SSP30%, com média de 5,21 e  $4,24 \text{ Mg ha}^{-1}$  de N nas camadas 30-60 e 60-100 cm, respectivamente.

As alterações ocorridas do teor de N para estoque de N, são relacionadas ao fator de pedregosidade, adicionado aos cálculos de determinação dos estoques. Fazendo com que, a massa de solo diminua, devido a proporção de cascalhos (concreções) presentes no solo, proporcionando a diminuição dos estoques de N.

Na tabela 6 também são apresentados os resultados de estoque de N na fração MOP. Não houve diferença ( $p > 0,05$ ) entre os tratamentos SSP30%, SSP60%, MN e MD nas camadas de 0-5 cm e 60-100 cm. nas profundidades de 5-15, 15-30 e 30-60 cm, o MI foi superior aos demais tratamentos. Evidencia-se que, caso não sejam corrigidos, os estoques de C e N podem ser superestimados.

Os estoques de N-MAM proporcionaram diferença entre os tratamentos ( $p < 0,05$ ). Em todas as profundidades o sistema SSP30% apresentou as maiores médias de estoque de N, variando de 3,68 a  $4,90 \text{ Mg ha}^{-1}$  de N. SSP60% e MI não diferiram entre si ( $p > 0,05$ ) e apresentaram os menores estoques de nitrogênio na fração MAM, com médias entre 1,43 a  $2,31 \text{ Mg ha}^{-1}$  de N-MAM. MD e MN foram iguais estatisticamente e apresentaram valores intermediários de N-MAM, com médias variando de 2,18 a  $2,91 \text{ Mg ha}^{-1}$ .

Os maiores estoques de NT no SSP30%, podem ser devido a aporte de resíduos vegetais tanto da pastagem quanto da vegetação arbórea, o que contribui para entrada de C e N. no SSP30% os maiores estoques foram provenientes da MAM,

mostrando a importância dessa fração no aumento e manutenção dos estoques de C e N no solo (GAZOLLA et al., 2015).

Maiores estoques N na fração MOP dos sistemas SSP60% e MI, podem estar ligadas a diferentes fatores. No sistema MI, os maiores estoques de C e N na MOP, podem ser devido à alta entrada de resíduos vegetais, provenientes do manejo de desfolha das gramíneas, as quais possuem valores de relação C/N mais elevadas (COSTA et al., 2015), podendo promover maior tempo para decomposição do material mais grosseiro. Apesar do manejo intensivo, o MI promove grande entrada de carbono na fração MOP, o qual, posteriormente pode compor a fração MAM e adquirir maior estabilidade dos agregados do solo (CARMO et al., 2012; DEBASISH; KUKAL; BAWA, 2014).

**Tabela 6.** Estoque de N em Argissolo Vermelho Eutrófico sob diferentes usos, em cinco profundidades (0-5, 5-15, 15-30, 30-60 e 60-100 cm), nas frações particulada, associadas a minerais e total

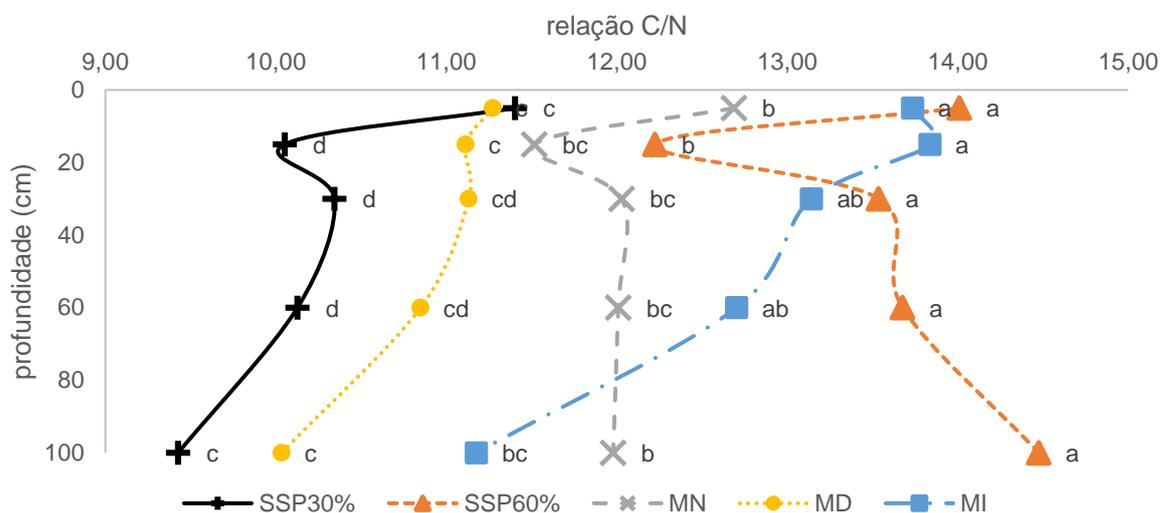
Profundidade (cm)	SSP 30%	SSP 60%	MN	MD	MI
	<b>Nitrogênio Total Mg ha<sup>-1</sup></b>				
<b>0-5</b>	4,14 a	3,17 b	3,06 b	2,69 bc	2,20 c
<b>5-15</b>	3,90 a	1,89 c	2,55 bc	3,35 ab	2,35 c
<b>15-30</b>	3,56 a	1,51 c	2,59 ab	2,35 ab	2,05 bc
<b>30-60</b>	5,21 a	2,55 b	3,76 b	3,37 b	3,14 b
<b>60-100</b>	4,24 a	2,06 b	2,73 b	2,72 b	2,63 b
	<b>Nitrogênio da MOP Mg ha<sup>-1</sup></b>				
<b>0-5</b>	0,50 a	0,86 a	0,72 a	0,51 a	0,78 a
<b>5-15</b>	0,17 b	0,26 b	0,30 b	0,32 b	0,60 a
<b>15-30</b>	0,13 b	0,25 b	0,22 b	0,27 ab	0,40 a
<b>30-60</b>	0,31 b	0,47 ab	0,37 b	0,46 ab	0,63 a
<b>60-100</b>	0,56 a	0,57 a	0,41 a	0,51 a	0,58 a
	<b>Nitrogênio da MAM Mg ha<sup>-1</sup></b>				
<b>0-5</b>	3,64 a	2,31 b	2,34 b	2,18 b	1,43 c
<b>5-15</b>	3,73 a	1,63 c	2,25 bc	3,03 ab	1,75 c
<b>15-30</b>	3,43 a	1,26 c	2,37 b	2,08 bc	1,65 bc
<b>30-60</b>	4,90 a	2,08 c	3,39 b	2,91 bc	2,51 bc
<b>60-100</b>	3,68 a	1,48 c	2,32 b	2,21 b	2,05 bc

SSP30%: Silvopastoril com 30% de sombreamento; SSP60%: silvipastoril com 60% de sombreamento; MN: mata nativa; MD: área de pastagem degradada com capim mombaça; área de pastagem com capim mombaça sobre manejo intensivo. Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

### 3.6. Relação C/N

Os resultados de relação de C/N (Figura 1) indicam diferenças entre os tratamentos ( $p < 0,05$ ) em todas as profundidades. Os maiores valores foram associados ao SSP60% em todas as profundidades. Tal condição pode contribuir para maior permanência de resíduos vegetais na cobertura do solo, provenientes da maior deposição de serrapilheira proveniente das gramíneas e da vegetação predominante de babaçu na área, sendo que essa espécie arbórea possui elevado teor de lignina nas raízes (SANTOS, 2014). A lignina é um composto de maior resistência a degradação e proporciona baixas taxas de decomposição da planta (COSTA et al., 2015).

