

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

**CARBONO ORGÂNICO EM AGREGADOS DO SOLO EM CAATINGA
SUBMETIDA A MANEJO FLORESTAL**

MABEL DE OLIVEIRA SANTOS

VITÓRIA DA CONQUISTA
BAHIA - BRASIL
MAIO - 2018

MABEL DE OLIVEIRA SANTOS

**CARBONO ORGÂNICO EM AGREGADOS DO SOLO EM CAATINGA
SUBMETIDA A MANEJO FLORESTAL**

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

Orientador: Profa. Dra. Patrícia Anjos Bittencourt Barreto-Garcia (UESB)

Coorientador: Dr. Paulo Henrique Marques Monroe

**VITÓRIA DA CONQUISTA
BAHIA - BRASIL
MAIO - 2018**

MABEL DE OLIVEIRA SANTOS

**CARBONO ORGÂNICO EM AGREGADOS DO SOLO EM CAATINGA
SUBMETIDA A MANEJO FLORESTAL**

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

Aprovada em 22 de maio de 2018.

Comissão Examinadora:

Prof. Alessandro de Paula (D.Sc., Ecologia e Recursos Naturais) – UESB.

Profa. Emanuela Forestieri da Gama-Rodrigues (Ph.D., Ciência do Solo) – UENF.

Prof. Paulo Henrique Marques Monroe (D.Sc., Produção Vegetal).
Coorientador

Profa. Patrícia Anjos Bittencourt Barreto-Garcia (D.Sc., Produção Vegetal) – UESB
Orientadora

RESUMO

SANTOS, Mabel de Oliveira, M.Sc., Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, maio de 2018. **Carbono orgânico em agregados do solo em Caatinga submetida a manejo florestal.** Orientadora: Patrícia Anjos Bittencourt Barreto-Garcia. Coorientador: Paulo Henrique Marques Monroe.

A Caatinga é uma formação vegetal exclusivamente brasileira, que apesar da sua importância, ainda é o bioma menos conhecido e desfavorecido de proteção. Dentre as alternativas que se apresentam para o uso racional dos recursos da Caatinga está o Manejo Florestal Sustentável. O objetivo deste trabalho foi determinar o estoque de carbono orgânico total do solo (COT) e sua distribuição em classes de agregados em Caatinga nativa e Caatinga submetida a diferentes tipos de manejo florestal – corte seletivo por espécie, corte seletivo por diâmetro mínimo e corte raso. As coletas de solo foram realizadas em 2017, quando as áreas manejadas se encontravam com dois anos de regeneração natural. As amostras de solo foram analisadas para caracterização química e granulométrica e fracionadas para obter as frações de macroagregados (2000-250 μm), microagregados (250-53 μm) e silte+argila (< 53 μm). As duas primeiras frações foram sonificadas para obter o C ocluso e particulado. A Caatinga nativa apresentou maior estoque de COT (64,6 Mg ha^{-1}) em relação aos tratamentos manejados (média de 31,7 Mg ha^{-1}). Não houve diferença significativa na distribuição das classes de agregados e nos seus estoques de carbono entre a Caatinga nativa e os diferentes manejos. Em todos os tratamentos, observou-se predominância da fração silte+argila (média de 44,4 Mg ha^{-1}). No entanto, de forma geral, os estoques de C apresentaram maiores médias na fração macroagregados (21,7 Mg ha^{-1}). O C particulado dos macroagregados obteve médias superiores ao carbono ocluso (média 1,0 Mg ha^{-1}), enquanto nos microagregados houve maior estoque de C ocluso (1,2 Mg ha^{-1}) do que de C particulado (0,57 Mg ha^{-1}). Conclui-se que, em curto prazo, o manejo florestal promoveu redução dos estoques de COT do solo, porém não mostrou interferência na sua distribuição nas diferentes classes de agregados.

Palavras-chave: Caatinga, manejo, carbono, agregado, matéria orgânica.

ABSTRACT

SANTOS, Mabel de Oliveira, M.Sc. State University of Southwest Bahia, May 2018. **Organic carbon in soil aggregates on Caatinga submitted to forest management.** Master advisor: Patrícia Anjos Bittencourt Barreto-Garcia. Co-Advisor: Paulo Henrique Marques Monroe.

The Caatinga is an exclusively Brazilian vegetation, which despite its importance still is the least known and disadvantaged biome of protection. Among the alternatives that are presented for the rational use of the resources of the Caatinga, is the Sustainable Forest Management. The objective of this work was to determine the total organic carbon stock (TOC) and its distribution in aggregate classes in native Caatinga and Caatinga submitted to different types of forest management - selective cutting by species, selective cut by minimum diameter and shallow cut. Soil collections were carried out in 2017, when the managed areas were under two years of natural regeneration. The soil samples were analyzed for chemical and particle size characterization, and fractionated to obtain macroaggregate fractions (2000-250 μm), microaggregates (250-53 μm) and silt + clay (<53 μm). The first two fractions were sonicated to obtain the occluded C and particulate. The native Caatinga presented a higher stock of TOC (64.6 Mg ha^{-1}) than the treatments handled (mean of 31.7 Mg ha^{-1}). There was no significant difference in the distribution of the classes of aggregates and their carbon stocks between the native Caatinga and the different management. In all treatments, the predominance of the silt + clay fraction (mean of 44.4 Mg ha^{-1}) was observed. However, in general, C stocks had higher averages in the macroaggregate fraction (21.7 Mg ha^{-1}). The particulate C of the macroaggregates obtained averages higher than the occluded carbon (mean 1.0 Mg ha^{-1}), while in the microaggregates there was a higher stock of C occlusion (1.2 Mg ha^{-1}) than of particulate C (0.57 Mg ha^{-1}). It was concluded that, in a short term that the forest management promoted a reduction of soil TOC stocks, but did not show interference in its distribution in the different classes of aggregates.

Keywords: Caatinga, management, carbon, aggregates, organic matter.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1 Caatinga	4
2.2 Solos da Caatinga	5
2.3 Manejo da Caatinga	5
2.4 Carbono do solo	7
2.5 Carbono como indicador de qualidade do solo.....	8
2.6 Estabilização do carbono no solo.....	10
2.7 Fracionamento da Matéria Orgânica do Solo.....	11
2.8 Classes de agregados.....	12
3 MATERIAL E MÉTODO	14
3.1 Fracionamento em classes de agregados	16
3.2 Sonificação das classes dos agregados	17
3.3 Acumulação e correção de C	17
3.4 Taxa de perda de C.....	19
3.5 Análise Estatística.....	19
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	20
4.1 Carbono Orgânico Total	20
4.2 Classes de Agregados	22
4.3 Carbono das Classes de Agregados	24
4.4 Carbono Ocluso e Particulado	26
5 CONCLUSÃO	31
REFERÊNCIAS	32

1 INTRODUÇÃO

O bioma Caatinga é uma formação vegetal exclusivamente brasileira, que se encontra localizada na região semiárida do país. Abrange, praticamente, toda a área dos estados do Ceará e do Rio Grande do Norte, e a maior parte do sudoeste do estado do Piauí, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, do interior da Bahia e do extremo norte do estado de Minas Gerais (BERNARDES, 1999).

Apesar da sua grande importância, principalmente para a região nordeste, a Caatinga ainda é o bioma menos conhecido e desfavorecido de proteção e vem sendo intensamente impactada por ações antrópicas. Dentre as alternativas que se apresentam para o uso racional dos recursos madeireiros da Caatinga, está o Manejo Florestal Sustentável (MFS).

No Brasil, o MFS em áreas de vegetação nativa é regulamentado por dispositivo de lei federal (Lei nº 12.651 de 25 de maio de 2012) (BRASIL, 2012) e compreende um conjunto de intervenções realizadas em uma floresta, com o objetivo de obter produtos e serviços sem comprometer a sua capacidade produtiva e diversidade biológica (GARIGLIO, 2013).

Segundo a EMBRAPA (2007), os principais tipos de manejo florestal adotados na Caatinga são o corte raso e o corte seletivo, que pode ser realizado com base na seleção por diâmetro mínimo ou por espécie. O tipo de manejo florestal adotado determina a magnitude das alterações no ecossistema, sendo de extrema importância para a manutenção da sua riqueza e diversidade. Apesar disso, pouco se sabe sobre quais seriam os manejos mais adequados à conservação do bioma, o que torna relevante a realização de estudos para identificar práticas de manejo que favoreçam a regeneração natural e manutenção do ciclo de nutrientes e da sua biodiversidade.

Para compreender o nível de interferência ocasionado por diferentes práticas de manejo, podem ser avaliados diferentes componentes do ecossistema, como a vegetação, a fauna e o solo. E, em se tratando de manejo do solo, diversas propriedades mensuráveis como os indicadores químicos, biológicos e físicos do solo, podem ser utilizadas para avaliar possíveis impactos em sua qualidade (ANDREWS et al., 2004). Esses indicadores são capazes de refletir a condição de

sustentabilidade de um determinado ecossistema e o seu *status* ambiental (ARAÚJO e MONTEIRO, 2007).

Dentre os principais indicadores físicos do solo estão a densidade do solo, porosidade, capacidade de retenção de água e estabilidade de agregados. Como indicadores químicos, normalmente são utilizadas variáveis relacionadas à acidez do solo, conteúdos de nutrientes e carbono orgânico (CO) (ARAÚJO et al., 2012).

O acúmulo do CO no solo é diretamente influenciado pelo sistema de manejo usado e por características da vegetação e do ambiente, como a quantidade do material orgânico depositado sobre o solo e as condições edafoclimáticas (BALDOCK e NELSON, 2000). Por essa razão, constitui-se como um dos indicadores mais comumente utilizados para a avaliação de qualidade do solo (MIELNICKZUK, 1999).

A distribuição do CO está diretamente relacionada à agregação do solo, já que esta última resulta da ligação entre as partículas primárias do solo (argila, silte, areia) e a matéria orgânica (MO) (KEMPER e ROSENAU, 1986). Essa ligação é determinada pela presença de coloides, agentes cimentantes e ação microbiana do solo (TISDALL e OADES, 1982), dando origem à formação de estruturas de diferentes formas e tamanhos, denominadas de macro ou microagregados.

A presença de agregados influencia a estrutura do solo, afetando a aeração, retenção de umidade, atividade biológica (URQUIAGA et al., 2006), erosão e sequestro ou emissão de carbono (DENEFF et al., 2001). Sendo assim, a adoção de diferentes práticas de manejo pode influenciar de forma direta ou indireta a agregação e, conseqüentemente, o armazenamento de CO no solo.

Nesse contexto, o conhecimento da distribuição do C orgânico em classes de agregado do solo também pode ser utilizado para avaliar o nível de interferência de diferentes práticas de manejo florestal. Apesar de o solo ser considerado um componente de extrema relevância na diferenciação fisionômica e florística da Caatinga. Dessa forma, o presente estudo objetivou avaliar o efeito de curto prazo de diferentes tipos de manejo florestal sobre o estoque de carbono orgânico total e das classes de agregados do solo em área de Caatinga arbórea, localizada na Floresta Nacional de Contendas do Sincorá, Bahia.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Caatinga

O bioma Caatinga tem seu nome de origem tupi-guarani e significa “Floresta branca”, devido ao seu aspecto de vegetação seca, de folhas que caem (ARAÚJO FILHO, 2013) e troncos de árvores esbranquiçadas. Ocupa cerca de 800.000 km² de área, segundo o Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2006), sendo denominado de “polígono das secas”, equivalendo a 60% da região nordeste e 11% do território nacional (AB’SÁBER, 1974).

