

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO

ALINE ROMA TOMAZ

**ESTOQUE, RECUPERAÇÃO E ESGOTAMENTO DE CARBONO EM
CLASSES DE AGREGADOS DO SOLO EM CAATINGA EM
REGENERAÇÃO E AGRICULTURA DE SUBSISTÊNCIA**

**Recife
2021**

Aline Roma Tomaz
Engenheira Agrônoma

Estoque, recuperação e esgotamento de carbono em classes de agregados do solo em Caatinga em regeneração e agricultura de subsistência

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo.

Orientador: Prof. Dr. Ademir de Oliveira Ferreira

Coorientadora: Prof. Dra. Maria Betânia Galvão dos Santos Freire

**Recife
2021**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal Rural de Pernambuco
Sistema Integrado de Bibliotecas
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- T655e Tomaz, Aline Roma
Estoque, recuperação e esgotamento de carbono em classes de agregados do solo em Caatinga em regeneração e agricultura de subsistência / Aline Roma Tomaz. - 2021.
77 f. : il.
- Orientador: Ademir de Oliveira Ferreira.
Coorientadora: Maria Betania Galvao dos Santos Freire. Inclui referências.
- Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Recife, 2021.
1. Macroagregados. 2. Estoque de carbono. 3. Agricultura de subsistência. 4. Caatinga. I. Ferreira, Ademir de Oliveira, orient. II. Freire, Maria Betania Galvao dos Santos, coorient. III. Título

CDD 631.4

ALINE ROMA TOMAZ

Estoque, recuperação e esgotamento de carbono em classes de agregados do solo em Caatinga em regeneração e agricultura de subsistência

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo.

Aprovada em 08 de março de 2021

Prof. Dr. Ademir de Oliveira Ferreira
Orientador
Universidade Federal Rural de Pernambuco

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Telmo Jorge Carneiro Amado
Universidade Federal de Santa Maria

Prof. Dr. Edivan Rodrigues de Souza
Universidade Federal Rural de Pernambuco

A minha mãe, Antônia dos Anjos Roma, por todo investimento e apoio. Dedico.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiro a Deus por ter me concedido força e sabedoria pra chegar até aqui. A Ele todo mérito pela realização deste trabalho.

A minha família, em especial a minha mãe Antônia e minha irmã Aleide, por serem minha fonte de apoio e incentivo.

Ao meu orientador, professor Dr. Ademir de Oliveira Ferreira, pela dedicação e paciência e por todos os momentos de aprendizado.

A minha coorientadora Professora Dra. Maria Betânia Freire, pela disponibilidade e conhecimento compartilhado.

Ao PET Solos agregando saberes da UESC, onde descobri e me apaixonei pela ciência do solo. Obrigada Ana Maria Moreau, por ter me inspirado durante os anos de graduação. E aos amigos do PET, Amanda Dias e Raul Oliveira.

Aos meus amigos queridos Vanderleia Rodrigues e Allan Rodrigues, por sempre ouvirem meus desabafos, obrigada por sempre estarem comigo mesmo distante.

A minha amiga, presente da pós-graduação, Jaciane Rosa Maria de Souza, obrigada por todos os momentos compartilhados, e alegrias vividas.

Aos amigos e colegas da pós-graduação, Marllon Martins, Belchior, Patryk, Cíntia Caroline, Danilo, Tiago, Marília e Luís Henrique, por deixarem os meus dias mais leves e descontraído.

As Pibics, Maria Carolina e Natália Dias por toda ajuda durante a realização das análises em laboratório.

A Socorro Santana pelo carinho e disponibilidade em ajudar durante todo o curso.

Ao Elves pela hospitalidade e por ter concedido a área para coleta das amostras.

Ao pessoal do laboratório de física do solo, em especial a Eudes pela disponibilidade.

Ao pessoal do laboratório de química do solo e biotecnologia pela disponibilização da infraestrutura para realização das análises.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001”.

A UFRPE e ao PPGCS pela oportunidade e estrutura para condução do projeto.