O sistema SSP30% e MD apresentaram relação C/N iguais ( $p < 0,05$ ) nas profundidades 0-5, 15-30 e 30-60, sendo os sistemas que apresentaram menores relações C/N, comparativamente aos demais tratamentos. No sistema SSP30% pode ter ocorrido a influência de maior entrada de N via adubação de cobertura, já na área de MD a dominância de plantas daninhas, geralmente leguminosas com menor relações C/N que as gramíneas, isso pode ter induzindo aos resultados observados (KLIEMANN; BRAZ; SILVEIRA, 2006; COSTA et al., 2015).



**Figura 2.** Relação C/N em Argissolo Vermelho Eutrófico sob diferentes usos, em cinco profundidades (0-5, 5-15, 15-30, 30-60, 60-100 cm). SSP30%: Silvipastoril com 30% de sombreamento; SSP60%: silvipastoril com 60% de sombreamento; MN: mata nativa; MD: área de pastagem de mombaça degradado; MI: área de pastagem com mombaça sobre manejo intensivo. Letras minúsculas iguais entre os sistemas não apresentam diferença significativa pelo teste Duncan ao nível de 5% de probabilidade.

A área de MN apresentou em todas as profundidades poucas alterações nas relações C/N mostrando que existe equilíbrio na cinética de decomposição e deposição desses nutrientes provenientes de mesma vegetação ao longo do tempo (MACHADO et al., 2014). MI foi o sistema que mais teve alterações no perfil do solo na relação C/N, pois nas três primeiras profundidades (0-5 a 30-60 cm) apresentou valores semelhantes estatisticamente ao SSP60% ( $p < 0,05$ ). A contribuição das raízes e serrapilheira das gramíneas pode ter favorecido maiores valores de relações C/N (COSTA et al., 2015; FACCIN et al., 2016). Porém, na profundidade de 60-100 cm este sistema apresentou valores semelhantes aos tratamentos de menores valores de relação C/N (SSP30%, MD).

### **3.7. Teor de carbono lábil nas frações granulométricas da matéria orgânica**

Na tabela 7 são apresentados os teores de carbono lábil (CL) total, com diferenças nas camadas de 0-60 cm ( $p < 0,05$ ), não diferindo ( $p > 0,05$ ) entre os tratamentos na camada de 60-100 cm. SSP30% e MI nas camadas 0-5, 5-15 e 15-30 cm, proporcionaram os menores teores de CL total e SSP60% apresentou as maiores médias de CL total. No SSP30%, há maior perda de CL em relação aos outros sistemas, mostra que a fração MOP tem maior influência na alteração dos resultados de CL total, pois é considerado a fração lábil da matéria orgânica (GAZOLLA et al., 2015).

O SSP30% apresentou os menores teores de C da MOP assim como o menor teor de CL. Essa mesma tendência de relação entre os valores de CL e a fração MOP, também são observados nos tratamentos SSP60% e MI. Esses sistemas apresentaram os maiores teores de C e CL na fração MOP.

Diferente do SSP30%, no SSP60%, não houve adubação a partir de 2014 e recebeu menor carga de animais, o que pode contribuir para aumento do teor de CL da fração MOP e aumento no teor de C-MOP, devido a maior entrada C e menor influência antrópica no sistema, sendo que alterações de manejo podem alterar a qualidade da MOS, especialmente o grau de oxidação e sua labilidade (DORTZBACH et al., 2015). Além disso, a fração MOP é mais facilmente alterada conforme o manejo, modificando de acordo com as taxas de decomposição e entrada do material vegetal (BAYER et al., 2004; SALTON et al., 2011).

Os teores de CL da fração MAM tiveram diferenças ( $p < 0,05$ ) apenas nas duas primeiras camadas de solo (0-5 e 5-15 cm). SSP30% e SSP60% não se diferiram

entre si ( $p>0,05$ ) e obtiveram os maiores teores de CL da MAM com média de 4,37 e 5,24 g kg<sup>-1</sup> de CL respectivamente. Os sistemas MN e MD também não se diferem entre si, apresentando valores médios de CL de 3,82 e 3,65 g kg<sup>-1</sup> respectivamente. SSP60% e SSP30% apresentaram em média 56,81% a mais de CL que o sistema MI com média de 2,08 g kg<sup>-1</sup>, já a MN e MD foram em média 44,43% mais elevados do que o MI.

Nas profundidades abaixo de 15 cm não houve diferença ( $p>0,05$ ) entre os tratamentos SSP30%, SSP60% MN e MD (Tabela 7). No MI o teor de CL não foi detectável via oxidação em KMnO<sub>4</sub>. A menor variação no teor de CL da MAM e a não detecção no sistema MI, em maiores profundidades, mostram a menor degradabilidade dessa fração, evidenciando que a MAM está mais associada a componentes mais recalcitrantes da MO, com menor labilidade.

**Tabela 7.** Teor de carbono lábil oxidável em KMnO<sub>4</sub> em Argissolo Vermelho Eutrófico sob diferentes usos, em cinco profundidades (0-5, 5-15, 15-30, 30-60, 60-100 cm) nas frações particulada, associadas a minerais e total

Profundidade cm	SSP 30%	SSP 60%	MN	MD	MI
<b>C lábil da Total g kg<sup>-1</sup></b>					
<b>0-5</b>	5,79 b	7,75 a	5,63 b	5,24 b	4,47 b
<b>5-15</b>	1,74 c	3,00 a	2,27 bc	2,66 ab	2,55 ab
<b>15-30</b>	0,93 b	1,40 a	0,97 b	0,64 b	0,29 c
<b>30-60</b>	0,72 a	1,20 a	0,72 a	0,56 ab	0,25 b
<b>60-100</b>	0,41 a	0,68 a	0,33 a	0,56 a	0,20 a
<b>C lábil da MOP g kg<sup>-1</sup></b>					
<b>0-5</b>	1,41 b	2,50 a	1,81 ab	1,59 ab	2,39 ab
<b>5-15</b>	0,30 c	0,79 ab	0,73 ab	0,32 bc	1,13 a
<b>15-30</b>	0,22 b	0,52 a	0,30 b	0,17 b	0,29 b
<b>30-60</b>	0,25 b	0,51 a	0,23 b	0,22 b	0,25 b
<b>60-100</b>	0,23 ab	0,39 ab	0,11 b	0,45 a	0,20 ab
<b>C lábil da MAM g kg<sup>-1</sup></b>					
<b>0-5</b>	4,37 ab	5,24 a	3,82 b	3,65 b	2,08 c
<b>5-15</b>	1,44 b	2,21 a	1,54 b	2,34 a	1,41 b
<b>15-30</b>	0,71 a	0,88 a	0,67 a	0,47 a	0,00 nd
<b>30-60</b>	0,53 a	0,69 a	0,49 a	0,45 a	0,00 nd
<b>60-100</b>	0,24 a	0,29 a	0,21 a	0,22 a	0,00 nd

nd; não detectável pelo método de análise; SSP30%: Silvipastoril com 30% de sombreamento; SSP60%: silvipastoril com 60% de sombreamento; MN: mata nativa; MD: área de pastagem degradada com capim mombaça; MI: área de pastagem sobre manejo intensivo com capim mombaça. Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si, pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

### 3.8. Índice de manejo de carbono do solo

Na figura 2 são apresentados os dados de índice de manejo de carbono (IMC) em três profundidades 0-15, 15-30 e 30-60 cm. O IMC considera os dados de quantidade e labilidade do carbono nos sistemas avaliados, em relação a uma referência, que geralmente é o sistema sem alteração antrópica (mata nativa). IMC fornece medida sensível da variação na dinâmica do C, em sistemas que sofreram alterações no uso e manejo, em que valores de IMC da referência corresponde a 100 (IMC=100) e valores do sistema podem variar para mais ou menos, indicando declínio ou reabilitação da qualidade da matéria orgânica do solo (BLAIR; LEFROY; LISLE, 1995; XAVIER et al., 2009).