A Caatinga é delimitada a leste e a oeste pelas Florestas Atlântica e Amazônica, nessa ordem, e ao sul pelo Cerrado, representa um grande patrimônio biológico para a região semiárida e, também, um potencial expressivo para o desenvolvimento de atividades produtivas, apesar da baixa precipitação pluviométrica (LEAL et al., 2005; VIEIRA et al., 2009). Segundo Krol et. al (2001), o seu clima é marcado por chuvas muito irregulares, variando de ano para ano, resultando em momentos de secas periódicas severas.

De acordo com Araújo Filho (2013), as precipitações pluviais e as características químicas e físicas do solo determinam o crescimento e a densidade vegetacional do ecossistema da Caatinga. Esse patrimônio biológico é típico de regiões com baixo índice de chuvas e possui solos argilosos, vermelhos, mas também secos, rasos e pedregosos (RIZZINI, 1997), com temperaturas médias anuais elevadas.

Segundo o IBGE (1992), a Caatinga tem sido caracterizada como Savana estépica, sendo hierarquizada em outras tipologias. Fernandes (2000) relata ser acertado considerar apenas duas fitofisionomias, a Caatinga arbórea e a Caatinga arbustiva e as outras características vão depender de cada profissional que estiver analisando a vegetação.

A Caatinga é um dos biomas brasileiros menos estudados e menos protegidos pelas unidades de conservação (UC), às quais se aplicam proteção garantida pelo Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC) (LEI 9.985/2000) (BRASIL, 2000). Dentre as unidades de conservação de uso sustentável está a categoria Floresta Nacional (FLONA).

2.2 Solos da Caatinga

Como relata Suassuna (2002), na área de cobertura do bioma Caatinga, comumente os solos encontrados são rasos, com baixa capacidade de infiltração, alto escoamento superficial, além de reduzida drenagem natural. Já Araújo Filho (2013) mencionou que os solos do semiárido são quimicamente adequados, porém em razão da pouca profundidade, afloramentos rochosos e presença de áreas planas com cascalho, eles possuem sérias restrições físicas. São encontrados diferentes solos na Caatinga, sendo fundamental que se conheça suas particularidades, pode-se citar: Latossolos, Nitossolos, Argissolos, Luvisolos, Chernossolos, Cambissolos, Planossolos, Plintossolos, Vertissolos e Neossolos (ARAÚJO FILHO, 2011).

O uso inadequado desses solos pode causar danos ambientais severos e acelerar a sua degradação (SANTIAGO et. al, 2013), mesmo sendo uma ação reversível, levando-se tempo e recursos diversos para reverter a situação. Isso destaca a importância de conhecer e implementar sistemas de manejo adequados, que causem a menor interferência possível no solo.

2.3 Manejo da Caatinga

O manejo florestal (MF) pode ser entendido como um conjunto de ações ou intervenções realizadas dentro de uma área florestal, sempre visando a obtenção continuada de serviços e produtos da floresta, sem comprometer a capacidade produtiva e a diversidade biológica (GARIGLIO, 2013).

O MF, dentro do contexto de conservação e sustentabilidade, mostra-se como uma alternativa à prática de produção florestal, visando conservar a floresta pela utilização racional de seus recursos, gerando benefícios econômicos e minimizando os impactos ecológicos, promovendo o desenvolvimento da região e garantindo a manutenção de qualidade de vida sustentável (ROTTA; MICOL; SANTOS, 2006).

O manejo florestal da Caatinga – sendo bem executado – pode ser, portanto, considerado uma das intervenções humanas positivas realizadas com ações sustentáveis, sem que haja o aumento da degradação, emissão de CO₂ para a atmosfera e exportação de nutrientes, apresentando vantagens para o bom potencial

do solo do bioma. No entanto, devido à real perspectiva que se encontra a Caatinga, com condições de degradação e diminuição da riqueza e diversidade, é necessário buscar o emprego de técnicas adequadas de manejo florestal, que promovam a manutenção das características da vegetação e do solo.

A atividade agrícola, por exemplo, transformou, por vezes completamente, a fisionomia original da Caatinga de trechos onde as condições de solo e água são mais favoráveis. Esse tipo de degradação está diretamente relacionado ao manejo inadequado da vegetação e diferentes tipos de solo existentes, onde as modificações da cobertura vegetal tendem a aumentar os processos erosivos, deteriorando as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (SOUZA; ARTIGAS; LIMA, 2015; BERNARDES, 1999).

Para Lal (1997), o declínio no estoque de matéria orgânica e, conseqüentemente, o aumento da emissão de CO₂ para a atmosfera, acontece devido às práticas de manejo inadequado, que modificam o ambiente do solo. Gariglio et al. (2010) afirmam que a mudança no uso do solo implica ainda na redução dos estoques de biomassa das florestas, diminuindo a taxa de crescimento e retardando sua capacidade para fixar CO₂ atmosférico, tanto na biomassa viva quanto na biomassa morta e no solo. Sendo assim, para que não haja efeitos negativos no solo, tanto em relação à qualidade quanto à fixação de C, deve-se planejar sustentavelmente a escolha das práticas de manejo da vegetação para que sejam evitados esses impactos na Caatinga.

Há alguns tipos de manejo que são utilizados na Caatinga e todas as técnicas devem ser verificadas quanto ao benefício de acordo com cada necessidade. Segundo Carvalho et al. (2010), essas práticas de manejo podem ser: implementação de sistemas de plantio direto, recuperação de pastagens degradadas, implantação de sistemas integrados de cultivo, reflorestamento de áreas marginais, uso de espécies que tenham alta produção de biomassa, eliminação de queimadas, sistemas de produção agroflorestal, entre outras, como a adubação verde.

Usualmente, o manejo florestal na Caatinga é baseado nas técnicas de corte raso (Craso), comumente conhecido como supressão vegetal ou Corte seletivo, que pode ser corte seletivo por diâmetro (Cdap) ou corte seletivo por espécie (Cesp), sendo este último o menos utilizado como forma de manejo da Caatinga. No corte

raso, todas as árvores e arbustos existentes, sem considerar tamanho, diâmetro ou o tipo de espécie, beneficiam-se todos os produtos extraídos da natureza, deixando apenas serapilheira como forma de proteção solo, além da rebrota de nutrientes. No corte seletivo por diâmetro são cortadas somente árvores com diâmetro mínimo igual ou acima do preestabelecido. Já no corte por espécie, retiram-se apenas as espécies escolhidas para determinados produtos, sendo essa técnica a menos utilizada (MMA, 2006).

Diante do exposto, verifica-se que as diferentes práticas de manejo adotadas e manutenção dos restos culturais podem alterar a entrada e saída de C do solo para a atmosfera. Fica evidente, portanto, que trabalhar o manejo sustentável em áreas da Caatinga é de extrema importância para o melhoramento do ecossistema, recuperação de áreas, minimizando o desmatamento e, conseqüentemente, diminuindo a emissão de gases do efeito estufa.

2.4 Carbono do solo

Os ecossistemas terrestres, que abrangem a vegetação e o solo, são considerados atualmente como um grande sumidouro de carbono. Segundo Monroe (2015), um dos reservatórios mais importantes no ciclo de carbono é o solo. Quando manejados de forma adequada, os solos podem contribuir para a redução da emissão de gases do efeito estufa (MACHADO, 2005). De acordo com Six et. al (2002), 70% dos solos no mundo são de origem florestal.

O carbono do solo é estimado em 2300 Pg e o carbono total equivalente a quatro vezes o compartimento dos vegetais e três vezes a quantidade presente na atmosfera (LAL, 2004). Por isso, em qualquer interferência que o solo venha sofrer sem que haja um manejo adequado, podem ocorrer perdas de C para a atmosfera e impactar o meio ambiente negativamente. De acordo com Lal (1997), mudanças no solo decorrentes de práticas de manejo inadequado podem levar a perdas de matéria orgânica do solo, contribuindo para a emissão de CO₂ na atmosfera.

Em contrapartida, o uso de sistemas de produção animal em pastagens – conhecido como sistema pastoril – muito comum no nordeste brasileiro, vem sendo considerado, de acordo com Costa et al. (2009), um dos grandes responsáveis pelas mudanças negativas no meio ambiente. Isso se deve, principalmente, ao fato desse

sistema aparecer, em geral, em substituição a ambientes naturais de mata, havendo com isso grandes liberações de C, principalmente devido às práticas de formação dos pastos, em especial quando se faz uso de queimadas.

O carbono do solo, segundo Machado (2005), encontra-se em compartimentos com diferentes taxas de transformação, sendo imprescindíveis para a identificação de usos e manejos do solo que favoreçam o sequestro de carbono.

2.5 Carbono como indicador de qualidade do solo

A qualidade do solo (QS) é de fundamental importância para o bem-estar do meio ambiente, uma vez que ela é relacionada à interação do ecossistema como um todo. Doran e Parkin (1994) definiram a qualidade do solo como sendo a capacidade de o solo funcionar dentro dos limites de um ecossistema, promovendo a saúde de plantas e animais, sustentando a produtividade biológica e mantendo a qualidade do ambiente.

Considerando a qualidade do solo, é necessário avaliar algumas de suas propriedades sendo estas consideradas como atributos indicadores do solo (DORAN e PARKIN, 1994). Para Islam e Weil (2000), os indicadores podem ser distinguidos em três grandes grupos: os permanentes, que são inerentes ao solo (profundidade, camadas restritivas, textura, mineralogia); os intermediários, que demonstram uma crítica influência da capacidade do solo em desempenhar suas funções (agregação, biomassa microbiana, quociente respiratório, carbono orgânico total e ativo) e os efêmeros, cujas alterações ocorrem em curto espaço de tempo ou são modificados pelas práticas de cultivo (umidade do solo, densidade, pH, disponibilidade de nutrientes). Para os autores ora citados, os indicadores intermediários são de maior importância para integrarem um índice de qualidade do solo.

Indicadores de qualidade do solo, de acordo com Araújo et al. (2012), podem ser classificados como químicos, físicos e biológicos. Santiago e Dia et al. (2013) também afirmaram que as variáveis de qualidade do solo estão relacionadas com suas propriedades físicas, químicas e biológicas, em ecossistema natural ou manejado. Sendo de fundamental importância conhecer as variáveis, de modo a avaliar os impactos e planejar o manejo sustentável dos agroecossistemas, para conservação do solo e da água.

Alguns autores divergem sobre as estratégias de avaliação da qualidade do solo. Uns consideram que é necessário um conjunto de atributos físicos, químicos e biológicos para se obter um índice confiável, como Larson e Pierce (1991). Outros já consideram que um número menor de atributos-chave possa expressar significativamente a qualidade do solo, como a matéria orgânica do solo (GREGORICH et al., 1994).

Os componentes da MOS, nesse contexto, apresentam potencial para ser um indicador de QS, pois é fonte primária de nutrientes e atua em outros atributos do solo. Entretanto, em situações onde o manejo ocorreu em curto prazo, alguns indicadores podem não ser eficientes em discriminar alterações na QS (CONCEIÇÃO et al., 2005). Nesse caso, a avaliação de compartimentos da MOS, como a particulada, pode ser uma alternativa de incremento da sensibilidade (FREIXO, 2000). Esta fração desempenha importante função na ciclagem de nutrientes, podendo ser considerada uma fração lábil no solo. Dentre esses atributos, está o carbono da biomassa microbiana do solo (VARGAS e SCHOLLES, 2000) e o potencial de mineralização de carbono (CONCEIÇÃO et al., 2005).

A matéria orgânica particulada é considerada um indicador mais sensível para diferenciar QS, tanto em culturas anuais, de acordo com Liebig et al. (2004), como em culturas perenes, segundo Koutika et al. (2005). Vezzani et al. (2009) relatam que, no Brasil, alguns autores estão pesquisando sobre qual componente da MOS é o melhor indicador para as diferentes condições ambientais do país e concluíram que carbono da fração leve e carbono lábil (LEITE et al., 2003), C e N da fração < 53 µm (CONCEIÇÃO et al., 2005) e C e N da biomassa microbiana e da fração leve são os mais indicados.