Estoque, recuperação e esgotamento de carbono em classes de agregados do solo em Caatinga em regeneração e agricultura de subsistência

RESUMO

A Caatinga é um bioma exclusivamente brasileiro que apresenta elevada biodiversidade e peculiaridades em relação às condições climáticas de elevadas temperaturas e evapotranspiração, e baixas precipitações. Em virtude disso, consiste em um bioma altamente suscetível a degradação ambiental. As práticas de manejo do solo em muitos locais associado à agricultura de subsistência com baixo aporte de resíduos tem ocasionado a perda dos estoques de carbono do solo e diminuição da qualidade física dos mesmos. Neste sentido este estudo objetivou avaliar a recuperação e taxa de redução do estoque de carbono do solo e a distribuição proporcional da massa de macroagregados grandes (2-8 mm) e pequenos (0,25-2 mm) do solo, e de microagregados (0,053-0,25 mm), bem como o potencial de acúmulo de carbono nestas classes de agregados, em Caatinga sob regeneração e cultivo de feijão de subsistência em comparação com Caatinga preservada, no Sertão do Alto Pajeú- PE. As amostras foram coletadas em três áreas com usos distintos (uma área de Caatinga semi-arbustiva preservada por 30 anos, uma de Caatinga em regeneração por 10 anos e uma área em cultivo de feijão com 30 anos). As coletas foram realizadas nas camadas de 0,00-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m de um Luvissole. Nas amostras de solo foram realizadas análises de caracterização física e química, e fracionadas por meio do tamisamento úmido para obtenção dos macroagregados grandes, macroagregados pequenos e microagregados. As análises de carbono foram realizadas nas amostras indeformadas e nos agregados do solo pelo método de combustão via úmida. A Caatinga preservada apresentou maior massa proporcional de macroagregados grandes em todas as profundidades com 84% em 0,00-0,05 m, 69% em 0,05-0,10 m e 66% em 0,10-0,20 m. Em virtude do manejo a massa de macroagregados grandes diminuiu significativamente na área cultivada com feijão com 63% macroagregados grandes em 0,00-0,05 m, 62% em 0,05-0,10 m e 62% em 0,10-0,20 m. A Caatinga em regeneração apresentou também maiores proporções de macroagregados grandes. Das classes de agregados, os macroagregados grandes apresentaram maior potencial de acúmulo de carbono do solo. A Caatinga preservada apresentou os maiores estoques nesta classe de agregados com 92% do carbono na camada de 0,00-0,05 m, 77% em 0,05-0,10 m e 70% em 0,10-0,20 m. Para a Caatinga em regeneração considerando a camada de 0,00-0,20 m, observou-se que a taxa de recuperação do estoque em macroagregados grandes foi de 79%. Já a área cultivada com feijão apresentou uma perda do estoque de carbono na classe dos macroagregados grandes com redução em todas as profundidades, sendo 63% do estoque na camada de 0,00-0,05 m, 67% em 0,05-0,1 m e 62% em 0,10-0,20 m. Ao considerar a camada 0,00-0,20 m observou-se uma redução do estoque de carbono do solo na ordem de 64% nos macroagregados grandes sob cultivo de feijão. Em relação ao carbono total a Caatinga em regeneração recuperou 89% do estoque de carbono na camada 0,00-0,20 m e o cultivo de feijão de subsistência provocou redução de 54% do estoque de carbono do solo nesta camada. Assim no ambiente de clima Semiárido estudado, os macroagregados grandes predominaram na constituição da estrutura do solo e apresentaram maior potencial de estoque de carbono nessa classe. A adoção de sistema convencional com monocultivo causou perda no estoque de carbono do solo, em contrapartida a regeneração natural da Caatinga em curto espaço de tempo promoveu a recuperação parcial do carbono do solo.

Palavras-chave: Macroagregados. Estoque de carbono. Agricultura de subsistência. Caatinga.

Carbon storage, recovery and depletion in classes of soil aggregates in Caatinga in regeneration and subsistence agriculture