O SSP60% apresentou maiores valores de IMC, em todas as profundidades, em relação aos demais tratamentos, com média de IMC variando de 143,95 a 102,91. Os tratamentos SSP30% e MD, não diferem entre si ( $p>0,05$ ), em todas as camadas, com médias variando de 95,34 a 73,23 e 89,58 a 59,05 respectivamente. MI não diferiu dos sistemas MD e SSP30% ( $p>0,05$ ) na camada de 0-15 cm e apresentou os menores valores de IMC nas camadas de 15-30 e 30-60 cm, com IMC variando de 82,71 a 26,46.

O importante dessa variável não é apenas seu valor por si só, mas sim, sua finalidade, de demonstrar o reflexo da mudança do manejo na qualidade do solo, a partir da dinâmica do C (BLAIR; LEFROY; LISLE, 1995). Nesse trabalho, podemos observar, que apenas o sistema SSP60% proporcionou melhorias na qualidade do solo, promovendo valores de IMC maiores que a referência. Sendo reflexo dos maiores valores de labilidade e teor de C no solo.

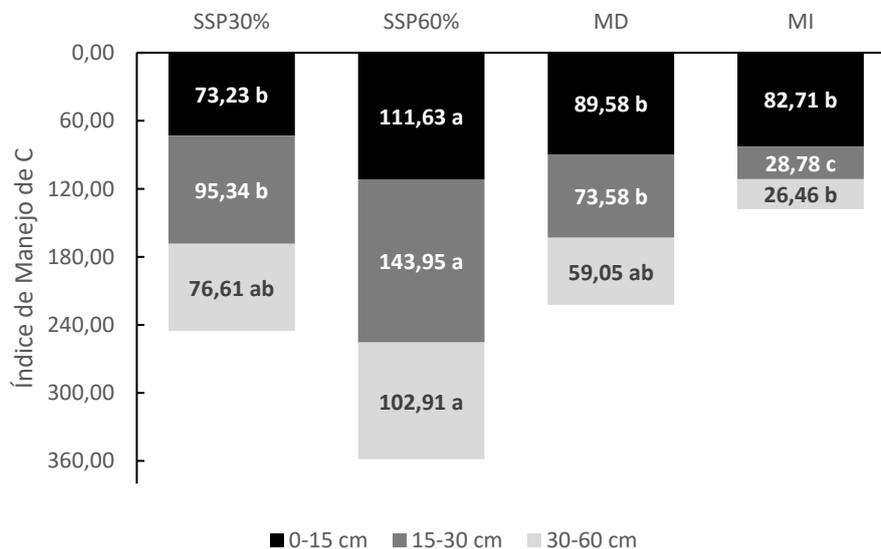
De acordo com Vieira et al., (2007) quanto maior os valores de CT e CL, maior será a disponibilidade de C como fonte de energia, que aumenta a fauna e a atividade microbiana do solo, sendo este ponto crucial para melhoria na qualidade do solo, proporcionando alta correlação entre atributos biológicos e o IMC.

Os valores de IMC do SSP30% e MD, demonstram o declínio na qualidade do solo. A correlação entre os maiores valores de teor e labilidade de C, também se aplica nesses tratamentos, pois no geral não diferiram entre si nessas variáveis. A intensificação no uso e manejo do SSP30%, contribuiu para diminuição do pool de carbono e na labilidade.

No SSP30%, a menor relação C/N (figura 1), pode indicar maior ciclagem da MOS, com maior mineralização e liberação de N (PEGORARO et al., 2011; MACHADO et al., 2014). Além do fornecimento de N via adubação que pode favorecer a mineralização do N e utilização C, promovendo a diminuição da matéria orgânica do solo (KHAN et al., 2007; MULVANEY; KHAN; ELLSWORTH, 2009).

No MD antes da degradação da pastagem, o manejo empregado era similar ao de MI. A dominação por plantas daninhas da área de MD, pode ter aumentado a deposição de material vegetal, contribuindo com o aumento dos teores de C e sua labilidade em relação ao MI, o qual foi o tratamento com menores valores de IMC nas camadas 15-30, 30-60 cm.

Em trabalho realizado na China por Yang et al., (2012), o valor de IMC foi maior em áreas abandonada do que áreas em pousio, e maior do que tratamento com uso de fertilizantes nitrogenados, fosfatados e potássicos, tendo reabilitação da qualidade do solo em áreas abandonadas, considerando a dinâmica do C. além disso, maiores valores de IMC, são relatados em trabalhos que promovem o uso constante de leguminosas, assim como as plantas daninhas em sua maioria na área são leguminosas (VIEIRA et al., 2007; LOSS et al., 2011; GAZOLLA et al., 2015).



**Figura 3.** Índice de manejo de carbono em Argissolo Vermelho Eutrófico sob diferentes usos em três profundidades 0-15, 15-60 e 60-100 cm. Médias seguidas pela mesma letra em cada profundidade, não diferem entre si, pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

### 3.9. Abundância natural do isótopo $^{13}\text{C}$ ( $\delta^{13}\text{C}$ )

Na abundância natural do isótopo  $^{13}\text{C}$  ( $\delta^{13}\text{C}$ ), o MI apresentou menor discriminação dos átomos de  $^{13}\text{C}$ , não diferindo do sistema MD ( $p>0,05$ ) nas profundidades de 0-5 e 5-15 (Figura 4), com variação de -20 a -16‰ dos valores de  $\delta^{13}\text{C}$  no MI. Os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  para as plantas C3 e C4 variam de -24 a -38‰ e -11 a -15‰ respectivamente, com isso, é evidência a maior contribuição das gramíneas na composição da MOS nos sistemas MI e MD, partindo do pressuposto que o solo tende a ter composição isotópica similar à cobertura vegetal (MARTINELLI et al., 2009).

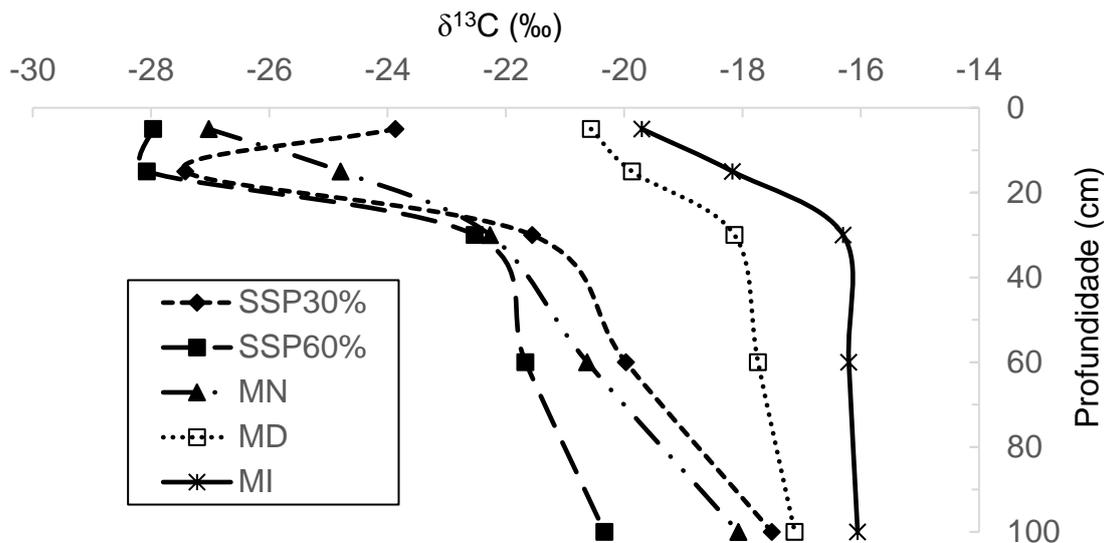
Porém, no MD há uma diminuição do valor de  $\delta^{13}\text{C}$  variando de -21 a -17‰, o qual pode ter ocorrido devido a presença de plantas daninhas como as *Bidens pilosa*, *Galinsoga parviflora*, *Sida spp.* e *Senna obtusifolia* que possuem ciclo fotossintético C3 (SARMENTO et al., 2015).