Atualmente, a busca pelas práticas/sistemas de uso da terra que melhor capturam e/ou sequestram carbono está em crescente demanda, seja para benefício financeiro ou ambiental. Essas práticas devem ser muito bem administradas, pois o uso do solo e manejo inadequado podem contribuir ainda mais para um impacto negativo e, conseqüentemente, a perda do C para a atmosfera, na forma de CO₂ atmosférico. Isso contribui para a degradação da matéria orgânica do solo, elevando os danos do efeito estufa, além de atingir as características físicas e químicas, bem como a biodiversidade.

Ao contrário, práticas de manejo adequadas e eficientes, podem aumentar a MOS, garantindo a QS e contribuindo para diminuir a emissão de CO₂. Por isso, é necessário realizar o monitoramento do manejo dos solos visando à manutenção e preservação de qualidade dos solos (FIALHO et al., 2006).

2.6 Estabilização do carbono no solo

Tem aumentado a preocupação em relação às mudanças climáticas no planeta, principalmente aquelas resultantes das emissões de dióxido de carbono (CO₂) e outros gases de efeito estufa (GEE), como o metano (CH₄) e o óxido nitroso (N₂O). O aumento da emissão de GEE e o conseqüente aquecimento do planeta vêm propiciando a busca por estratégias que visem à redução das fontes desses gases (CARVALHO et al., 2010).

Assim, algumas estratégias são usadas para minimizar a emissão desses gases, como a redução do uso de combustíveis fósseis, diminuição do desmatamento e de queima de material de origem vegetal, uso inadequado do solo e técnicas para aumentar o sequestro de C no solo e na vegetação. O solo, portanto, é um compartimento importante como reserva de C, exercendo um papel fundamental sobre a emissão de gases do efeito estufa e conseqüentes mudanças climáticas globais.

Essas mudanças no uso e no manejo dos solos podem causar alguns efeitos, no que diz respeito ao estoque de C. Quando o solo é manejado de forma inadequada, o carbono orgânico pode ser mineralizado e emitido para a atmosfera na forma de CO₂. As práticas de manejo podem beneficiar ou não a estabilização do C no solo, sendo este um processo diferente de acumulação ou emissão. Porém, a capacidade de proteger e estabilizar o C no solo vai depender também das características do solo (BAYER et al., 2011).

A estabilidade dos macroagregados e manutenção da matéria orgânica no seu interior dependem da presença de agentes ligantes liberados no solo como carboidratos depositados pelas raízes, raízes finas e hifas de fungos (TISDALL e OADES, 1982). Segundo Christensen (2000), existem três mecanismos que podem influenciar a estabilização e proteção da matéria orgânica no solo. Esses mecanismos são: oclusão dentro do agregado ou nos poros finos, considerado o

mais importante mecanismo de estabilização da MO do solo (BAYER et al., 2000); complexação dos compostos orgânicos com a matriz mineral do solo e recalitrância de estabilização da MOS.

Sollins et al. (1996) também citam os mecanismos de estabilização, como a redução potencial de perda da MOS por meio da respiração microbiana, erosão ou lixiviação. Essa estabilidade da MOS, de acordo com Christensen (1996; 2000), pode ser controlada através dos agregados estáveis, da recalitrância intrínseca dos compostos e das moléculas constituintes e da complexação de compostos orgânicos.

Essa estabilização da matéria orgânica do solo (MOS) nos agregados é o principal mecanismo de sequestro de C em longo prazo (VERCHOT et al., 2011). Geralmente, enquanto o aumento da MOS é associada a aumento de macroagregados ricos em C, a longo prazo, o sequestro depende da estabilização do carbono em microagregados (SIX et al., 2000). A intensificação dos mecanismos de estabilização do C adicionado ao solo pode levar ao aumento no aporte de C através de deposição de resíduos vegetais, potencializando a retenção de C no solo.

2.7 Fracionamento da Matéria Orgânica do Solo

O fracionamento da MOS visa discriminar a fração particulada da associada aos minerais (CONCEIÇÃO et al., 2005). A matéria orgânica é muito sensível às diversas práticas de manejo (CARDOSO et al., 2013) e tem um papel muito importante nas diversas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (SOUZA et al., 2006), influenciando as diversas reações químicas, sendo fonte de alimento para os microrganismos. Além disso, tem uma fundamental importância na formação dos agregados do solo. Por isso, os sistemas de manejo do solo devem ser mais estudados para favorecer o aumento ou a manutenção das suas concentrações.

O solo produtivo é composto, em média, por 5% de matéria orgânica, que determina grande parte da produtividade do solo (CARDOSO et al., 2013). Já em relação ao C orgânico no solo, constitui parte considerável da MOS, sendo um dos seus componentes principais. De acordo com Bayer et al. (2004), o C pode se acumular em frações lábeis ou estáveis da matéria orgânica do solo, o que implica

na durabilidade do seu efeito quanto à retenção do C atmosférico, alterando também as propriedades físicas, químicas e biológicas dos solos.

Como o conhecimento das relações do solo tem avançado, metodologias de fracionamento são estudadas. Bayer et al. (2004) reportam técnicas que são usadas para verificar em quais compartimentos a MO está acumulada, encontrando-se, portanto, técnicas de fracionamento físico da MO, podendo estas ser granulométricas, de acordo com Cambardella e Elliot (1992), que permitem o estudo dos compartimentos mais humificados ligados à fração mineral do solo, areia, silte e argila, tipicamente mais estáveis às mudanças nos ambientes do solo provocadas pelo manejo (FELLER e BEARE, 1997); ou densimétricas, de acordo com Golchin et al. (1994), que permitem o isolamento e a quantificação dos compartimentos mais lábeis, fração leve livre (FLL) e intra-agregado (FLI), formados principalmente por resíduos orgânicos em diferentes estádios de decomposição (CHRISTENSEN, 1996) ou, ainda, uma mistura das duas técnicas de acordo com Six et al. (1998), que podem inferir sobre o efeito dos sistemas de manejo na qualidade do solo.

2.8 Classes de agregados

Os agregados são considerados por Kemper e Rosenau (1986) um conjunto de partículas primárias do solo, argila, silte e areia, que se aderem fortemente umas às outras, mais do que com as partículas vizinhas.

De acordo com Meurer (2000), a MOS é de suma importância na formação dos agregados e da sua estabilização pela ação como agente cimentante. Sendo assim, essa agregação está relacionada diretamente ao armazenamento do C no solo, pois irá funcionar como um agente ligante, agindo de forma direta no solo. Ou seja, quanto maior o diâmetro do agregado, mais C orgânico. Essa relação influenciará os teores do C orgânico, permitindo maior ou menor agregação (CASTRO FILHO e LOGAN, 1991).

De acordo com Hillel (2003), os agregados podem ser divididos em classes de tamanho, que podem variar de milímetros a alguns centímetros. Deneff et al. (2007) delimitaram a agregação dos solos em duas classes básicas de agregados; os micro e os macroagregados como inferior e superior, respectivamente, do que 0,25 mm (TISDALL; OADES, 1982).

Outra classificação dos agregados vem de Six et al. (2000), que afirmaram que a deposição contínua de resíduos vegetais vai estimular a formação de microagregados (fração < 250 µm), que com o tempo vão se juntar para formar os macroagregados, que são dependentes do contínuo aporte de C no solo. Sendo formados no entorno da matéria orgânica adicionada ao solo, através dos resíduos vegetais, transformando-se em C orgânico particulado. Tendo como processo importante as hifas, fungos e raízes de plantas, bem como a fauna do solo para promover esse processo (SIX et al., 2002b).

Tisdall e Oades (1982), em trabalho sobre o conceito da hierarquia dos agregados, sustentam que os microagregados, que são altamente estáveis, são formados pela interação granulométrica entre si. Estes se unem a outras estruturas, com incremento no teor de C, denominadas de macroagregados, sendo estes resultantes da ação mecânica de raízes finas e hifas de fungos que entrelaçam os macroagregados, formando estruturas mais complexas e diversificadas. Isso valida, portanto, a teoria para solos tipo Argissolos e Chernossolos (OADES e WATERS, 1991).

3 MATERIAL E MÉTODO

O estudo foi conduzido na Floresta Nacional Contendas do Sincorá (FLONA), localizada no município de Contendas do Sincorá, situado na Chapada Diamantina, região sudoeste da Bahia, Brasil. A FLONA constitui a área de estudo do presente trabalho e é considerada bastante homogênea. Possui área total de cerca de 11 mil hectares e, segundo o MMA (2016), tem vegetação predominante classificada como Caatinga arbórea.

A FLONA foi criada em 1999 e tem como objetivo principal o uso múltiplo sustentável dos recursos florestais e a pesquisa científica, dando ênfase em métodos para exploração sustentável de florestas nativas (SNUC, 2000), incluindo-se assim o manejo florestal.

O clima da região é semiárido quente (BSwh), conforme classificação de Köppen. O solo da área de estudo pertence à classe Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico (MMA, 2006) e apresenta textura franca.

A área experimental foi composta por 16 parcelas de 400 m², que corresponderam a quatro (04) repetições de quatro (04) tratamentos, que foram constituídos por três tipos de manejo florestal e a Caatinga não manejada (Caatinga nativa), utilizada como testemunha. Os tipos de manejos avaliados foram corte seletivo por espécie (Cesp), corte seletivo por diâmetro mínimo (Cdap) e corte raso (Craso), conforme descrito na Tabela 1.

Dentro das quatro parcelas experimentais de cada tratamento, foram coletadas aleatoriamente cinco (05) amostras simples de solo (camada 0 a 10 cm) para obter uma (01) amostra composta. Também foram coletadas amostras indeformadas para a determinação da densidade do solo. Todas as coletas foram realizadas em julho de 2017, quando as áreas manejadas se encontravam com dois anos de regeneração natural.

Tabela 1 – Diferentes tratamentos adotados em área de Caatinga – Floresta Nacional Contendas do Sincorá, Bahia.

TRATAMENTOS	CARACTERÍSTICAS DO MANEJO
Caatinga nativa	Caatinga não manejada, sem interferência antrópica.
Corte Seletivo por Espécie (Cesp)	Corte seletivo de três espécies de maior ocorrência (<i>Pseudobombax simplicifolium</i> , <i>Commiphora leptophloeos</i> , <i>Jatropha molissima</i>).
Corte Seletivo por Diâmetro (Cdap)	Corte seletivo de todas as árvores com diâmetro à altura do peito (dap) superior a 5 cm.
Corte Raso (Craso)	Retirada de 100% dos arbustos e árvores, independentemente do tamanho, espécie, dap e idade.

O manejo florestal das parcelas experimentais foi executado em maio de 2015. Antes do manejo, a área estudada encontrava-se em estágio sucessional tardio, tendo em vista que não sofria intervenção antrópica desde 1997 (ano do último registro de exploração) (MMA, 2006).

As amostras de solo foram secas ao ar e, em seguida, passadas por uma peneira de 2.000 μm (Terra Fina Seca ao Ar – TFSA).

Para determinação da densidade do solo foi usado o método do anel volumétrico, que consistiu em secar as amostras de solo em estufa de ar forçado a 105 °C até peso constante e pesar em balança analítica de precisão (0,0001 g). Os resultados foram obtidos de acordo a fórmula:

$$D = m/v$$

Em que:

D: Densidade do solo, em g cm^{-3} ;

m: massa do solo, em g;

v: Volume do solo, em cm^3 .

As amostras de solo foram analisadas para a caracterização química e granulométrica, conforme Tabela 2. Para isso, foram empregados procedimentos descritos pela EMBRAPA (2017): granulometria pelo método da pipeta e atributos químicos (pH em água; P e K por Mehlich; Ca^{+2} , Mg^{+2} e Al^{+3} trocáveis por KCl 1 mol L^{-1}).