ABSTRACT

The Caatinga is an exclusively Brazilian biome that presents high biodiversity and peculiarities in relation to climatic conditions of high temperatures and evapotranspiration, and low rainfall. As a result, it consists of a biome highly susceptible to environmental degradation. Soil management practices in many places associated with subsistence agriculture with low inputs of waste have caused the loss of soil carbon stocks and reduced physical quality. In this sense, this study aimed to evaluate the recovery and depletion of the soil carbon stock and the proportional distribution of the mass of large (2-8 mm) and small (0.25-2 mm) macroaggregates of the soil, and of microaggregates (0.053- 0.25 mm), as well as the potential for carbon accumulation in these classes of aggregates, in Caatinga under regeneration and subsistence bean cultivation compared to preserved Caatinga, in the Sertão do Alto Pajeú-PE. The samples were collected in three areas with different uses (an area of semi-shrub Caatinga preserved for 30 years, one of Caatinga in regeneration for 10 years and an area in bean cultivation with 30 years). The collections were carried out in the layers of 0.00-0.05, 0.05-0.10 and 0.10-0.20 m of a Luvisolo. In the soil samples, analyzes of physical and chemical characterization were carried out, and fractionated by means of wet sifting to obtain large macroaggregates, small macroaggregates and microaggregates. Carbon analyzes were performed on undisturbed samples and soil aggregates using the wet combustion method. The preserved Caatinga showed greater proportional mass of large macroaggregates at all depths with 84% at 0.00-0.05 m, 69% at 0.05-0.10 m and 66% at 0.10-0.20 m. Due to management, the mass of large macro aggregates decreased significantly in the area cultivated with beans with 63% large macro aggregates in 0.00-0.05 m, 62% in 0.05-0.10 m and 62% in 0.10-0, 20 m. The regenerating Caatinga also showed higher proportions of large macro-aggregates. Of the classes of aggregates, the large macroaggregates showed greater potential for carbon accumulation in the soil. The preserved Caatinga showed the highest stocks in this class of aggregates with 92% of carbon in the 0.00-0.05 m layer, 77% in 0.05-0.10 m and 70% in 0.10-0.20 m. For the regenerating Caatinga considering the 0.00-0.20 m layer, it was observed that the recovery rate of the stock in large macroaggregates was 79%. The area cultivated with beans, on the other hand, showed a loss of carbon stock in the class of large macroaggregates with reduction in all depths, with 63% of the stock in the 0.00-0.05 m layer, 67% in 0.05-0.10 m and 62% in 0.10-0.20 m. When considering the 0.00-0.20 m layer, there was a 64% depletion of the soil carbon stock in large macroaggregates under bean cultivation. Regarding total carbon, the regenerating Caatinga recovered 89% of the carbon stock in the 0.00-0.20 m layer and the cultivation of subsistence beans caused 54% of the soil carbon stock to be depleted in this layer. Thus, in the studied semi-arid climate environment, the large macroaggregates predominated in the constitution of the soil structure and presented a greater potential for carbon stock in this class. The adoption of a conventional system with monoculture caused a loss in the carbon stock of the soil, in contrast the natural regeneration of the Caatinga in a short period of time promoted the partial recovery of carbon from the soil.

Keywords: Macroaggregates. Carbon stock. Subsistence farming. Caatinga.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa de localização da microrregião do Pajeú.....	34
Figura 2 - Média da distribuição mensal da precipitação pluviométrica no município de Tabira entre os anos 2000 e 2020.....	36
Figura 3 - Histórico de uso da terra em uma área cultivada com feijão (<i>Vigna unguiculata</i>) no bioma Caatinga na microrregião do Pajeú, no semiárido Pernambucano.....	37
Figura 4 - Histórico de uso e manejo do solo em uma área de Caatinga em regeneração na microrregião do Pajeú, no semiárido Pernambucano.....	38
Figura 5 - Área de Caatinga preservada (A) e área de cultivo de feijão (B) e área de Caatinga em regeneração (C).....	39
Figura 6 - Croqui detalhando a realização da coleta em transecto (A) e da amostragem de solo em diferentes profundidades (B).....	39
Figura 7 - Amostras de solo acondicionadas em plástico filme e armazenadas no laboratório (A); Separação dos agregados considerando seus pontos de fraqueza usando as peneiras de 8 e 4,76 mm (B).....	40
Figura 8 - Blocos de solos separado com diâmetro de 4 a 7 cm (A); Imersão do bloco de solo na parafina líquida (B); Determinação do volume do torrão parafinado (C); Limpeza do torrão parafinado para ser seco em estufa a 105°C.....	41
Figura 9 - Yoder para determinação de estabilidade de agregados do solo (a); aparatos do equipamento (b) e conjunto de peneiras (c).....	42
Figura 10 - Taxa de redução do estoque de carbono do solo em sistema de monocultivo de feijão caupi e Caatinga em regeneração no semiárido pernambucano.....	58
Figura 11 - Taxa de recuperação do estoque de carbono na Caatinga em regeneração por dez anos no Sertão do Pajeú.....	60