Em contraste, os tratamentos MN e SSP60% apresentaram os menores valores de  $\delta^{13}\text{C}$  não diferindo em todas as profundidades ( $p>0,05$ ). A variação da  $\delta^{13}\text{C}$  para MN e SSP60% de 0-15 cm foram de -27 a -22‰ e -28 a -22‰ respectivamente. Indicando maior influência de C proveniente de plantas C3 (-24 a -38‰). A predominância de vegetação arbórea típica da mata nativa e presente também no SSP60%, o qual teve menor intensidade do raleamento em comparação ao SSP30%, o que pode ter proporcionado a maior presença de  $^{13}\text{C}$ .

Já o SSP30%, teve maior retirada de árvores e arbustos da área, para alcançar o nível de sombreamento desejado, com isso houve maior abertura para as gramíneas tanto em cobertura vegetal como em produção. Nos estudos realizados por SANTOS (2014) nas áreas de silvipastoril, mostram redução da produção forrageira com aumento do sombreamento. A maior produção no SSP30%, pode ter influenciado a diminuição  $\delta^{13}\text{C}$  na primeira profundidade (0-5 cm), apresentando valor de -24‰. Nas demais profundidades os tratamentos SSP60%, SSP30% e MN não diferem entre si ( $p>0,05$ ).

Todos os tratamentos ocorre o enriquecimento isotópico, com o aumento da profundidade, esse fato ocorre em vários estudos de variação da abundância natural do  $^{13}\text{C}$  (DESJARDINS et al., 1996; MARTINELLI et al., 1996; COSTA et al., 2009; ARAÚJO et al., 2011; GUARESCHI; PEREIRA; PERIN, 2014; DORTZBACH et al., 2015). O enriquecimento em  $^{13}\text{C}$ , fez com que na profundidade 0-100 cm, não

apresente diferença significativa ( $p > 0,05$ ) entre os tratamentos MN, SSP30%, MD e MI. Apenas o SSP60% foi maior que os demais, porém também apresentou variação na  $\delta^{13}\text{C}$  ao longo do perfil do solo, com a diferença de 6‰ entre a camada superficial e a maior profundidade. A MN e SSP30% apresentaram variação de 9‰, e os tratamentos MD e MI apresentaram menor variação, em média 4‰.



**Figura 4.** Variação na  $\delta^{13}\text{C}$  da matéria orgânica do solo em Argissolo Vermelho Eutrófico sob diferentes usos, nas profundidades 0-5, 5-15, 15-30, 30-60 e 60-100 cm. SSP30%: Silvopastoril com 30% de sombreamento; SSP60%: silvipastoril com 60% de sombreamento; MN: mata nativa; MD: área de pastagem degradada de capim mombaça; MI: área de pastagem sobre manejo intensivo com capim mombaça.

A variação da  $\delta^{13}\text{C}$  ao longo do perfil do solo (Figura 4) depende do grau de enriquecimento isotópico, o qual pode ser explicada por três processos básicos. (1) Quando o enriquecimento de  $^{13}\text{C}$  em profundidade é menor que 5‰, a variação é atribuída a diferenciação isotópica dos componentes bioquímicos da planta (DESJARDINS et al., 1996; MARTINELLI et al., 1996; DORTZBACH et al., 2015).

Outro processo (2) que explica alterações em pequena escala (<5‰), é que durante o fracionamento isotópico, que ocorre na decomposição microbiana, os microrganismos tem preferência aos átomos de  $^{12}\text{C}$  por serem mais leve, ocorrendo um enriquecimento moderado de  $^{13}\text{C}$ , no substrato do solo das camadas superficiais, posteriormente esse  $^{13}\text{C}$  migra através do perfil do solo, tendo maior proporção de  $^{13}\text{C}$  com aumento da profundidade (MARTINELLI et al., 1996; ACTON et al., 2013).

Porém esses processos (1 e 2) só explicam alterações moderadas de  $\delta^{13}\text{C}$ , abaixo de 5‰. nos casos de enriquecimento acima de 5‰ (3), comparando a superfície

do solo com maiores profundidades, é provável que essa diferença ocorra devido a existência de algum tipo de vegetação com maior  $\delta^{13}\text{C}$  como as gramíneas, presentes na área anteriormente a vegetação atual (MARTINELLI et al., 1996).

### **3.10. Porcentagem e estoque de carbono de planta C3 e C4**

Na tabela 7 são apresentados os valores de porcentagem e estoque de C de planta C3 e C4 no solo. Houve diferença entre os tratamentos em todas as profundidades ( $p < 0,05$ ). Na camada de 0-5 cm o sistema SSP60% teve 93,56% de C derivado de planta C3, que diferiu do sistema SSP30% com média de 64,77%. A menor participação do C proveniente de planta C3 no SSP30%, evidencia a influência das gramíneas na deposição de material vegetal na superfície do solo. Com média de 35,23% de C derivado de planta C4.

Os tratamentos MD e MI, não diferem entre si ( $p > 0,05$ ), na camada de 0-5 cm, apresentando em média 63,17% de C de planta C4. Nesses sistemas, a substituição do C de plantas de C3 foi mais intensa, devido a substituição da floresta por pastagem, porém, a presença de C remanescente de planta C3 em média de 36,83%.

A maior entrada de C advindo de plantas C4, é resultado da maior produtividade e intensificação do manejo no SSP30% em relação ao SSP60%. O SSP60% apresentou média de 6,44 % de C de plantas C4, que por sua vez, tem ambiente menos modificado, menor número de árvores retiradas e manejo menos intensificado das gramíneas, quanto a adubação e ciclo de rebrota.

Porém, na camada de 5-15 e 15-30 cm, o SSP60% e SSP30% não diferem quanto a presença de carbono de planta C3 e C4, apresentando média de C de planta C3 de 92,98% e 51,13%, na camada de 5-15 cm e 15-30 cm, respectivamente.

A maior participação de C de planta C4 na camada superficial, pode estar relacionada ao aporte de raízes das gramíneas, que possuem maior densidade e massa de raízes nas camadas superficiais e pela deposição dos resíduos foliares na superfície do solo, porém gramíneas também proporcionam incremento de raiz até 1 m de profundidade (SANTOS et al., 2007; SARMENTO et al., 2008).

Os tratamentos MD e MI apresentaram diferença entre si ( $p < 0,05$ ) nas camadas de 5-15; 15-30; 30-60; 60-100 cm. O enriquecimento isotópico foi maior no MI do que MD, com variação na média de C advindo de planta C4 de 77,83 a 93,66%, da camada 5-15 cm até a camada 60-100 cm. A mesma tendência de enriquecimento isotópico

foi observada no tratamento MD que variou de 65,14 a 85,71% de C proveniente de planta C4, entre as camadas de 5-15 e 60-100 cm.

O enriquecimento isotópico também ocorreu no SSP30% e SSP60%. Tendo maior influência de C de planta C3 no SSP60%, com proporções de C provenientes de planta C3 variando de 54,76% a 38,34% nas camadas de 15-30 e 60-100 cm, respectivamente. SSP30% houve maior proporção de C de planta C4, com aumento da profundidade do solo, variando de 52,50% a 82,81%, respectivamente, nas camadas de 15-30 e 60-100 cm.

O maior enriquecimento isotópico no MI em relação ao MD, pode estar relacionado a composição de plantas. O tratamento MD possui cobertura vegetal constituída basicamente por plantas daninhas do tipo C3, o que pode ter contribuído para maior incremento de C de plantas C3, já no MI, a boa formação da pastagem, proporciona composição vegetal praticamente apenas do capim mombaça, o que justifica o enriquecimento de  $^{13}\text{C}$ .