Tabela 2 – Atributos químicos e a granulometria de solo (profundidade de 0 a 10 cm) sob Caatinga não manejada (testemunha) e Caatinga submetida a manejo florestal (Cesp – corte seletivo por espécie; Cdap – corte seletivo por diâmetro e CR – corte raso) na Floresta Nacional Contendas do Sincorá, Bahia.

Tratamentos	pH	P	K	Ca	Mg	H+AL	Areia	Silte	Argila
	H ₂ O	--- mg dm ⁻³ ---	----	----- Cmol _c dm ³ -----	-----	-----	----- g kg ⁻¹ -----	-----	-----
Caatinga nativa	6,6	4	0,2	4,8	1,9	1,7	190	430	380
Cesp	6,4	3	0,2	4,1	1,7	2,0	210	370	420
Cdap	6,5	3	0,2	3,8	1,8	2,0	180	410	410
Craso	6,3	3	0,2	3,8	1,7	1,9	200	360	440

pH: ph em água; P: Fósforo; K: Potássio; Ca: Cálcio; Mg: Magnésio; H+Al: acidez trocável (hidrogênio+alumínio).

3.1 Fracionamento em classes de agregados

O método do fracionamento adotado, de acordo com Monroe (2015), consistiu em separar o solo em classes de agregados de diferentes tamanhos por peneiramento úmido.

Para o fracionamento das classes dos agregados, 50 g de amostras de TFSA foram pesadas em balança analítica de precisão (0,0001 g). Em seguida, as amostras foram submersas em um Becker de 250 ml com água destilada. Após 5 minutos, as amostras passaram por uma peneira de malha de 250 µm, fazendo-se movimentos repetitivos de cima para baixo, aproximadamente 3 cm, durante 4 minutos.

A fração que restou no topo da peneira de 2000-250 µm foi coletada em um recipiente de plástico de 400 ml e denominada macroagregados (2000-250 µm). Posteriormente, as amostras que passaram pela peneira de 250 µm foram tamisadas novamente em peneira de 53 µm, o mesmo processo no qual foi obtida a fração de macroagregados. Essas amostras retidas na peneira de 53 µm foram denominadas microagregados (250-53 µm). E, por fim, as amostras que passaram na peneira de 53 µm foram denominadas fração silte-argila (< 53 µm).

Todas essas frações foram secas em estufas de ar forçado de 60 °C, durante o período de 72 horas. As amostras foram pesadas em balança analítica de precisão (0,0001 g) e calculada a porcentagem do peso de cada fração, seguindo metodologia de Gama-Rodrigues et al. (2010).

A partir dos dados obtidos, foi possível avaliar o impacto dos diferentes tipos de manejo florestal, sobre as classes de agregados do solo, comparado com o solo da Caatinga sem manejo.

3.2 Sonificação das classes dos agregados

A técnica de sonificação para rompimento dos agregados do solo teve o objetivo de quantificar o carbono ocluso nos agregados e avaliar a força necessária para a quebra total dos agregados por energia aplicada ($J\ ml^{-1}$). A técnica foi anteriormente usada por outros autores como Sarkhot et al. (2007) e Gama-Rodrigues et al. (2010).

O procedimento consistiu em primeiramente pesar 5 g da fração de maior diâmetro (macroagregado – entre 2000-250 μm) ou 3 g da fração de diâmetro menor (microagregado – 250-53 μm). Em seguida, as amostras foram submersas em 100 ml de água deionizada em um becker de 500 ml. Foi inserida uma sonda em profundidade de 10 mm e a temperatura foi mantida abaixo de 35 °C, com o uso de bolsas de gelo.

As amostras foram sonificadas utilizando a energia aplicada (EA) que foi obtida na calibração da sonificação, pelo uso de uma amplitude de 38% durante 10 minutos com um Sonificador (processador ultra-sônico – Cole Parmer 60), segundo metodologia adaptada por Monroe (2015).

Essas amostras sonificadas passaram pelas mesmas peneiras em que foram obtidas as classes de macroagregados (entre 2000 - 250 μm) e microagregados (250-53 μm). O carbono orgânico que passou pela peneira de macroagregado e microagregado foi chamado de carbono orgânico do agregado (COA) ou carbono ocluso (CO) e o carbono orgânico que ficou retido na peneira foi chamado de fração particulada (CP) (SARKHOT et al., 2007; GAMA-RODRIGUES et al., 2010).

3.3 Acumulação e correção de C

O CO do solo foi determinado via oxidação com $K_2Cr_2O_7$ 0,167 mol L^{-1} em meio ácido por meio do método descrito por Yeomans & Bremner (1988). O estoque

de C da camada 0 a 10 cm de solo foi calculado com base no teor de C e na densidade do solo estocado em até 1 m de profundidade, conforme fórmula abaixo:

$$\mathbf{ESTc = COT (g\ 100g^{-1}) \times Ds \times Ecs}$$

Em que:

ESTc: Estoque de C, em Mg ha⁻¹;

COT: Carbono Orgânico Total;

Ds: Densidade do solo (g cm⁻³);

Ecs: Espessura da camada de solo (cm).

O estoque de C ocluso nos agregados foi calculado de acordo com a seguinte fórmula:

$$\mathbf{CONCTco = \% CO \times \% Mag \times Ds \times Ecs}$$

CONCTco: Concentração de C ocluso, em Mg ha⁻¹;

COT: Carbono Orgânico do Agregado;

Mag: Massa do agregado;

Ds: Densidade do solo (g cm⁻³);

Ecs: Espessura da camada de solo (cm).

Os dados foram corrigidos de acordo com a espessura da camada de solo, de 10 cm, conforme proposto por Ellert e Bettany (1995), que consideram que a espessura da camada de solo pode sofrer compactação pelo manejo adotado quando sistemas naturais são convertidos.

Para isso, considerou-se a espessura da camada de solo de referência, que no caso deste estudo foi a Caatinga não manejada. Para o cálculo da espessura da camada de solo foi utilizada a seguinte fórmula:

$$\mathbf{Ead/sub = (Mref. - Mtrat.)/Ds/100}$$

Em que:

Ead/sub: Espessura da camada a ser adicionada ou subtraída no cálculo do estoque (cm);

Mref: Massa de solo na respectiva camada da referência (Mg ha⁻¹);

Mtrat: Massa de solo na respectiva camada no tratamento (Mg ha^{-1});

Ds: Densidade do solo (g/cm^3).

3.4 Taxa de perda de C

A taxa de perda de carbono foi calculada considerando a perda de carbono com o manejo da Caatinga. Para isso, utilizou-se a seguinte equação:

$$TPC = \frac{C_{Ref} - C_{Man}}{T}$$

Em que:

TPC = Taxa de perda do carbono orgânico;

C_{Ref} = Carbono orgânico da referência (Caatinga nativa);

C_{Man} = Carbono orgânico do manejo;

T = Período do manejo.

3.5 Análise Estatística

Os dados foram analisados quanto à homogeneidade das variâncias dos erros, pelo teste de *Cochran*, e da normalidade pelo teste de *Lilliefors*. Com os dados paramétricos, foram realizadas comparações múltiplas das médias dos tratamentos pelo Teste de Fisher (ou *LSD – Least Significant Difference*) a 5% de significância.

As análises estatísticas foram realizadas por meio dos programas *STATISTICA@v.10.0* e *SIGMAPLOT@v.12.0*. Este último adotado apenas na construção dos gráficos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Carbono Orgânico Total

A Caatinga nativa apresentou maior estoque de COT ($64,6 \text{ Mg ha}^{-1}$) em relação aos tratamentos de manejo florestal, os quais não apresentaram diferença significativa entre si (média de $31,7 \text{ Mg ha}^{-1}$) (Figura 1). Esse maior estoque de C na Caatinga nativa pode ser atribuído à inalteração do ecossistema, que permitiu a manutenção do aporte contínuo de material vegetal na superfície do solo, proveniente da queda das folhas e de outros componentes das plantas, favorecendo o acúmulo de matéria orgânica do solo (MOS) na camada de 0-10 cm.

Os estoques de carbono orgânico do solo são resultantes da interação dos fatores que determinam a formação da matéria orgânica e aqueles que promovem sua decomposição (LEITE et al., 2003; SILVA et al., 2004). A explicação mais aceita considera que o estoque de carbono do solo sob floresta nativa representa um equilíbrio entre a entrada de fitomassa morta e a perda de CO_2 pela decomposição, havendo um declínio no estoque de matéria orgânica após a conversão de florestas nativas em sistemas manejados (HOUGHTON et al., 1991).

O manejo florestal pode, no entanto, estimular a decomposição da MOS da floresta e modificar sua qualidade pela seleção de espécies (quantidade e qualidade da serapilheira, enraizamento e profundidade), influenciando diretamente o fluxo de C no solo.

A maioria dos estudos com COT do solo tem mostrado pouca sensibilidade desse atributo em diferir sistemas de manejos (LEITE et al., 2003), a exemplo dos resultados encontrados por Souza et al. (2006), que observaram que este atributo não foi sensível ao manejo em curto prazo. No entanto, no presente estudo o COT mostrou-se capaz de detectar mudanças ocasionadas pelo manejo florestal.

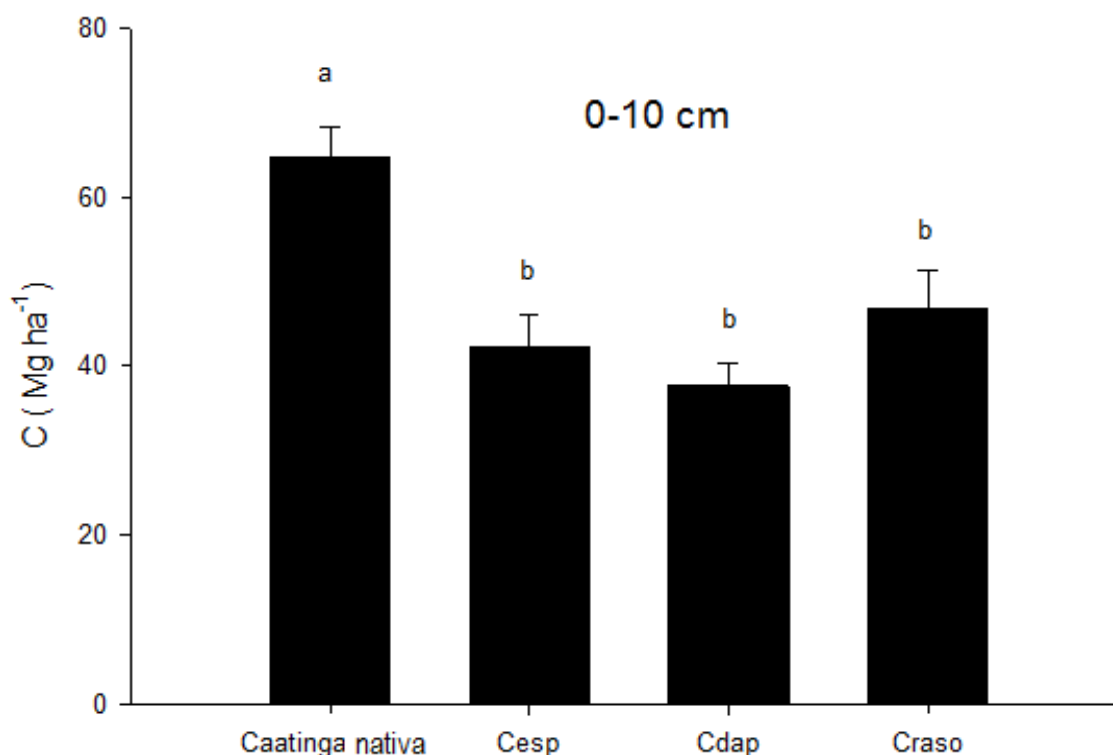


Figura 1 – Estoque de Carbono Total (CT) do solo na camada de 0-10 cm de profundidade, sob diferentes tratamentos: Caatinga não manejada (Caatinga nativa); Corte Seletivo por Espécie (Cesp), Corte Seletivo por Diâmetro (Cdap) e Corte Raso (Craso), na Floresta Nacional de Contendas do Sincorá – BA. Letras minúsculas iguais, que compararam os tratamentos, não diferem entre si pelo teste LSD a 5% de significância.