Figura 12 - Taxa de recuperação do carbono do solo em grandes macroagregados em Caatinga em regeneração no Sertão do Pajeú. Taxa de redução do estoque em macroagregados grandes em monocultivo de feijão por 30 anos.....64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Principais espécies que compõe a flora da Caatinga preservada e Caatinga em regeneração no Sertão do Alto Pajeú.....	38
Tabela 2 - Valores médio e desvio padrão das frações granulométricas do solo sob Caatinga preservada (CP), Caatinga em regeneração (CR), Caatinga sob cultivo de feijão (CF) no semiárido Pernambucano.....	41
Tabela 3 - Classe de estabilidade de agregados em água com base nos valores de DMP.....	43
Tabela 4 - Valores médio da densidade do solo em diferentes profundidades do solo das áreas amostradas sob Caatinga preservada (CP), cultivo de feijão caupi (CF) e Caatinga em regeneração (CR) no Semiárido Pernambucano.....	48
Tabela 5 - Atributos químicos do solo sob Caatinga preservada (CP), Caatinga em regeneração (CF) e Caatinga cultivada com feijão (CF) no semiárido pernambucano.....	49
Tabela 6 - Diâmetro médio ponderado (DMP), diâmetro médio geométrico (DMG) e índice de estabilidade de agregados (IEA) das áreas amostradas, em Caatinga preservada (CP), Caatinga em regeneração (CR) e Caatinga cultivada com feijão (CF).....	51
Tabela 7 - Média da massa proporcional de agregados do solo em Caatinga preservada (CP), Caatinga em regeneração (CR) e cultivo de feijão caupi (CF) no semiárido pernambucano.....	53
Tabela 8 - Porcentagem de distribuição da massa proporcional de cada classe de agregados em um Luvissole de semiárido Pernambucano em áreas de Caatinga preservada (CP), Caatinga em regeneração (CR) e Caatinga cultivada com feijão (CF).....	53
Tabela 9 - Teores médio de carbono e estoque de carbono em diferentes profundidades do solo das áreas amostradas sob Caatinga preservada (CP), Caatinga em regeneração (CR) e cultivo de feijão (CF) no semiárido pernambucano.....	56
Tabela 10 - Estoque de carbono das classes de agregados do solo em Caatinga preservada (CP), Caatinga em regeneração (CR) e cultivo de feijão (CF).....	61
Tabela 11 - Porcentagem de estoque de carbono nas diferentes classes de agregados em Caatinga preservada (CP), Caatinga em regeneração (CR) e cultivo de feijão (CF).....	61

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	19
1.1 Hipóteses.....	20
1.2 Objetivos.....	20
<i>1.2.1 Objetivo Geral.....</i>	<i>20</i>
<i>1.2.2 Objetivos específicos</i>	<i>20</i>
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	21
2.1 Formação dos agregados do solo.....	21
2.2 Efeito dos sistemas de manejo na macroagregação do solo.....	22
2.2 Macroagregação do solo como indicador de qualidade	23
2.3 Estoque de Carbono do solo	25
<i>2.3.1 Recuperação do estoque de carbono do solo</i>	<i>27</i>
2.4 O Bioma Caatinga	27
<i>2.4.1 Estoque de carbono de áreas em regeneração no bioma Caatinga.....</i>	<i>29</i>
<i>2.4.2 Estoque de carbono em áreas agrícolas no bioma Caatinga</i>	<i>30</i>
<i>2.4.3 Estoque de carbono em ambientes cultivados com feijão caupi (Vigna unguiculata)</i>	<i>32</i>
3 MATERIAL E MÉTODOS	34
3.1 Descrição da área de estudo.....	34
3.2 Histórico da área.....	37
3.3 Coleta e tratamento das amostras.....	39
3.4 Análises química e física	40
3.5 Separação das classes de agregados	42
3.6 Determinação dos índices de agregação do solo	43
3.7 Determinação do carbono total e das classes de agregados do solo	44
3.8 Determinação do Estoque de C Total do solo	44
3.9 Estoque de carbono e massa proporcional das classes de agregados	45
3.10 Recuperação e taxa de redução do estoque de carbono total e dos macroagregados grandes.....	45
3.11 Análise estatística.....	46
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	48
4.1 Atributos físicos e químicos do solo em diferentes profundidades sob sistemas de Caatinga preservada, cultivo de feijão e Caatinga em regeneração	48

4.2 Índices de agregação e massa proporcional de agregados do solo em diferentes profundidades	50
4.3 Estoque de carbono do solo em área de Caatinga preservada, Caatinga em regeneração e de agricultura de subsistência com feijão caupi.....	55
4.4 Taxa de redução e recuperação do carbono no bioma Caatinga em áreas sob agricultura de subsistência e em regeneração no Sertão do Pajeú	58
4.5 Estoque de carbono nas classes de agregados do solo	60
4.6 Recuperação e taxa de redução o do estoque de carbono em macroagregados grandes (2-8 mm) em Caatinga em regeneração e sistema convencionada de cultivo de feijão	63
5 CONCLUSÕES.....	65
REFERÊNCIAS	66

1 INTRODUÇÃO

A bacia hidrográfica do rio Pajeú está inserida no bioma Caatinga, considerado um bioma frágil influenciado intensamente pelas condições climáticas, que tem sido explorado intensamente nas últimas décadas com extrativismo principalmente para produção de lenha e carvão vegetal e para produção agropecuária (GOMES et al., 2016), necessitando assim do corte das espécies vegetais, comprometendo a biodiversidade local (FERRAZ, 2014). Conforme dados do INPE (2015), o bioma Caatinga apresenta 39,98% de sua área preservada e 45,06% degradada. As demais coberturas encontram-se distribuídas em solo exposto (7,4%), lavoura (6,45%), água (0,76%) e ocupação urbana (0,32%).