A mesma tendência observa-se ao comparar os sistemas SSP60% e SSP30%. O SSP30% por ter maior produção e cobertura vegetal pelas gramíneas, também obteve maior influência do C proveniente de planta C4 na matéria orgânica do solo, nas camadas de 0-5; 30-60 e 60-100 cm, já o sistema SSP60%, apresentou menor influência da presença de gramíneas na composição da matéria orgânica do solo, tendo maior proporção de C de planta C3.

As maiores proporções de C nas camadas 0-5 e 5-15 cm, foram de planta C3, isso reflete nos estoques de C. Em média, os tratamentos apresentaram ECS de planta C3 de  $26,09 \text{ Mg ha}^{-1}$  e ECS de planta C4 de  $16,83 \text{ Mg ha}^{-1}$  na camada de 0-5 cm. Tendo o maior estoque de C de planta C3 (ECC3) no sistema SSP60% e o maior estoque de carbono de planta C4 (ECC4) no MI. Na camada de 5-15 cm teve o maior ECC3  $20,94 \text{ Mg ha}^{-1}$  do que ECC4  $15,04 \text{ Mg ha}^{-1}$ , a partir da profundidade de 15-30 cm os ECC4 foram maiores, devido a enriquecimento isotópico em todos os tratamentos.

Os maiores ECC3, em todas as camadas, foram no SSP30% e SSP60%. os valores de ECC3 variaram de  $38,23$  a  $7,45 \text{ Mg ha}^{-1}$  no SSP30% e de  $43,38$  a  $10,07 \text{ Mg ha}^{-1}$  no SSP60%. Nas profundidades 0-5, 5-15 e 15-30 cm, o MI apresentou os maiores valores de ECC4, nas camadas 30-60, 60-100 cm, o SSP30% apresentou os maiores resultados de ECC4, devido a maior teor de C no solo, associado a menor

proporção de concreções, as quais afetaram o SSP60%, com maior influência do fator pedregosidade, proporcionando menores estoques de C.

**Tabela 8.** Porcentagem e estoque de C provenientes de plantas C3 e C4 em Argissolo Vermelho Eutrófico sob diferentes usos, nas profundidades 0-5, 5-15, 15-30 30-60 e 60-100 cm

tratamento	%C4	%C3	ECC4	ECC3
	-----%-----		-----Mg ha <sup>-1</sup> -----	
<b>0-5 cm</b>				
SSP30%	35,23 b	64,77 b	18,65 b	34,28 b
SSP60%	6,44 c	93,56 a	2,96 c	43,38 a
MD	59,95 a	40,05 c	21,38 ab	14,34 c
MI	66,39 a	33,61 c	24,32 a	12,36 c
<b>5-15 cm</b>				
SSP30%	9,70 c	90,30 a	3,90 b	38,23 a
SSP60%	4,34 c	95,66 a	0,97 b	22,76 b
MD	65,14 b	34,86 b	26,89 a	14,62 bc
MI	77,83 a	22,17 c	28,40 a	8,16 c
<b>15-30 cm</b>				
SSP30%	52,50 c	47,50 a	19,80 b	18,12 a
SSP60%	45,24 c	54,76 a	8,92 c	10,74 b
MD	78,09 b	21,91 b	19,67 b	6,07 c
MI	91,84 a	8,16 c	26,33 a	2,43 c
<b>30-60 cm</b>				
SSP30%	64,36 c	35,64 b	39,16 a	21,84 a
SSP60%	51,67 d	48,33 a	17,15 c	16,02 b
MD	81,07 b	18,93 c	27,31 b	6,53 c
MI	92,55 a	7,45 d	36,36 a	3,02 c
<b>60-100 cm</b>				
SSP30%	82,81 a	17,19 b	35,97 a	7,45 a
SSP60%	61,66 b	38,34 a	16,50 c	10,07 a
MD	85,71 a	14,29 bc	18,44 c	2,77 b
MI	93,66 a	6,34 c	25,20 b	1,65 b

SSP30%: Silvipastoril com 30% de sombreamento; SSP60%: silvipastoril com 60% de sombreamento; MD: área de pastagem de mombaça degradado; MI: área de pastagem com mombaça sobre manejo intensivo. %C4 = porcentagem de C proveniente de planta tipo C4; %C3 = porcentagem de C proveniente de planta tipo C3; ECC4 = estoque de carbono de plantas C4; ECC3 = estoque de carbono de planta C3. Letras minúsculas iguais na coluna não se diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste Duncan.

#### 4. CONCLUSÃO

O SSP60%, aumentou a qualidade do solo em relação a mata nativa, na camada superficial, em razão dos maiores estoques e labilidade do C nas frações MOP e MAM. A maior contribuição de C advindo de plantas C3 nesse sistema, mostra que a manutenção da qualidade do solo, está associada à menor ação antrópica, tanto na menor retirada de componentes florestais, como no menor manejo de adubação e da pastagem.

O impacto de uso do SSP30%, proporcionou manutenção dos estoques de C na fração MAM. Porém, proporcionou diminuição da qualidade do solo, em razão dos menores estoques de C e N do solo, na fração da MOP, e os menores teores de CL total, em relação a mata nativa. A maior ação antrópica, como adubação e manejo da pastagem, proporcionou aumento da contribuição do C proveniente de planta C4 nesse sistema.

O MD também diminuiu a qualidade do solo em relação a MN. Porém, MD teve maior qualidade do solo do que a área de pastagem de MI, devido ao maior aporte de estoques de C e N no solo, com maior proporção na fração da MAM. Comprovando que áreas com pastagem degradada, com aumento da presença de plantas daninhas, evidenciado pela menor  $\delta^{13}\text{C}$ , proporcionam aumento dos estoques de C e N no solo, em relação ao MI.

O a recente implantação de pastagem no MI proporcionou decréscimo na qualidade do solo, devido aos menores estoques de C e N no solo na fração MAM, além da menor labilidade do carbono. Além de promover a alteração na proporção de  $^{13}\text{C}$ , tendo maior contribuição de C proveniente de plantas C4, evidenciando que, a modificação no uso e manejo para implantação de pastagem, proporciona exaustão dos estoques C e N do solo, nos primeiros anos de cultivo. Porém, o MI proporcionou os maiores estoques de C e N na fração MOP, o que pode ser indicativo da capacidade de recuperação dos estoques de C, desde que, mantenha-se a alta deposição de C na fração MOP, que pode futuramente contribuir para reposição da fração MAM.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACTON, P.; FOX, J.; CAMPBELL, E.; ROWE, H.; WILKINSON, M. Carbon isotopes for estimating soil decomposition and physical mixing in well-drained forest soils.

**Journal of Geophysical Research: Biogeosciences**, v.118, n.4, p.1532–1545, 2013. doi:10.1002/2013JG002400.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, L. J. D. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v.22, n.6, p.711–728, 2013. doi:10.1127/0941-2948/2013/0507.

ALVES, B.; ZOTARELLI, L.; JANTALIA, C. P.; BODDEY, R. M.; URQUIAGA, S. Emprego de isótopos estáveis para o estudo do carbono e do nitrogênio no sistema solo-planta.p.343–368, 2005.

ARAÚJO, E. A. De; KER, J. C.; MENDONÇA, E. D. S.; SILVA, I. R.; OLIVEIRA, E. K. Impacto da conversão floresta - pastagem nos estoques e na dinâmica do carbono e substâncias húmicas do solo no bioma Amazônico. **Acta Amazonica**, v.41, n.1, p.103–114, 2011. doi:10.1590/S0044-59672011010200001.

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. doi:10.1016/j.catena.2017.02.003.

BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A. Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v.39, n.7, p.677–683, 2004. doi:Doi 10.1590/S0100-204x2004000700009.