Considerando as taxas de perda de carbono (TPC), verificou-se redução do estoque de carbono total em todos os manejos em relação à Caatinga não manejada. A TPC variou de 13,5 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ no corte seletivo por diâmetro, 11,1 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ no corte seletivo por espécie e 8,9 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ no corte raso.

Reduções no COT também foram verificadas por Freitas et al. (2018), que constataram perdas na ordem de 23% em área reflorestada e 34% em área cultivada com cana-de-açúcar; e por Araújo et al. (2013), que observaram diminuição de 41% ao comparar áreas de floresta submetida a manejo florestal com floresta não manejada.

Leite (2000), Silva et al. (2004) e Araújo et al. (2013) reportam que essa redução pode ser atribuída às menores entradas de materiais orgânicos e também ao aumento da erosão do solo e aceleração dos processos de mineralização da MOS e oxidação de carbono orgânico em sistemas manejados em relação às florestas nativas. Assim, pode-se dizer que a presença de floresta como cobertura, auxilia no aumento ou manutenção do estoque de carbono no solo (BALBINOT, 2002).

Diante do exposto, verifica-se que mudanças nas práticas de manejo florestal podem afetar os teores e estoques de COT no solo. Isso pode estar relacionado a alterações no aporte anual de resíduos vegetais, na taxa de decomposição da matéria orgânica (LEITE, 2000) e ainda a estrutura do solo (JANDL et al., 2007). No entanto, os manejos avaliados no presente estudo não promoveram alteração da estrutura do solo, a exemplo daqueles que adotam preparo do solo com revolvimento. É provável que a menor taxa de redução de C do tratamento CR, manejo mais invasivo, em relação à Caatinga não manejada, esteja relacionada à grande quantidade de resíduos vegetais deixados nas áreas após o manejo, uma vez que a matéria orgânica é a grande responsável pelo aporte de C ao solo.

4.2 Classes de Agregados

Na distribuição das classes de agregados, não foi observada diferença significativa em macroagregados, microagregados e fração silte+argila, entre a Caatinga não manejada e os diferentes manejos (Figura 2). Esse resultado provavelmente está relacionado ao fato de que nenhum dos manejos adotados promoveu desestruturação do solo, não alterando, portanto, as condições naturais típicas do solo da Caatinga. Segundo Silva (1980), o revolvimento do solo provoca modificações no tamanho dos agregados, resultando em redução da porosidade total, aumento da densidade e da proporção de poros pequenos em relação aos grandes.

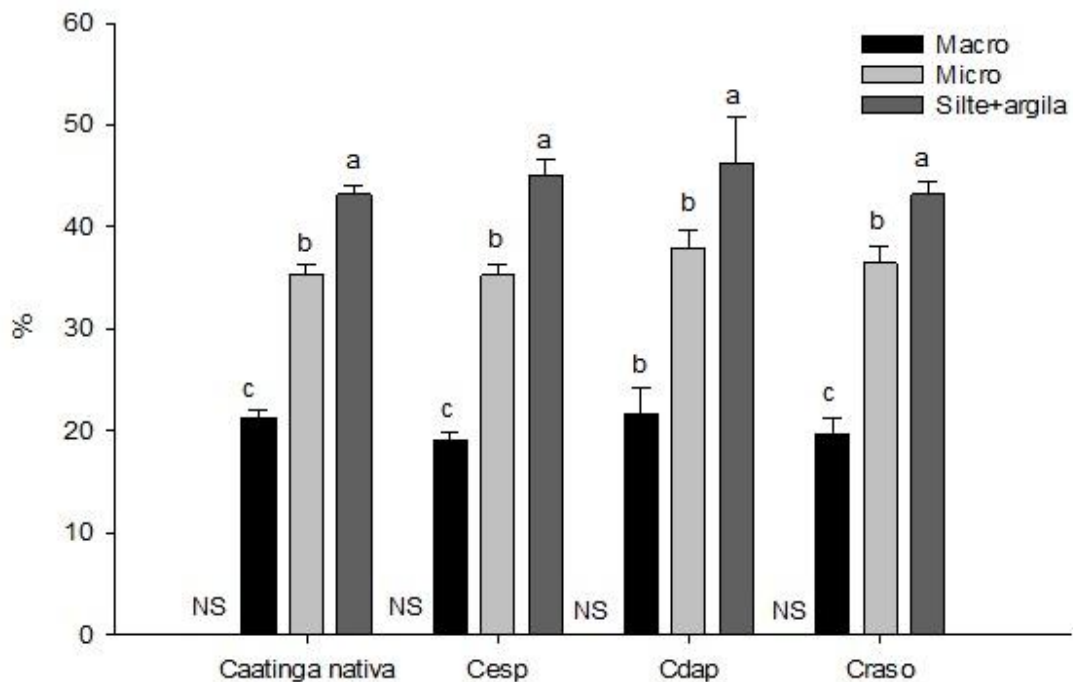


Figura 2 – Porcentagem das classes de agregados do solo (profundidade 0-10 cm) sob diferentes tratamentos: Caatinga não manejada (Caatinga nativa); Corte Seletivo por Espécie (Cesp), Corte Seletivo por Diâmetro (Cdap) e Corte Raso (Craso), na Floresta Nacional de Contendas do Sincorá – BA. Letras minúsculas iguais que compararam as classes dos agregados dentro de cada tratamento, não diferem entre si pelo teste LSD a 5% de significância.

Em todos os tratamentos houve predominância da fração silte + argila (média de 44,39 %). Após essa fração, observou-se maior participação dos microagregados (média de 36,23 %), seguidos dos macroagregados (média de 20,44 %), embora sem variação significativa entre estas frações no manejo Cdap. A maior quantidade da fração silte+argila deve ter íntima relação com a granulometria dos solos da área experimental, que apresenta maior abundância de partículas de silte e argila e menores proporções de areia (Tabela 2).

Nas classes de agregados existe uma relação inversa, quanto maior uma fração menor é a outra, ou seja, a maior quantidade da fração silte + argila pode ser explicada pela menor quantidade de agregados estáveis, como os macroagregados, por serem mais fáceis de desestabilizar. Isso estaria ocasionando altos índices nas frações menores (fração silte + argila e microagregados). As partículas silte e argila, no caso deste estudo, estão dispersas no solo e, por consequência, não estão ligadas entre si por agentes cimentantes compondo agregados de maior tamanho. Isso pode estar ligado a uma acelerada decomposição da MO, como resultado de condições climáticas favoráveis a isso.

Vasconcelos et al. (2010), estudando diferentes sistemas de manejo de cana-de-açúcar, observaram que o manejo promoveu alterações na distribuição de agregados enquanto a estabilização dos agregados na camada superficial dependeu do teor de matéria orgânica e da ação dos ciclos sucessivos de secagem e umedecimento do solo.

4.3 Carbono das Classes de Agregados

Em relação ao estoque de C nas diferentes classes de agregados, não foi observado efeito significativo dos tratamentos (Figura 3), o que pode estar relacionado ao curto tempo de execução dos manejos (apenas 2 anos) e, conseqüentemente, de recuperação das áreas.

É provável que esse tempo não tenha sido suficiente para ocasionar alterações expressivas nos teores de C orgânico das diferentes classes de agregados. Segundo Conen et al. (2004), a mensuração de mudanças no C do solo é mais difícil uma vez que seu acúmulo no solo é um processo lento e sua variabilidade espacial é alta.

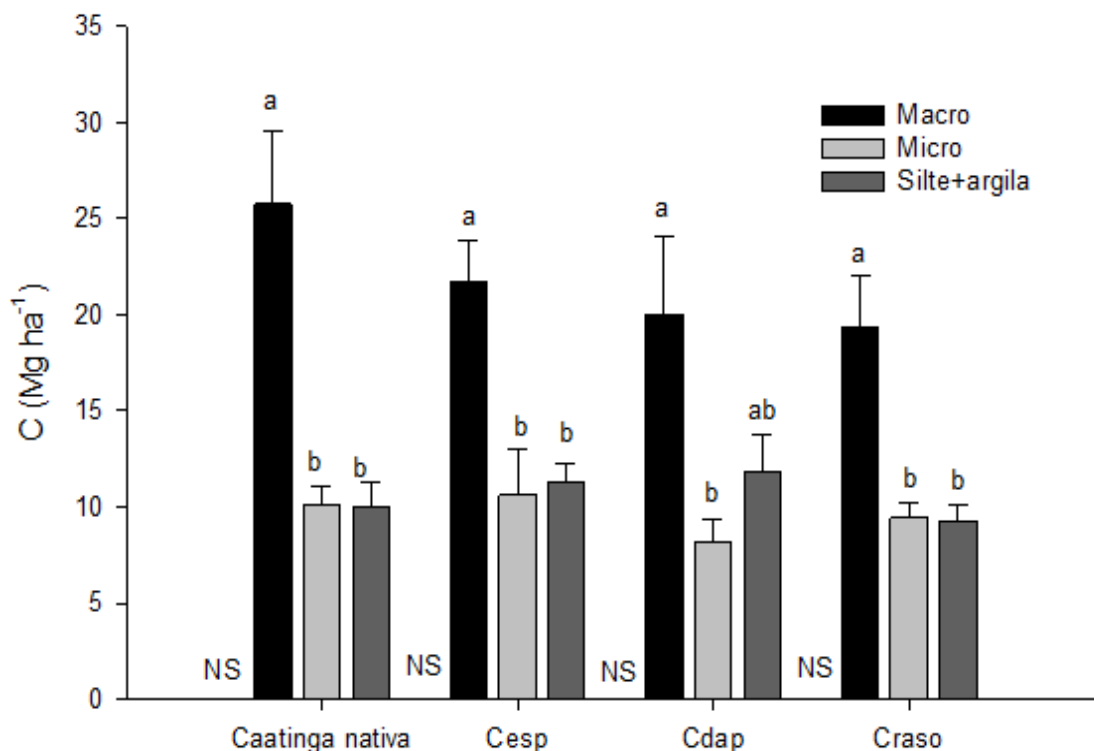


Figura 3 – Estoque de Carbono nas classes dos agregados do solo (profundidade do solo na camada de 0-10 cm) sob diferentes tratamentos: Caatinga não manejada (Caatinga nativa); Corte Seletivo por Espécie (Cesp), Corte Seletivo por Diâmetro (Cdap) e Corte Raso (Craso), na Floresta Nacional de

Contendas do Sincorá – BA. Letras minúsculas iguais que comparam as classes dos agregados dentro de cada tratamento não diferem entre si pelo teste LSD a 5 % de significância.

De forma geral, em todos os tratamentos, os estoques de C apresentaram maiores médias na fração de macroagregados e sem diferença significativa entre as frações microagregados e silte+argila. A única exceção foi o C_{dap}, onde não houve variação do estoque de C dos macroagregados em relação à fração silte+argila.

O carbono estocado nas classes de agregado representou, em média, 21,7 Mg ha⁻¹ (macroagregados), 9,6 Mg ha⁻¹ (microagregados) e 10,6 Mg ha⁻¹ do COT (silte+argila). Essa maior participação dos macroagregados na distribuição do COT, apesar do solo estudado apresentar predominância da fração silte+argila, pode ser explicada pela presença de maior quantidade de MOS e agentes cimentantes, que estariam elevando a concentração de C na classe de macroagregados. Além disso, estoque de C nos macroagregados pode ser proveniente do C particulado (Figura 4), ou seja, mesmo tendo menor porcentagem de macroagregados (Figura 2), há uma maior quantidade de MO que está livre no macroagregado, o que contribui para o aumento do estoque de C nesta classe.