O uso da terra na bacia hidrográfica do rio Pajeú distribui-se em solo exposto que corresponde a 1,26% do total da bacia, vegetação rasteira, pastagem e área urbana com 20,61%, Caatinga aberta com 63,57% e Caatinga densa com 14,48% e corpos d'água 0,07% da cobertura do solo. As manchas de solo exposto estão concentradas em sua maioria em áreas utilizadas para práticas agrícolas e pecuárias. (SOARES; NÓBREGA; MOTA FILHO, 2017). Esta bacia é a maior do estado de Pernambuco e ocupa 17% do seu território e é um dos afluentes do Rio São Francisco, apresentando grande importância para as regiões semiáridas (DIAZ; PEREIRA; NÓBREGA, 2018).

Dentre as práticas agrícolas, a agricultura de subsistência praticada na bacia hidrográfica do Pajeú, associada ao monocultivo (com baixo aporte de resíduos) é diretamente afetada pelos elevados índices de temperatura ($> 25\text{ }^{\circ}\text{C}$), chuvas escassas e mal distribuídas (média de $574,67\text{ mm ano}^{-1}$ (IBGE, 2010), podendo chegar a 467 mm (GONÇALVES; VITAL, 2019), radiação incidente elevada e evapotranspiração alta (de 1200 a 1500 mm (GONÇALVES; VITAL, 2019)). Esses fatores dentre outros têm levado ao declínio do carbono orgânico, degradação e perda da qualidade do solo.

A avaliação da qualidade dos solos destes ambientes é de extrema importância para identificar os impactos advindos do manejo e mitigar prejuízos ambientais e socioeconômicos. Neste sentido, a identificação de indicadores de qualidade do solo que sejam sensíveis a variabilidade espacial e temporal são ferramentas chaves para quantificar de forma eficiente a qualidade destes ambientes. Assim, o estudo da distribuição de macroagregados associado ao seu potencial de acúmulo de carbono, devido à sua alta sensibilidade as práticas de manejo, permite avaliar a qualidade dos sistemas e identificar o grau de recuperação e perda do estoque de carbono do solo. Outro fator a ser considerado é a pequena quantidade de pesquisas referente

à temática no bioma Caatinga, o que justifica estudar estes ambientes com o intuito de minorar os impactos decorrentes do manejo inadequado do solo.

1.1 Hipóteses

No semiárido Pernambucano os macroagregados apresentam potencial de proteção do estoque de carbono do solo, e são considerados indicadores de qualidade.

A área de Caatinga convertida em cultivo de feijão sob sistema convencional por mais de 30 anos apresenta classes de macroagregados de menores diâmetros associados a menores estoques de carbono.

Áreas de Caatinga em regeneração (10 anos) apresenta maiores estoques de carbono na classe de macroagregado grande em comparação a área com cultivo convencional de feijão.

A adoção de Monocultivo com preparo intensivo do solo leva a redução do estoque de carbono do solo, em contrapartida o processo de regeneração natural da caatinga permite a recuperação do estoque em condições semiáridas.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Avaliar a qualidade e restauração do solo de área de Caatinga convertida em cultivo de feijão (*Vigna unguiculata*) por mais de 30 anos e de Caatinga em regeneração (10 anos) por meio da distribuição de macroagregados do solo e seus respectivos potenciais de acúmulo de C, tendo como referência a vegetação nativa (Caatinga preservada).

1.2.2 Objetivos específicos

Avaliar a distribuição de macroagregados do solo como índice de qualidade de uma área cultivada com feijão em comparação com uma área de Caatinga preservada.

Avaliar a perda do estoque de C sob cultivo de feijão em comparação com Caatinga preservada.

Avaliar a distribuição de agregados (peso proporcional, massa de classe) nas classes de macroagregados grandes (2 - 8 mm) e pequenos (0,25 - 2 mm) em área de Caatinga sob regeneração em comparação com Caatinga preservada.