BLAIR, G.; LEFROY, R.; 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, n.7, p.1459, 1995. doi:10.1071/AR9951459.

BOND-LAMBERTY, B.; THOMSON, A. Temperature-associated increases in the global soil respiration record. **Nature**, v.464, n.7288, p.579–582, 2010.

doi:10.1038/nature08930.

BRANDÃO, E. D.; SILVA, I. de F. da. Formação e estabilização de agregados pelo sistema radicular de braquiária em um Nitossolo Vermelho. **Ciência Rural**, v.42, n.7, p.1193–1199, 2012. doi:10.1590/S0103-84782012000700009.

BROOKES, P. C.; CHEN, Y.; CHEN, L.; QIU, G.; LUO, Y.; XU, J. Is the rate of mineralization of soil organic carbon under microbiological control? **Soil Biology and Biochemistry**, v.112, p.127–139, 2017. doi:10.1016/j.soilbio.2017.05.003.

CAMBARDELLA, C. A.; ELLIOTT, E. T. Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence. **Soil Science Society of America Journal**, v.56, n.3, p.777–783, 1992.

doi:<http://dx.doi.org/10.2136/sssaj1992.03615995005600030017x>.

CAMPOS, L. P.; LEITE, L. F. C.; MACIEL, G. A.; BRASIL, E. L.; IWATA, B. de F. Estoques e frações de carbono orgânico em latossolo amarelo submetido a diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v.48, n.3, p.304–312, 2013. doi:10.1590/S0100-204X2013000300009.

CARMO, F. F.; FIGUEIREDO, C. C.; RAMOS, M. G.; VIVALDI, L. J.; ARAÚJO, L. G. Frações granulométricas da matéria orgânica em Latossolo sob plantio direto com gramíneas. **Bioscience Journal**, v.28, n.3, p.420–431, 2012.

CARVALHO, J. L. N.; AVANZI, J. C.; SILVA, M. L. N.; MELLO, C. R.; CERRI, C. E. P. POTENCIAL DE SEQUESTRO DE CARBONO EM DIFERENTES BIOMAS DO BRASIL. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p.277–289, 2010.

CERRI, C. E. P.; SPAROVEK, G.; BERNOUX, M.; EASTERLING, W. E.; MELILLO, J. M.; CERRI, C. C. Tropical agriculture and global warming: impacts and mitigation options. **Scientia Agricola**, v.64, n.1, p.83–99, 2007. doi:10.1590/S0103-90162007000100013.

CONCEIÇÃO, P. C.; BAYER, C.; DIECKOW, J.; SANTOS, D. C. dos. Fracionamento físico da matéria orgânica e índice de manejo de carbono de um Argissolo submetido a sistemas conservacionistas de manejo. **Ciência Rural**, v.44, n.5, p.794–800, 2014. doi:10.1590/S0103-84782014005000004.

CONCEIÇÃO, P. C.; BOENI, M.; DIECKOW, J.; BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Fracionamento densimétrico com politungstato de sódio no estudo da proteção física da matéria orgânica em solos. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v.32, n.2, p.541–549, 2008. doi:10.1590/S0100-06832008000200009.

COSTA, N. R.; ANDREOTTI, M.; DE ARAÚJO ULIAN, N.; COSTA, B. S.; PARIZ, C. M.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M. Acúmulo de nutrientes e tempo de decomposição da palhada de espécies forrageiras em função de épocas de semeadura. **Bioscience Journal**, v.31, n.3, p.818–829, 2015. doi:http://dx.doi.org/10.14393/BJ-v31n3a2015-22434.

COSTA, O. V.; CANTARUTTI, R. B.; FONTES, L. E. F.; DA COSTA, L. M.; NACIF, P. G. S.; FARIA, J. C. Estoque de carbono do solo sob pastagem em área de tabuleiro costeiro no sul da Bahia. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v.33, n.5, p.1137–1145, 2009. doi:10.1590/S0100-06832009000500007.

COSTA JUNIOR, C. Da; PICCOLO, M. D. C.; SIQUEIRA NETO, M.; CAMARGO, P. B.; CERRI, C. C.; BERNOUX, M. Carbono total e  $\delta^{13}\text{C}$  em agregados do solo sob vegetação nativa e pastagem no bioma cerrado. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v.35, p.1241–1252, 2011.

COTRUFO, M. F.; WALLENSTEIN, M. D.; BOOT, C. M.; DENEFF, K.; PAUL, E. The Microbial Efficiency-Matrix Stabilization (MEMS) framework integrates plant litter decomposition with soil organic matter stabilization: Do labile plant inputs form stable soil organic matter? **Global Change Biology**, v.19, n.4, p.988–995, 2013. doi:10.1111/gcb.12113.

DEBASISH, S.; KUKAL, S. S.; BAWA, S. S. Soil Organic Carbon Stock and Fractions in Relation To Land Use and Soil Depth in the Degraded Shivaliks Hills of Lower Himalayas. **Land Degradation & Development**, v.25, n.5, p.407–416, 2014. doi:10.1002/ldr.2151.

DEMESSIE, A.; SINGH, B. R.; LAL, R. Soil carbon and nitrogen stocks under chronosequence of farm and traditional agroforestry land uses in Gambo District, Southern Ethiopia. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v.95, n.3, p.365–375, 2013. doi:10.1007/s10705-013-9570-0.

DESJARDINS, T.; BARROS, E.; SARRAZIN, M.; GIRARDIN, C.; MARIOTTI, A. Effects of forest conversion to pasture on soil carbon content and dynamics in Brazilian Amazonia. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.103, n.2, p.365–373, 2004. doi:10.1016/j.agee.2003.12.008.

DESJARDINS, T.; CARNEIRO FILHO, A.; MARIOTTI, A.; CHAUVEL, A.; GIRARDIN, C. Changes of the forest-savanna boundary in Brazilian Amazonia during **Holocene**, p.749–756, 1996. doi:10.1007/BF00329051.

DON, A.; SCHUMACHER, J.; SCHERER-LORENZEN, M.; SCHOLTEN, T.; SCHULZE, E.-D. Spatial and vertical variation of soil carbon at two grassland sites — Implications for measuring soil carbon stocks. **Geoderma**, v.141, n.3–4, p.272–282, 2007. doi:10.1016/j.geoderma.2007.06.003.

DORTZBACH, D.; PEREIRA, M. G.; BLAINSKI, É.; GONZÁLES, A. P. Estoque de C e Abundância Natural de 13 C em Razão da Conversão de Áreas de Floresta e Pastagem em Bioma Mata Atlântica. **Revista Bras. Ci. Solo**, v.39, p.1643–1660, 2015. doi:10.1590/01000683rbc20140531.

ELLERT, B. H.; BETTANY, J. R. Calculation of organic matter and nutrients stored in soils under contrasting management regimes. **Canadian Journal of Soil Science**, v.75, n.4, p.529–538, 1995. doi:10.4141/cjss95-075.

FACCIN, F. C.; MARCHETTI, M. E.; SERRA, A. P.; ENSINAS, S. C. Frações granulométricas da matéria orgânica do solo em consórcio de milho safrinha com capim-marandu sob fontes de nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.51, n.12, p.2000–2009, 2016. doi:10.1590/S0100-204X2016001200011.

FAN, S.; GUAN, F.; XU, X.; FORRESTER, D. I.; MA, W.; TANG, X. Ecosystem carbon stock loss after land use change in subtropical forests in China. **Forests**, v.7, n.7, 2016. doi:10.3390/f7070142.

FERNÁNDEZ-ROMERO, M. L.; LOZANO-GARCÍA, B.; PARRAS-ALCÁNTARA, L. Topography and land use change effects on the soil organic carbon stock of forest soils in Mediterranean natural areas. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v.195, p.1–9, 2014. doi:10.1016/j.agee.2014.05.015.