Costa Júnior et al. (2011) encontraram resultados semelhantes em relação ao estoque de C, na profundidade 0-20 cm do solo de vegetação nativa de Cerradão, com maiores médias nos macroagregados (39,9 g kg⁻¹) e menores nos microagregados (25,1 g kg⁻¹). Passos et al. (2007) também encontraram maior susceptibilidade de variação no C em agregados com diâmetro superior a 0,25 mm (macroagregados) em comparação aos microagregados, considerando-os mais estáveis por terem ação mais efetiva de agentes de agregação permanentes em relação aos agentes temporários.

De acordo com Ferreira et al. (2007), se por um lado o C aumenta a estabilidade dos agregados, por outro, os agregados, em especial os macroagregados, diminuem a taxa de decomposição da matéria orgânica em virtude da proteção física, fazendo com que o C nos agregados varie diretamente com os teores de carbono na massa do solo. Ou seja, elevando seu teor nos macroagregados (solos bem estruturados) e o diminuindo nos microagregados (solos pouco estruturados).

A não observação de diferenças significativas entre os tratamentos quanto a distribuição e teores de C dos agregados evidencia que este atributo não é muito sensível ao manejo florestal em curto prazo, o que sugere que seria necessário mais

tempo para verificação de alguma alteração no estoque de C no solo. Costa Júnior et al. (2011) relatam a importância da quantificação da matéria orgânica fracionada nas classes de agregados, uma vez que estas frações vão representar a velocidade de transformação e níveis de proteção físicas distintas.

4.4 Carbono Ocluso e Particulado

Ao comparar as classes dos macroagregados com microagregados, não houve variação da quantidade de C ocluso (Figuras 4 e 5). Todavia, o C particulado apresentou maiores médias nos macroagregados em relação aos microagregados em todos os tratamentos. Este resultado se deve, provavelmente, ao fato de haver maior quantidade de matéria orgânica acumulada nessa fração, proporcionando também a presença de C livre.

Hickmann e Liovando (2012), avaliando estoque de carbono no solo e em agregados de Argissolo sob diferentes manejos de longa duração (convencional com preparo por arado de disco, arado de disco mais grade pesada, somente grade pesada e sistema de plantio direto), apresentaram resultados semelhantes, encontrando macroagregados representando 86% mais COT na camada de 0-10 cm que a classe dos microagregados, na floresta nativa e em outros manejos de plantio direto e convencionais. Assis et al. (2006), ao comparar macro e microagregados, corroboraram os resultados acima, tendo a fração húmica da MOS como responsável pelo aumento do COT nos macroagregados, enquanto que nos microagregados teve-se MO mais estabilizada e resistente à degradação microbiana.

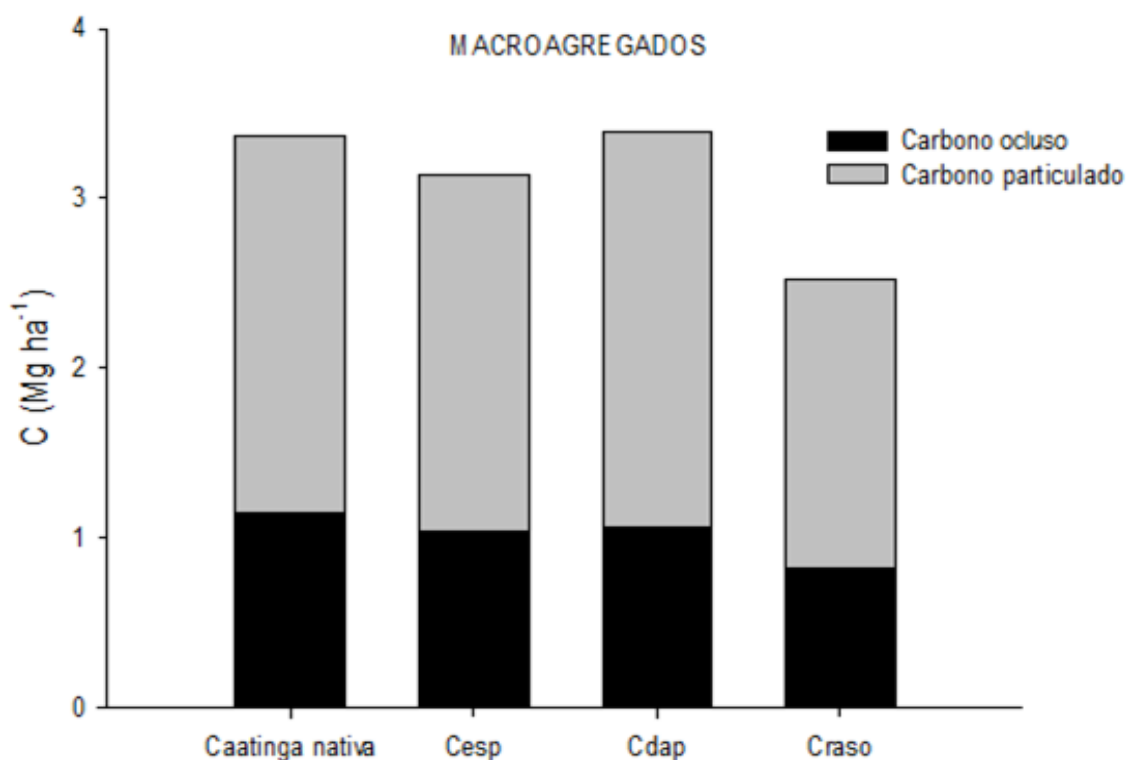


Figura 04 – Estoque de carbono ocluído e particulado dentro da fração de macroagregados de solo (profundidade 0-10 cm) sob diferentes tratamentos: Caatinga não manejada (Caatinga nativa); Corte Seletivo por Espécie (Cesp), Corte Seletivo por Diâmetro (Cdap) e Corte Raso (Craso), na Floresta Nacional de Contendas do Sincorá – BA.

Observando apenas a classe de macroagregados, não houve diferença do estoque de C ocluído (média 1,0 Mg ha⁻¹) e particulado (1,2 Mg ha⁻¹) entre os tratamentos. No entanto, ao comparar as quantidades de C particulado (carbono livre) com as de C ocluído em todos os tratamentos, verificaram-se maiores médias de carbono livre (Figura 4). Este resultado corrobora o discutido anteriormente, devendo estar relacionado à maior suscetibilidade à decomposição do carbono particulado em relação ao carbono ocluído, que é mais recalcitrante e se encontra justamente na fração microagregado, que é mais estável e difícil de romper.

Se, por um lado, o C aumenta a estabilidade dos agregados, por outro, os agregados, em especial os microagregados, diminuem a taxa de decomposição da matéria orgânica em virtude da proteção física, fazendo com que o C nos agregados varie diretamente com os teores de carbono na massa do solo, elevando seu teor nos macroagregados (solos bem estruturados) e o diminuindo nos microagregados (solos pouco estruturados).

Pela ausência de proteção física e química, o carbono orgânico particulado está mais prontamente disponível aos organismos decompositores e apresenta

menor tempo de ciclagem, servindo como fonte de energia e nutrientes para a biomassa microbiana (SÁ et al., 2001). Por isso, o carbono orgânico particulado é mais sujeito às mudanças do que o carbono orgânico total, podendo ser utilizado como indicador de qualidade do solo (BAYER et al., 2004). Segundo Six et al. (2004), o mecanismo que leva ao acúmulo de C no solo deve-se a uma situação ótima entre o *turnover* de macroagregados e a mineralização do C, favorecendo sua oclusão nos macroagregados, com posterior estabilização em microagregados, junto aos minerais do solo.

Ao comparar os estoques de C particulado e C ocluído dos microagregados, verificou-se maior estoque de carbono ocluído, com média de 1,2 Mg ha⁻¹, sendo superior ao carbono particulado (média de 0,6 Mg ha⁻¹) (Figura 5), mas sem diferença entre os tratamentos. Já o C particulado foi superior nos manejos Cesp (média de 0,80 Mg ha⁻¹) e Cdap (média de 0,82 Mg ha⁻¹) e inferior na Caatinga não manejada (média de 0,32 Mg ha⁻¹) e no corte raso (média de 0,34 Mg ha⁻¹). Entretanto, com base nessa variação não foi possível identificar um padrão bem definido do efeito que os diferentes tipos de manejo possam ter exercido sobre o C particulado, uma vez que houve semelhança do tratamento mais conservador (Caatinga não manejada) com o manejo mais drástico (corte raso) (Figura 5). Isso pode estar associado ao aporte de resíduos vegetais da floresta nativa e os restos vegetais deixados no corte raso, bem como a variabilidade do estoque de C no tempo.

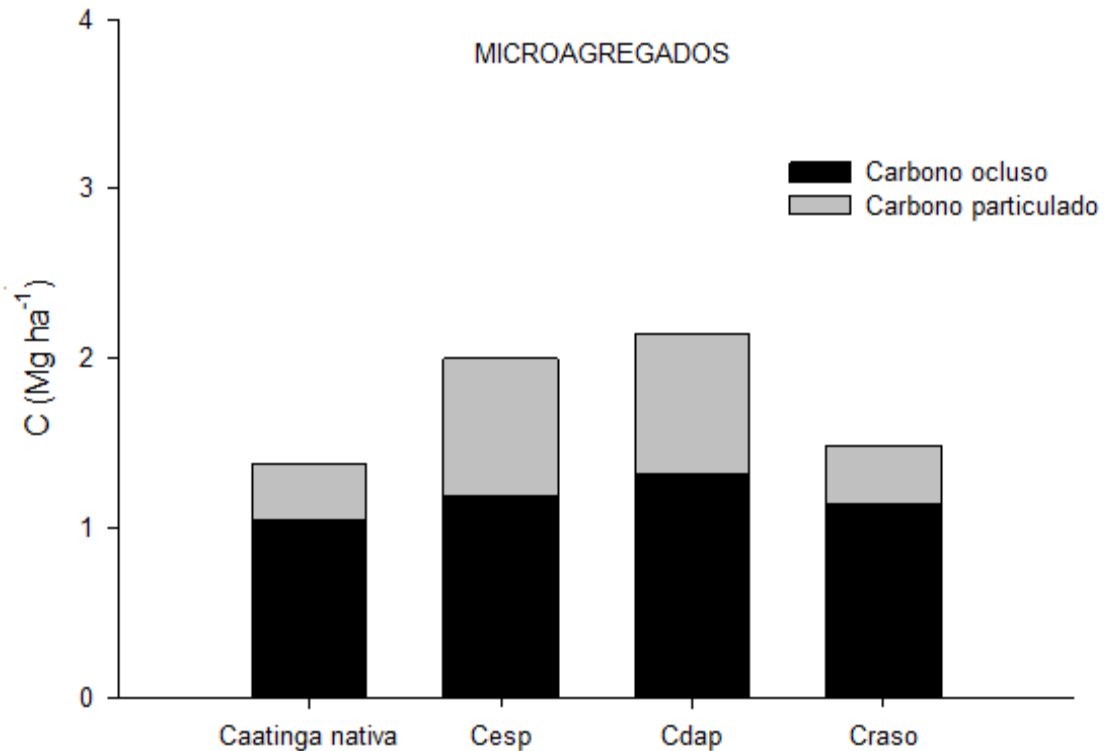


Figura 5 – Estoque de carbono ocluído e particulado dentro da fração de microagregados de solo (profundidade 0-10 cm) sob diferentes tratamentos: Caatinga não manejada (Caatinga nativa); Corte Seletivo por Espécie (Cesp), Corte Seletivo por Diâmetro (Cdap) e Corte Raso (Craso), na Floresta Nacional de Contendas do Sincorá – BA. Letras minúsculas iguais, que comparam as classes de agregados dentro de cada tratamento, não diferem entre si pelo teste LSD a 5% de significância.