Avaliar a recuperação de estoques de C em área de Caatinga sob regeneração em comparação com Caatinga preservada.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Formação dos agregados do solo

Os agregados do solo consistem na união de partículas primárias do solo em pequenas estruturas que se formam através da ação de agentes temporários, agentes transientes e agentes persistentes (TISDALL; OADES, 1982). Os agentes temporários são as raízes finas e hifas de fungos que ocupam os poros que há entre os microagregados, permitindo a estabilização dos macroagregados. Os agentes transientes consistem em polissacarídeos excretados por fungos e bactérias que induzem ligações entre as partículas de argila do solo favorecendo a agregação. E os agentes persistentes são as substâncias húmicas, resíduos de microrganismos aderidos a materiais inorgânicos, que permanecem no solo devido à sua estabilidade (SIX et al., 2004).

Os macroagregados são formados pela união de vários microagregados por hifas de fungos e raízes de plantas e apresentam diâmetro superior a 0,25 mm. Os microagregados são menores que 0,25 mm, e consistem na junção de vários submicroagregados pela ação de pelos radiculares, hifas de fungos e polissacarídeos. Os submicroagregados são formados através do envolvimento de frações de argila e silte por detritos de microrganismos e de vegetais (TISDALL; OADES, 1982).

Os principais agentes que contribuem para o processo de agregação do solo são os óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio, mineral de argila predominante, substâncias orgânicas produzidas pelas plantas (rizodepósitos) e micro-organismos. Estes podem atuar como agentes cimentantes de frações unitárias e agregados do solo. Os ciclos de umedecimento e secagem também influenciam diretamente no processo de agregação do solo (TISDALL; OADES, 1982). A biota tem efeito positivo na agregação, sendo as bactérias e fungos os principais contribuintes na formação dos agregados (LEHMANN; ZHENG; RILLIG 2017).

O processo de agregação ocorre lentamente e os agregados formados por influência de agentes químicos, físicos e biológicos apresentam formas angulares e são denominados de agregados fisiogênicos, enquanto àqueles formados mais rapidamente são classificados como biogênicos, que tem como agente agregante os excrementos da fauna solo e possuem formas arredondadas (BATISTA et al., 2013). Segundo Batista et al. (2013), os agregados biogênicos apresentaram correlação positiva com os teores de carbono em solos do Cerrado em Mato Grosso do Sul.

Os macroagregados (> 0,25 mm), constituem-se em grandes reservatórios do carbono do solo (TIVET et al., 2013; DE OLIVEIRA FERREIRA et al., 2018a). Desta forma, solos bem estruturados como os de matas nativas tendem a apresentar maiores teores de matéria orgânica,

em virtude da presença significativa de macroagregados (SIX et al., 2000). Os macroagregados são responsáveis pela proteção de raízes, hifas de fungos, biomassa microbiana, matéria orgânica particulada, enquanto os microagregados armazenam substâncias mais estáveis como as substâncias húmicas.

Neste sentido os macroagregados são considerados como compartimento lentamente oxidável da matéria orgânica do solo. O manejo do solo é um dos principais fatores que influenciam nesse compartimento, associado com a mineralogia do solo (DUXBURY et al., 1989).

Em ambientes preservados, ou aqueles minimamente revolvidos, é comum a predominância de macroagregados com maiores diâmetros, já em ambientes cultivados sob sistema convencional, as classes de agregados existentes são de menores tamanho com maior ocorrência de microagregados (DE OLIVEIRA FERREIRA et al., 2018a).

2.2 Efeito dos sistemas de manejo na macroagregação do solo

Mudanças no uso da terra provocam o rompimento dos macroagregados, expondo a matéria orgânica à oxidação microbiana, favorecendo a perda de carbono (TIVET et al., 2013; CHAPLOT; COPPER, 2015; TIVET et al., 2013). Segundo Mota et al. (2013), agregados de maiores diâmetro estão presentes em solos bem estruturados e proporcionam proteção à matéria orgânica contra o ataque microbiano, contribuindo para um melhor movimento e armazenamento da água no solo.

De acordo com Reicosky (1997), a manutenção dos resíduos das culturas na superfície do solo favorece a redução da intensidade do preparo do solo além de reduzir processos erosivos, diminui também a liberação física de CO₂ e a oxidação biológica, que geralmente é o agente mais ativo na perda da matéria orgânica do solo. Em lavouras conservacionistas a maioria dos resíduos culturais são deixados na superfície do solo e apenas uma pequena fração está intimamente em contato com a umidade do solo e prontamente disponível para a comunidade microbiana.