GAZOLLA, P. R.; GUARESCHI, R. F.; PERIN, A.; PEREIRA, M. G.; ROSSI, C. Q. Frações da matéria orgânica do solo sob pastagem, sistema plantio direto e integração lavoura-pecuária. **Semina:Ciencias Agrarias**, v.36, n.2, p.693–704, 2015. doi:10.5433/1679-0359.2015v36n2p693.

GUARESCHI, R. F.; PEREIRA, M. G.; PERIN, A. Carbono, nitrogênio e abundância natural de  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{15}\text{N}$  em uma cronossequência de agricultura sob plantio direto no cerrado Goiano. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v.38, p.1135–1142, 2014.

KANTOLA, I. B.; MASTERS, M. D.; DELUCIA, E. H. Soil particulate organic matter increases under perennial bioenergy crop agriculture. **Soil Biology and Biochemistry**, v.113, p.184–191, 2017. doi:10.1016/j.soilbio.2017.05.023.

KHAN, S. A.; MULVANEY, R. L.; ELLSWORTH, T. R.; BOAST, C. W. The Myth of Nitrogen Fertilization for Soil Carbon Sequestration. **Journal of Environment Quality**, v.36, n.6, p.1821, 2007. doi:10.2134/jeq2007.0099.

KLIEMANN, H. J.; BRAZ, A. J. P. B.; SILVEIRA, P. M. TAXAS DE DECOMPOSIÇÃO DE RESÍDUOS DE ESPÉCIES DE COBERTURA EM LATOSSOLO VERMELHO DISTROFÉRRICO. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v.36, n.1, p.21–28, 2006.

LAL, R. Soil Carbon Sequestration Impacts on Global Climate Change and Food Security. **American Association for the Advancement of Science**, v.304, n.5677, p.1623–7, 2004. doi:10.1126/science.1097396.

LEITE, L. F. C.; ARRUDA, F. P. de; COSTA, C. do N.; FERREIRA, J. da S.; HOLANDA NETO, M. R. Qualidade química do solo e dinâmica de carbono sob monocultivo e consórcio de macaúba e pastagem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, n.12, p.1257–1263, 2013. doi:10.1590/S1415-43662013001200002.

LI, J.; WEN, Y.; LI, X.; LI, Y.; YANG, X.; LIN, Z.; SONG, Z.; COOPER, J. M.; ZHAO, B. Soil labile organic carbon fractions and soil organic carbon stocks as affected by long-term organic and mineral fertilization regimes in the North China Plain. **Soil and Tillage Research**, v.175, p.281–290, 2018. doi:10.1016/j.still.2017.08.008.

LOPES, M. N.; CÂNDIDO, M. J. D.; POMPEU, R. C. F. F.; DA SILVA, R. G.; BEZERRA, F. M. L. Componentes estruturais do resíduo pós-corte em capim-massai adubado com cinco doses de nitrogênio. **Revista Ciencia Agronomica**, v.42, n.2, p.518–525, 2011. doi:10.1590/S1806-66902011000200035.

LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; SCHULTZ, N.; CUNHA DOS ANJOS, L. H.; RIBEIRO DA SILVA, E. M. Frações orgânicas e índice de manejo de carbono do solo em diferentes sistemas de produção orgânica. **Idesia (Arica)**, v.29, n.2, p.11–19, 2011. doi:10.4067/S0718-34292011000200002.

LOZANO-GARCÍA, B.; PARRAS-ALCÁNTARA, L. Land use and management effects on carbon and nitrogen in Mediterranean Cambisols. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.179, p.208–214, 2013. doi:10.1016/j.agee.2013.07.009.

MACHADO, L. V.; RANGEL, O. J. P.; MENDONÇA, E. de S.; MACHADO, R. V.; FERRARI, J. L. Fertilidade e compartimentos da matéria orgânica do solo sob diferentes sistemas de manejo. **Coffee Science**, v.9, n.3, p.289–299, 2014.

MAIA, S. M. F.; XAVIER, F. A. da S.; OLIVEIRA, T. S. de; MENDONÇA, E. D. S.; ARAÚJO FILHO, J. A. de. Impactos De Sistemas Agroflorestais E Convencional Sobre a Qualidade Do Solo No Semi-Árido Cearense. **Revista Árvore**, v.30, n.5, p.837–848, 2006. doi:10.1590/S0100-67622006000500018.

MARTINELLI, I. a.; PESSEDA, L. C. R.; ESPINOZA, E.; CAMARGO, P. B.; TELLES, F. C.; CERRI, C. C.; VICTORIA, R. L.; ARAVENA, R.; RICHEY, J.; TRUMBORE, S. Carbon-13 variation with depth in soils of Brazil and climate change during the Quaternary. **Oecologia**, v.106, p.376–381, 1996. doi:10.1007/BF00334565.

MENDHAM, D. S.; HEAGNEY, E. C.; CORBEELS, M.; O'CONNELL, A. M.; GROVE, T. S.; MCMURTRIE, R. E. Soil particulate organic matter effects on nitrogen availability after afforestation with *Eucalyptus globulus*. **Soil Biology and Biochemistry**, v.36, n.7, p.1067–1074, 2004. doi:10.1016/j.soilbio.2004.02.018.

MILNE, E.; ADAMAT, R. AI; BATJES, N. H.; BERNOUX, M.; BHATTACHARYYA, T.; CERRI, C. C.; CERRI, C. E. P.; COLEMAN, K.; EASTER, M.; FALLOON, P.;

FELLER, C.; GICHERU, P.; KAMONI, P.; KILLIAN, K.; PAL, D. K.; PAUSTIAN, K.; POWLSON, D. S.; RAWAJFIH, Z.; SESSAY, M.; WILLIAMS, S.; WOKABI, S. National and sub-national assessments of soil organic carbon stocks and changes: The GEFSOC modelling system. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.122, n.1, p.3–12, 2007. doi:10.1016/j.agee.2007.01.002.

MULVANEY, R. L.; KHAN, S. A.; ELLSWORTH, T. R. Synthetic Nitrogen Fertilizers Deplete Soil Nitrogen: A Global Dilemma for Sustainable Cereal Production. **Journal of Environment Quality**, v.38, n.6, p.2295, 2009. doi:10.2134/jeq2008.0527.

ONTL, T. A.; CAMBARDELLA, C. A.; SCHULTE, L. A.; KOLKA, R. K. Factors influencing soil aggregation and particulate organic matter responses to bioenergy crops across a topographic gradient. **Geoderma**, v.255–256, p.1–11, 2015. doi:10.1016/j.geoderma.2015.04.016.

PEGORARO, F.; SILVA, I. R.; NOVAIS, R. F. De; BARROS, N. F. De; FONSECA, S.; DAMBROZ, carlos S. ESTOQUES DE CARBONO E NITROGÊNIO NAS FRAÇÕES DA MATÉRIA ORGÂNICA EM ARGISSOLO SOB EUCALIPTO E PASTAGEM. **Ciência Florestal**, v.21, n.2, p.261–273, 2011.

POEPLAU, C.; VOS, C.; DON, A. Soil organic carbon stocks are systematically overestimated by misuse of the parameters bulk density and rock fragment content. **Soil**, v.3, n.1, p.61–66, 2017. doi:10.5194/soil-3-61-2017.

RANGEL, O. J. P.; SILVA, C. A. Estoques de carbono e nitrogênio e frações orgânicas de latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, n.6, p.1609–1623, 2007. doi:10.1590/S0100-06832007000600037.

ROZANE, D. E.; CENTURION, J. F.; ROMUALDO, L. M.; TANIGUCHI, C. A. K.; TRABUCO, M.; ALVES, A. U. Estoque de carbono e estabilidade de agregados de um latossolo vermelho distrófico, sob diferentes manejos. **Bioscience Journal**, v.26, n.1, p.24–32, 2010.