Por não sofrer influência direta da matéria orgânica e estar mais protegida fisicamente, a fração microagregado está menos exposta ao ataque de microrganismos e decomposição. A matéria orgânica fica protegida dentro do agregado, sendo menos decomponível, justificando, portanto, a ocorrência de maiores quantidades de C ocluído em relação ao particulado nessa fração em todos os tratamentos.

Ferreira et al. (2007) consideraram a liberação de MO particulada durante a desagregação, como sendo a responsável pela união dos agregados menores. Em estudos realizados pelo autor, objetivando a contribuição do C orgânico na gênese dos agregados de um Argissolo e de um Neossolo, concluíram que a fração livre da MO foi a principal componente da agregação e, sendo ela predominante nos microagregados, atuou como agente cimentante com óxidos de ferro, formando agregados maiores. Segundo Feller e Beare (1997), a proteção da matéria orgânica que está no interior do agregado tem seu tempo de permanência no solo em relação à matéria orgânica livre, maior nos microagregados do que nos macroagregados. E o acúmulo em frações lábeis da MO são relacionadas justamente à sua proteção

física no interior desses agregados, devido à inacessibilidade de microrganismos. Sendo assim, o tempo de permanência do carbono orgânico do solo e a taxa de decomposição são fatores cruciais na eficácia da agregação (BRONICK e LAL, 2005). Justifica-se, no entanto, a importância da quantificação da matéria orgânica fracionada nas classes de agregados, tendo em vista que estas frações da MOS apresentam velocidades de transformação e níveis de proteção física distintos (RITA, 2007).

Portanto, aparentemente houve aleatoriedade na variação do C ocluso e particulado dos tratamentos manejados, que tendeu a ser maior em particulado para macroagregados. Essa tendência não é justificada pelos indicadores físicos considerados devido ao curto tempo de recuperação das áreas e ausência de revolvimento, mas podem ser explicadas por indicadores biológicos, por serem mais responsivos e sensíveis a esse tipo de manejo.

5 CONCLUSÃO

Em curto prazo, o manejo florestal promoveu redução dos estoques de C orgânico total do solo (profundidade 0-10 cm), porém não mostrou interferência na sua distribuição nas diferentes classes de agregados.

Tanto na Caatinga manejada quanto na não manejada, houve predomínio de carbono particulado nos macroagregados e de carbono ocluso nos microagregados.

REFERÊNCIAS

AB'SÁBER, A. N. **O domínio morfoclimático semiárido das caatingas brasileiras**. São Paulo: Instituto de Geografia da USP, 1974, 37 p.

ANDREWS, S. S.; KARLEN, D. L.; CAMBARDELLA, C. A. The soil management assessment framework: a quantitative soil quality evaluation method. **Soil Science Society of America Journal**, v. 68, p. 1945-1962, 2004.

ARAÚJO, A. S. F.; MONTEIRO, R. T. R. Indicadores Biológicos de Qualidade do Solo. **Bioscience Journal**, v. 23, n. 3, p. 55-75, 2007.

ARAÚJO, E. A.; KER, J. C.; NEVES, J. C. L.; LANI, J. L. Qualidade do solo: conceitos, indicadores e avaliação. **Revista Brasileira de tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, v. 5, p. 187-206, 2012.

ARAÚJO FILHO, J. C. Relação solo e paisagem no Bioma Caatinga. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 14, 2011, Dourados. Dinâmicas socioambientais das inter-relações à interdependência. **Anais...** Dourados: UFGD, 2011.

ARAÚJO FILHO, J. A. de; **Manejo Pastoril Sustentável da Caatinga – (LIVRO)**. Projeto Dom Helder Camara, 2013, 200 p.

ASSIS, C. P.; JUCKSCH, I.; MENDONÇA, E. S.; NEVES, J. C. L. **Carbono e nitrogênio em agregados de Latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 41, p. 1541-1550, 2006.

BALBINOT, R.; SCHUMACHER, M. V.; WATZALAWICK L.F.; SANQUETA, C.R. **Inventário de carbono orgânico em um plantio de *Pinus taeda* aos 5 anos de idade no Rio Grande do Sul**. Revista Ciências Exatas e Naturais, v. 5, n. 1, Jan./Jun., 2002.

BALDOCK, J. A.; NELSON, P. N. Soil organic matter. In: SUMMER, M. E. (Ed.). **Handbook of soil science**. Georgia, USA: University of Georgia, 2000, p. B25-B84.

BAYER, C. MIELNICZUK, J. MARTIN-NETO, L. **Efeito de sistemas de preparo e de cultura na dinâmica da matéria orgânica na mitigação das emissões de CO₂**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 24, p. 599-607, 2000.

BAYER, C.; NETO-MARTIN, L.; MIELNICZUK, J; PAVINATO, A. **Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto**. Pesq. Agropec. Bras., Brasília, v. 39, n. 7, p. 677-683, jul. 2004.

BAYER, C.; AMADO, T.J.C.; TORNQUIST, C.G.; CERRI, C.E.C.; DIECKOW, J.; ZANATTA, J.A.; NICOLOSO, R.S. Estabilização do carbono no solo e mitigação das

emissões de gases de efeito estufa na agricultura conservacionista. **Tópicos Ci. Solo**, v. 7, p. 55-118, 2011.

BERNARDES, N. As caatingas. **Estud. Av.**, São Paulo, v. 13, n. 36, p. 69-78, Ago. 1999.

BRASIL. Lei nº 9985 de 18 de julho de 2000. Regulamenta o art. 225, § 1o, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Disponível em: <<http://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/2000/lei-9985-18-julho-2000-359708>>.

Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 18 de julho de 2000.

BRASIL. Lei nº 12.651 de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm>. Acesso em: 23 de outubro de 2017. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 25 maio 2012.

BRONICK, C. J.; LAL, R. **Soil structure and management**: a review. *Geoderma*, v. 124, p. 3-22, 2005.

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

CARDOSO, J. A. F.; Lima, A. M. N.; Cunha, T. J. F.; Amaral, A. J. do; Neto, M. B. O de; Hernani, L. C. Carbono orgânico nas frações humificadas da matéria orgânica de solos arenosos sob cultivo de mangueira no semiárido brasileiro. **I reunião Nordestina de Ciência do Solo**, 2013.

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. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, Viçosa, MG, v. 34, n. 2, abr. 2010.

CASTRO FILHO, C.; LOGAN, T. J. Liming effects on the stability and erodibility of some Brazilian Oxisols. **Soil Science Society of America Journal**, v. 55, n. 1, p. 1407-1413, 1991.

CHRISTENSEN, B. T. Matching measurable soil organic matter fractions with conceptual pools in simulation models of carbon turnover: Revision of model structure. **NATO ASI Series 1**, v. 38 p. 143-159, 1996.

CHRISTENSEN, B. T. **Organic matter in soil**: structure, function and turnover. Tije: DIAS (DIAS Report. Plant Production, 30), 2000.

CONCEIÇÃO, P. C.; AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J.; SPAGNOLLO, E. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. Seção VI – manejo e conservação do solo e da água. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 29, p. 777-788, 2005

CONEN, F.; ZERVA, A.; ARROUAYS, D.; JOLIVET, C.; JARVIS, P.; GRACE, J.; MENCUCCINI, M. The carbon balance of forest soils: detectability of changes in soil carbon stocks in temperate and boreal forests. In: GRIFFITHS, H., JARVIS, P. (Eds.) *The Carbon Balance of Forest Biomes*, **Garland Science/BIOS Scientific Publishers**, Southampton, UK, v. 9, p. 233-247. chap. 11, 2004.

COSTA, O. V.; CANTARUTTI, R. B.; FONTES, L. E. F.; 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. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 33, p. 1137-1145, 2009.

COSTA JÚNIOR, C.; PICCOLO, M. C.de; SIQUEIRA NETO, M.; CARAMRGO, 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. **Rev. Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 4, p. 1241-1252, Viçosa, Brasil, 2011.

DENEF, K.; SIX, J.; BOSSUYT, H.; FREY, S. D.; ELLIOTT, E. T.; MERCKX, R.; PAUSTIAN, K. Influence of dry-wet cycles on the interrelationship between aggregate, particulate organic matter, and microbial community dynamics. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 33, n. 12/13, p. 1599-1611, Oct. 2001.

DENEF, K.; ZOTARELLI, L.; BODDEY, R. B.; SIX, J. Microaggregate-associated carbon as a diagnostic fraction for management-induced changes in soil organic carbon in two Oxisols. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 39, n. 5, p. 1165-1172, may 2007.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A. (Eds). *Defining soil quality for a sustainable environment*. Madison, **Soil Science Society of America**, p. 3-22. (Publication Number, 35), 1994.

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, p. 529-538, 1995.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Preservação e Uso da Caatinga**. EMBRAPA Informações Tecnológica; Embrapa Semiárido – Brasília, DF: EMBRAPA. Informação Tecnológica. 39 p.: il – (AMC da Agricultura familiar, 16). 2007.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análise de solo**/Paulo César Teixeira. Editores técnicos. 3. ed. rev. e ampl. 573 p.: il. color. ISBN 978-85-7035-771-7 Brasília, DF: Embrapa, 2017.

FELLER, C.; BEARE, M. H. **Physical control of soil organic matter dynamics in the tropics**. *Geoderma*, v. 79, p. 69-116, 1997.

FERNANDES, A. **Fitogeografia brasileira**. 2. ed. Fortaleza: Multigraf, 2000.

FERREIRA, F. P.; AZEVEDO, A. C.; DALMOLIN, R. S. D.; GIRELLI, D. Carbono orgânico, óxidos de ferro e distribuição de agregados em dois solos derivados de basalto no Rio Grande do Sul – Brasil. **Ciência Rural**, v. 37, p. 381-388, 2007.

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

FREITAS, F.; OLIVEIRA, I. A.; CASAGRANDE, J. C.; SILVA, L. S.; CAMPOS, M. C. C. Estoque de carbono de latossolos em sistemas de manejo natural e alterado. **Ciência Florestal**, v. 28, n. 1, p. 228-239, 2018.

FREIXO, A. A. **Caracterização da matéria orgânica de Latossolos sob diferentes sistemas de cultivo através de fracionamento físico e espectrografia de infravermelho**. Rio de Janeiro-RJ: UFRJ, 2000, 86 p. Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo) – Universidade Federal do Rio de Janeiro.

GAMA-RODRIGUES, E. F.; NAIR, P. K. R.; NAIR, V. D.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; BALIGAR, V.; MACHADO, R. C. R. **Carbon storage in soil size fractions under two 48 cacao agroforestry systems in Bahia, Brazil**. *Environmental Management*, v. 45, p. 274-283, 2010.

GARIGLIO, M. A., **A rede e manejo florestal da caatinga**, 2010.

GARIGLIO, M. A.; SAMPAIO, E. V. S. B.; CESTARO, L. A.; KAGEYAMA, P. Y.; **Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da caatinga**. Ministério do Meio Ambiente, Brasília: Serviço Florestal Brasileiro, 2010, 369 p.

GARIGLIO, M.; BARCELLOS, N. D. E. **Manejo sustentável em assentamentos rurais na Caatinga – Estudo de caso na Paraíba e Pernambuco**. *Uso Sustentável*, 2013.

GOLCHIN, A.; OADES, J. M.; SKJEMSTAD, J. O.; CLARKE, P. Study of free and occluded particulate organic matter in soils by solid state ¹³C CP/MAS NMR spectroscopy and scanning electron microscopy. **Australian Journal of Soil Research**, v. 32, p. 285-309, 1994.