É conhecido que áreas sob sistema plantio direto (SPD) de longa duração favorecem o aumento da macroagregação do solo. Em ambientes tropicais a presença de macroagregados pequenos (0,25-2 mm) e grandes (2-8 mm) é significativa na ordem de 51% e 23% respectivamente, já no subtropical predominam os extragrandes (8-19 mm) com 75%. No clima temperado o domínio é de macroagregados pequenos com 42% do total, sendo que não há registro de classe extragrande para estas condições, devido ao revolvimento recorrente do solo. No clima subtropical em SPD a predominância da classe de 8-19 mm, é devido ao mínimo

distúrbio do solo. No ambiente tropical as condições climáticas são mais favoráveis ao intemperismo, por isso apresentam menores quantidades de macroagregados extragrande, 54% em relação ao clima subtropical (INAGAKI et al., 2016).

Costa Júnior et al. (2012), afirmaram que o cultivo em SPD apresenta melhor agregação associada a maiores teores de matéria orgânica em relação a cultivos convencionais. Esta prática proporciona o acúmulo de resíduos de culturas e, conseqüentemente aumenta carbono, que favorece a infiltração da água, aumenta a CTC, a porosidade total e macroporosidade e a macroagregação (SÁ et al., 2014).

Quando comparado ao plantio convencional, o sistema conservacionista (plantio direto associado ao retorno da palha), em condições de clima subtropical na ilha Chongming localizada na China, possibilitou um aumento de 35,18% de macroagregados grandes (>2 mm), 33,52% de macroagregados pequenos (2-0,25 mm) e 25,1% de microagregados na camada de 0,00-0,20 m do solo (SONG et al., 2019). A conversão da vegetação nativa em áreas agrícolas proporciona diminuição na quantidade de macroagregados, bem como dos teores de carbono armazenado nos mesmos (XIAO et al., 2017).

Áreas de Semiárido manejadas sob sistema plantio direto associadas com gramíneas apresentaram os melhores indicadores físicos do solo sob condições climáticas locais. Neste mesmo ambiente observou-se que o sistema de plantio direto mantém a agregação do solo, enquanto o plantio convencional reduz a agregação e o acúmulo de carbono no solo (SALES et al., 2016).

2.2 Macroagregação do solo como indicador de qualidade

De acordo com Larson e Pierce (1991) a qualidade do solo pode ser definida como a capacidade do solo exercer suas funções e é representada por suas propriedades físicas, químicas e biológicas, e sua capacidade de fornecer para as plantas um meio ideal para seu crescimento, além de regular e distribuir o fluxo de água no ambiente e servir como um tampão para compostos considerados perigosos intervindo na formação, atenuação e degradação dos mesmos. Já para Doran e Parkin (1994) a qualidade do solo pode ser definida como a capacidade de um solo funcionar dentro dos limites do ecossistema para sustentar a produtividade biológica, manter a qualidade ambiental e promover a saúde de plantas e animais. De acordo com Lal (1999) uma forma de melhorar a qualidade seria aumentar conteúdo de matéria orgânica, fazendo com que o solo funcione como dreno de carbono.

Para quantificar a qualidade dos solos, é necessário avaliar as propriedades intrínsecas, e para tal são utilizados os indicadores de qualidade do solo, definidos como propriedades

mensuráveis (quantitativas ou qualitativas) do solo ou da planta acerca de um processo ou atividade e que permitem caracterizar, avaliar e acompanhar as alterações ocorridas num dado ecossistema (KARLEN et al., 1997; ARAÚJO et al., 2012). Estes apresentam como principais características alta correlação com os processos naturais que ocorrem nos ecossistemas, ou seja, apresentam funcionalidade no ambiente de estudo, devem ser de baixo custo e fácil utilização, além de possuir sensibilidade às variações de clima e manejo e integralizar as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (DORAN; PARKIN, 1994).

Como exemplo de indicadores químicos têm-se o C e N total do solo, pH, condutividade elétrica, teores de nutriente com N, P e K. Para os biológicos podem ser citados o C e N da biomassa microbiana, razão entre C da biomassa e o C orgânico total, nitrogênio potencialmente mineralizável e entre os físicos destacam-se, a textura e estrutura do solo, densidade do solo, condutividade hidráulica, temperatura do solo, entre outros (DORAN; PARKIN, 1994).

A agregação do solo, principalmente os macroagregados, é utilizada para quantificar a qualidade do solo, já que a estrutura do solo favorece a aeração e infiltração da água no solo e diminui as taxas de erosão (FERREIRA et al., 2010), ou seja, influencia grandemente na erodibilidade e resistência do solo à erosão. Esta característica apresenta relação direta com textura do solo, quanto mais finas as frações, menor a resistência ao transporte corroborando para maior desagregação (PEREIRA; THOMAZ, 2015).