SACRAMENTO, J. A. A. S. do; ARAÚJO, C. de M.; ESCOBAR, O. A. E. M.; XAVIER, F. A. da S.; CAVALCANTE, A. C. R.; OLIVEIRA, T. S. de. Soil Carbon and Nitrogen Stocks in Traditional Agricultural and Agroforestry Systems in the Semiarid Region of

Brazil. **Brazil. R. Bras. Ci. Solo**, v.37, p.784–795, 2013.

SALTON, J. C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; FABR?CIO, A. C.; MACEDO, M. C. M.; BROCH, D. L. Teor e din?mica do carbono no solo em sistemas de integra?o lavoura-pecu?ria. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v.46, n.10, p.1349–1356, 2011. doi:10.1590/S0100-204X2011001000031.

SANTANA, M. da S. ESTOQUES DE CARBONO E NITROG?NIO EM SOLOS DO SERT?O PERNAMBUCANO SOB DIFERENTES USOS.p.62, 2015.

SANTOS, D. C.; FARIAS, M. O.; LIMA, C. L. R.; KUNDE, R. J.; PILLON, C. N.; FLORES, C. A. Fracionamento f?sico e qu?mico da mat?ria org?nica de um Argissolo Vermelho sob diferentes sistemas de uso. **Ci?ncia Rural**, v.43, n.5, p.838–844, 2013.

SANTOS, R. S. .; OLIVEIRA, I. P.; MORAIS, R. F.; URQUIAGA, S. C.; BODDEY, R. M.; ALVES, B. J. R. Componentes da parte a?rea e ra?zes de pastagens de *Brachiaria spp* . em diferentes idades ap?s a reforma, como indicadores de produtividade em ambiente de cerrado. **Pesq Agropec Trop**, v.37, n.2, p.119–124, 2007.

SANTOS, P. M. dos. Interface Sol-Planta-Animal em sistemas agroflorestais para a intensifica?o ecol?gica na pecu?ria.n.Tese (Doutorado em Ci?ncia Animal Tropical) – Universidade Federal do Tocantins, Aragua?na – TO., p.279, 2014.

SARMENTO, H. G. dos S.; FILHO, J. M. C.; ASPIAZ?I, I.; RODRIGUES, T. M.; FERREIRA, E. A. Levantamento fitossociol?gico de plantas daninhas em ?reas de bananicultura no Vale do Rio Gortuba, norte de Minas Gerais. **Revista Agro@Mambiente on-Line**, v.9, n.3, p.308, 2015. doi:10.18227/1982-8470ragro.v9i3.2314.

SARMENTO, P.; RODRIGUES, L. R. de A.; LUG?O, S. M. B.; CRUZ, M. C. P.; CAMPOS, F. P.; FERREIRA, M. E.; OLIVEIRA, R. F. Sistema radicular do *Panicum maximum* Jacq. cv. IPR-86 Mil?nio adubado com nitrog?nio e submetido ? rota?o rotacionada. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.37, n.1, p.27–34, 2008. doi:10.1590/S1516-35982008000100004.

SCHRUMPF, M.; SCHULZE, E. D.; KAISER, K.; SCHUMACHER, J. How accurately can soil organic carbon stocks and stock changes be quantified by soil inventories? **Biogeosciences**, v.8, n.5, p.1193–1212, 2011. doi:10.5194/bg-8-1193-2011.

SHRESTHA, B. M.; SITAULA, B. K.; SINGH, B. R.; BAJRACHARYA, R. M. Soil organic carbon stocks in soil aggregates under different land use systems in Nepal. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v.70, n.2, p.201–213, 2004. doi:10.1023/B:FRES.0000048472.25373.7e.

SILVA, E. F.; LOURENTE, E. P. R.; MARCHETTI, M. E.; MERCANTE, F. M.; FERREIRA, A. K. T.; FUJII, G. C. Frações lábeis e recalcitrantes da matéria orgânica em solos sob integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, n.10, p.1321–1331, 2011. doi:10.1590/S0100-204X2011001000028.

SILVA JÚNIOR, M. L. da; DESJARDINS, T.; SARRAZIN, M.; MELO, V. S. de; MARTINS, P. F. da S.; SANTOS, E. R.; CARVALHO, C. J. R. de. **Carbon content in Amazonian Oxisols after forest conversion to pasture. Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 2009. doi:10.1590/S0100-06832009000600009.

SILVA NETO, S. P. da. Análise espacial de características químicas do solo, serapilheira e pasto em sistemas de integração com floresta secundária.p.128, 2013. doi:10.20873/uft.2525-4863.

SIQUEIRA NETO, M.; DE CÁSSIA PICCOLO, M.; SCOPEL, E.; DA COSTA JUNIOR, C.; CERRI, C. C.; BERNOUX, E. M. Carbono total e atributos químicos com diferentes usos do solo no cerrado. **Acta Scientiarum - Agronomy**, v.31, n.4, p.709–717, 2009. doi:10.4025/actasciagron.v31i4.792.

VICENTE, T. F. da S.; PEDROSA, E. M. R.; ROLIM, M. M.; OLIVEIRA, V. S.; OLIVEIRA, A. K. S.; SOUZA, A. M. P. L. Relações de atributos do solo e estabilidade de agregados em canaviais com e sem vinhaça. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.11, p.1215–1222, 2012. doi:10.1590/S1415-43662012001100010.

VIEIRA, F. C. B.; BAYER, C.; ZANATTA, J. A.; DIECKOW, J.; MIELNICZUK, J.; HE, Z. L. Carbon management index based on physical fractionation of soil organic matter in an Acrisol under long-term no-till cropping systems. **Soil and Tillage**

**Research**, v.96, n.1–2, p.195–204, 2007. doi:10.1016/j.still.2007.06.007.

VILELA, E. F.; MENDONÇA, E. S. Impacto de sistemas agroflorestais sobre a matéria orgânica do solo: Modelagem de carbono e nitrogênio. **Coffee Science**, v.8, n.3, p.354–363, 2013.

WANG, T.; KANG, F.; CHENG, X.; HAN, H.; JI, W. Soil organic carbon and total nitrogen stocks under different land uses in a hilly ecological restoration area of North China. **Soil and Tillage Research**, v.163, p.176–184, 2016. doi:10.1016/j.still.2016.05.015.

WANG, Z.; LIU, S. S.; HUANG, C.; LIU, Y.; BU, Z. Impact of land use change on profile distributions of organic carbon fractions in peat and mineral soils in Northeast China. **Catena**, v.152, p.1–8, 2017. doi:10.1016/j.catena.2016.12.022.

WEIL, R. R.; ISLAM, K. R.; STINE, M. A.; GRUVER, J. B.; SAMSON-LIEBIG, S. E. Estimating active carbon for soil quality assessment: A simplified method for laboratory and field use. **American Journal of Alternative Agriculture**, v.18, n.1, p.3–17, 2003. doi:10.1079/ajaa2003003.

WENDLING, B.; VINHAL-FREITAS, I. C.; DE OLIVEIRA, R. C.; BABATA, M. M.; BORGES, E. N. Densidade, agregação e porosidade do solo em áreas de conversão do cerrado em floresta de pinus, pastagem e plantio direto. **Bioscience Journal**, v.28, n.SUPPL. 1, p.256–265, 2012.

XAVIER, F. A. D.; MAIA, S. M. F.; DE OLIVEIRA, T. S.; MENDONÇA, E. D. Soil Organic Carbon and Nitrogen Stocks under Tropical Organic and Conventional Cropping Systems in Northeastern Brazil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.40, n.19–20, p.2975–2994, 2009. doi:10.1080/00103620903261304.

YANG, X.; REN, W.; SUN, B.; ZHANG, S. Effects of contrasting soil management regimes on total and labile soil organic carbon fractions in a loess soil in China. **Geoderma**, 2012. doi:10.1016/j.geoderma.2012.01.033.