GREGORICH, E. G.; CARTER, M. R.; ANGERS, D. A.; MONREAL, C. M.; ELLERT, B. H. Towards a minimum data set to assess soil organic matter quality in agricultural soils. **Can. J. Soil Sci.**, p. 367-375, 1994.

HICKMANN, C.; COSTA, L. M. da. Estoque de carbono no solo e agregados em Argissolo sob diferentes manejos de longa duração. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 10, p. 1055-1061, 2012.

HILLEL, D. Soil structure and aggregation. In: **Introduction to environmental soil physics**. Burlington: Academic Press, p. 73-89, 2003.

HOUGHTON, R. A.; SKOLE, D. L.; LEFKOWITZ, D. S. Changes in the landscape of Latin America between 1850 and 1985. II Net release of CO₂ to the atmosphere. **For. Ecol. Manag.**, v. 38, p. 173-199, 1991.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual técnico da vegetação brasileira**. Rio de Janeiro, 92 p. (Série manuais técnicos em geociências, 1), 1992.

ISLAM, K. R.; WEIL, R. R. Soil quality indicator properties in mid-atlantic soils as influenced by conservation management. **J. Soil Water Conser.**, v. 55, p. 69-78, 2000.

JANDL, R.; LINDNER, M.; VESTERDAL, L.; BAUWENS, B.; BARITZ, R.; HAGEDORN, F.; JOHNSON, D.; MINKKINEN, K.; BYRNE, K. A. How strongly can forest management influence soil carbon sequestration? Elsevier. **Scienc Direct. Geoderma**, v. 137 p. 253-268, 2007.

KEMPER, W. D.; ROSENAU, R. C. Aggregate stability and size distribution. In: KLUTE, A. (Ed.). **Methods of soil analysis**. 2. ed. Madison: American Society of Agronomy: Soil Science Society of America, pt. I, cap. 17, p. 425- 443, 1986.

KROL, M. S.; JAEGAR, A.; BRONSTERT, A.; KRYWKOW, J. The semiarid integrated model (SDIM), a regional integrated model assessing water availability, vulnerability of ecosystems and society in NEBrazil. **Physics and Chemistry of the Earth (B)**, v. 26, p. 529-533, 2001.

KOUTIKA, L. S.; NOLTE, C.; YEMEFACK, M.; NDANGO, R.; FOLEFOC, D.; WEISE, S. Leguminous fallows improve soil quality un south-central Cameroon as evidenced by the particulate organic matter status. **Geoderma**, n. 125 p. 343-354, 2005.

LAL, R. Residue management, conservation tillage and soil restoration for mitigating greenhouse effect by CO₂ enrichment. **Soil Till. Res.**, Amsterdam, v. 43, p. 81-107, 1997.

LAL, R. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. **Geoderma**, n. 123, p. 122, 2004.

LARSON, W. E.; PIERCE, F. J. **Conservation and enhancement of soil quality**. In: INTERNATIONAL BOARD FOR SOIL RESEARCH AND MANAGEMENT, 12., Bangkok, v. 2, 1991.

LEAL, I. R.; SILVA, J. M. C.; TABARELLI, M.; LACHER JR, T. E. Mudando o curso da conservação da biodiversidade na Caatinga do Nordeste do Brasil. **Revista Megadiversidade**, Belo Horizonte, MG, v. 1, n. 1, p. 139-146, jun., 2005.

LEITE, L. F. C.; MATOS, E. S.; MENDONÇA, E. S. Carbono, nitrogênio e biomassa microbiana em solo sob mata natural, e diferentes sistemas de adubação e consórcio milho-feijão. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 25.; REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 8.; SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 6.; REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 3.; 2000. Santa Maria. FERTBIO2000:

biodinâmica do solo, Santa Maria, 2000.

LEITE, L. F. C.; MENDONÇA, E. S.; NEVES, J. C. L.; MACHADO P. L. O. A.; GALVÃO, J. C. C. Estoques totais de carbono orgânico e seus compartimentos em Argissolo sob floresta e sob milho cultivado com adubação mineral e orgânica. **R. Bras. Ci. Solo**, n. 27, p. 821-832, 2003.

LIEBIG, M. A.; TANAKA, D. L.; WIENHOLD, B.J. Tillage and cropping effects on soil quality indicators in the northern Great Plains. **Soil Till. Res.**, v. 78, p. 131-141, 2004.

MACHADO, P. L. A. Carbono do solo e a mitigação da mudança climática global. **Quim. Nova**, v. 28, n. 2, p. 329-334, 2005.

MEURER J. E. Introdução à ciência do solo. In: MEURER, E.J. Fundamentos de química do solo. Porto Alegre: Gênese, 2000, p. 11-21.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Biodiversidade e Florestas e Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Plano de Manejo Florestal Nacional Contendas do Sincorá / MMA**. v. 1. Informações Gerais sobre a Floresta Nacional, 2006.

MIELNICZUCK, J. Matéria orgânica e a sustentabilidade de sistemas agrícolas. In: SANTOS, G.A.; CAMARGO, F.A.O (Eds.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Gênese, Cap.1, p.1-6. 1999.

MONROE, P. H. M. **Estoque de carbono no solo em sistemas agroflorestais de cacau no sul da Bahia, Brasil**. Campos dos Goytacazes-RJ: UENF, 2015, 96 p. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro.

OADES, J. M.; WATERS, A. G. Aggregate hierarchy in soils. **Austr. J. Soil Res.**, v. 29, p. 815-828, 1991.

PASSOS, R. R.; RUIZ, H. A.; CANTARUTTI, R. B.; MENDONÇA, E. S. Carbono orgânico de um Latossolo Vermelho distrófico sob duas coberturas vegetais. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 31, p. 1109-1118, 2007.

RIZZINI, C. T. **Tratado de Fitogeografia do Brasil**. Rio de Janeiro: Âmbito Cultural, 1997, 747 p.

RITA, J. C. O. **Carbono das frações da matéria orgânica e classes de agregados de solos sob sistemas agroflorestais de cacau no Sul da Bahia**. Campos dos Goytacazes-RJ: UENF, 2007, 66 p. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro.

ROTTA, G. W.; MICOL L.; SANTOS, N. B. **Manejo sustentável no portal da Amazônia: um benefício econômico, social e ambiental**. Alta Floresta – MT: IMAZON, 2006, 24 p.

SÁ, J. C. M.; CERRI, C. C.; DICK, W. A.; LAL, R.; VENZKE FILHO, S. P.; PICCOLO, M. C.; FEIGL, B. E. Organic matter dynamics and carbon sequestration rates for a tillage chronosequence in a Brazilian Oxisol. **Soil Science Society American Journal**, v. 65, p. 1486-1499, 2001.

SANTIAGO, F. S; DIAS, I. C. G. M; JALFIM, T; SILVA, N. C. G; BLACKBURN, R. M; NANES, M. B. **Conservação dos atributos do solo com manejo da caatinga no Semiárido do Piauí**,– XXXIV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Florianópolis-SC, 2013.

SARKHOT, D. V.; COMERFORD, N. B.; JOKELA, E. J.; REEVES, J. B.; HARRIS, W. G. Soil aggregation and aggregate carbon in a forested southeastern Coastal Plain Spodosol. **Soil Science Society of America Journal**, n. 71, p. 1779-1787, 2007.

SILVA, I. F. **Efeitos de sistemas de manejo e tempo de cultivo sobre propriedades físicas de um latossolo**. Porto Alegre-RS: 1980, 76 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

SILVA, I. R.; NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; SILVA, E. F. Manejo de resíduos e matéria orgânica do solo em plantações de eucalipto: Uma questão estratégica para a manutenção da sustentabilidade. **B. Inf. Soc. Bras. Ci. Solo**, n. 29, p. 10-20, 2004.

SIX, J.; ELLIOT, E. T.; PAUSTIAN, K.; DORAN, J. W. Aggregation and soil organic matter accumulation in cultivated and native grassland soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 62, p. 1367-1377, 1998.

SIX, J.; ELLIOT, E. T.; PAUSTIAN, K. Soil macroaggregate turnover and microaggregate formation: a mechanism for C sequestration under no-tillage agriculture. **Soil Biol. Biochem.** n. 32, p. 2099-2103, 2000.

SIX, J.; CONANT, R.T.; PAUL, E. A.; PAUSTIAN, K. Stabilization mechanisms of soil organic matter: implications for C-saturation of soils. **Plant and soil**, n. 241, p. 155-176, Jan., 2002.

SIX, J.; FELLER, C.; DENEFF, K.; OGLE, S. M. SÁ, J. C. A.; ALBRECHT, A. Soil organic matter, biota and aggregation in temperate and tropical soils – effects of no-tillage. **Agronomie**, n. 22, p. 755-775, 2002b.

SIX, J.; BOSSUYT, H.; GRYZE, S. & DENEFF, K. A history of research on the link between (micro) aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. **Soil Tillage Res.**, n. 79, p. 7-31, 2004.

SOLLINS, P., HOMANN, P. CALDWELL, B. A. Stabilization and destabilization of soil organic matter: mechanisms and controls. **Geoderma**, n. 74, 65-105, 1996.

SOUZA, E. D; CARNEIRO, M. A. C.; PAULINO, H. B.; BUZETTI, C. A. S e S, Alterações nas frações do carbono em um neossolo quartzarênico submetido a

diferentes sistemas de uso do solo. **Acta Sci. Agron.** Maringá, v. 28, n. 3, p. 305-311, 2006.

SOUZA, B. I. F.; ARTIGAS, R. C.; LIMA, E. R. V. The Caatinga and desertification. **Mercator**, Fortaleza, v. 14, n. 1, p. 131-150, jan./abr. 2015.

SUASSUNA, J. **Semiárido**: proposta de convivência com a seca. Fundação Joaquim Nabuco – FUNDAJ, Recife, PE, 2002.

TISDALL, J. M.; OADES, J. M. Organic matter and water-stable aggregates in soils. **Soil Science American Journal**, v. 33, n. 2, p. 141-163, jun. 1982.

URQUIAGA, S.; JANTALIA, C.P.; ZOTARELLI, I.; ALVES, B.J.R.; BODDEY; R.M.; **Manejo de Sistemas Agrícolas para Sequestro de Carbono no Solo**. – Cap. 12, p. 1-20, 2006.

VARGAS. L. K.; SCHOLLES, D. Biomassa microbiana e produção de C-CO₂ e N mineral de um Podzólico Vermelho-escuro submetido a diferentes sistemas de manejo. **R. Bras. Ci. Solo**, n. 24, p. 35-42, 2000.

VASCONCELOS, R. F. B.; CANTALICE, J. R. B.; OLIVEIRA, V. S.; COSTA, Y. D. J.; CAVALCANTE, D. M. Estabilidade de agregados de um Latossolo Amarelo distrocoeso de tabuleiro costeiro sob diferentes aportes de resíduos orgânicos da cana-de-açúcar. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 34, p. 309- 316, 2010.

VERCHOT, L. V.; DUTAUR, L.; SHEPHERD, K., D.; ALBRECHT, A. Organic matter stabilization in soil aggregates: Understanding the biogeochemical mechanisms that determine the fate of carbon inputs in soils. Elsevier. **Geoderma**, n. 161, p. 182-193, 2011.

VEZZANI, F. M., MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 33, n 4, p. 743-755, 2009.

VIEIRA, G.; SANQUETTA, C. R.; KLUPPEL, M. L. W.; BARBEIRO, L. S. S. Teores de carbono em espécies vegetais da Caatinga e do Cerrado. **Rev. Acad., Ciênc. Agrárias Ambient.**, Curitiba, v. 7, n. 2, p. 145-155, abr./jun. 2009.

YEOMANS, J. C.; BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Comm. Soil Sci. Plant Anal.**, n. 19, p. 1467-1476, 1988.