Além disso, a estrutura pode ser afetada pelo manejo de forma direta e por agentes bióticos e abióticos indiretamente, influenciando em sua estabilidade (BARTO et al., 2010), ou seja, apresenta rápidas alterações temporais e espaciais (PEREIRA; THOMAZ, 2015), assim pode ser considerada como excelente indicadora de qualidade (NOBRE et al., 2015).

Segundo Guimarães et al. (2014), a ocorrência da alteração negativa na estrutura do solo, implica em diminuição da produtividade das culturas, em virtude da queda na retenção de água do solo, na aeração do solo, e no aumento da resistência do solo a penetração de raízes. Devido a intensa exploração dos ambientes naturais para produção agrícola, a adoção de sistemas conservacionistas, principalmente nos tropicais, constitui-se em uma alternativa de manutenção da qualidade do solo, por meio da conservação dos atributos químicos, físicos e biológicos (ALMEIDA; SANCHES, 2014).

De acordo com Rossi et al. (2016), quanto maior o tempo de implantação do sistema conservacionista associado a menor utilização de práticas culturais que revolvem o solo, ocorrerá o acúmulo e manutenção do carbono no solo, e como consequência haverá o aumento nos teores de nutrientes, bem como, dos valores de diâmetro médio ponderado e de diâmetro médio geométrico dos agregados do solo. Já o cultivo intensivo utilizando práticas culturais

convencionais, promove a desagregação da estrutura do solo. Assim a diversificação de cultivo, manutenção da cobertura do solo, contribuem para maior aporte de carbono e consequentemente promovem reorganização das frações do solo permitindo o restabelecimento da qualidade do sistema (RIBON et al., 2014).

De Oliveira Ferreira et al. (2018a), ao estudar a restauração de carbono orgânico em macroagregados sob plantio direto em Latossolo brasileiro observaram que os macroagregados de diâmetros de 8-19 mm apresentaram maior estoque de carbono, com potencial de recuperação. Além disso, a utilização do milho com alta frequência no sistema de produção contribuiu para o acúmulo e manutenção da matéria orgânica, bem como para a formação dos macroagregados. Resultados semelhantes foram encontrados por outros autores (XIAO et al., 2017; BORGES; RIBEIRO; CABRAL, 2015).

2.3 Estoque de Carbono do solo

Os principais compartimentos do elemento químico carbono são, oceanos, atmosfera, ecossistemas terrestres (biota e solo) e formações geológicas que contém carbono na forma fóssil e mineral. Destes compartimentos o que apresenta maior conteúdo de carbono é o oceano com 38000 Pg de C, em seguida encontram-se as formações geológicas com 5000 Pg de C, sendo subdividido em 4.000 Pg presentes no carvão, 500 Pg no petróleo e 500 Pg no gás natural. Em relação aos ecossistemas terrestres o maior compartimento é o solo com 2500 Pg de C, constituído pelo carbono orgânico (1500 Pg C) e inorgânico (1000 Pg C), sendo cerca de 4 vezes maior que o compartimento representado pela biomassa vegetal (620 Pg de C) e 3,3 vezes que o carbono presente na atmosfera (760 Pg de C) (LAL et al., 2004).

A maior parte do carbono orgânico do solo está presente na matéria orgânica morta, equivalendo a cerca de 98% do carbono total. Menos de 4% do total representa o existente na matéria orgânica viva (BATJES, 1999).

O carbono presente na matéria orgânica viva é subdividido em C dos microrganismos (representado principalmente por fungos e bactérias) constituindo de 60 a 80% e C dos macrorganismo que equivale de 15 a 30% representado, que equivale de 15 a 30% (representado por minhocas, térmitas e 5 a 10% de raízes) (MACHADO, 2005).

Já o C da matéria orgânica morta consiste na matéria macrorrgânica, correspondendo de 80-90 % deste material sendo caracterizado pelos resíduos vegetais adicionados ao solo e o húmus, subdividido em substâncias não húmica, correspondendo a 30% do C do húmus, e é representado pelos ácidos orgânicos de baixo peso molecular, como ácido cítrico e malônico e

as substâncias húmicas que representa 70% do C do húmus, e consiste nos ácidos húmico, ácidos fúlvicos e huminas (MACHADO, 2005).

Em relação ao carbono inorgânico, este é representado pelos carbonatos do solo. Como os solos do Brasil são predominantemente ácidos, esta fração do carbono é restrita aos solos encontrados em regiões semiáridas. Mesmo ocorrendo em quantidades menores que o carbono orgânico, ele apresenta importância similar, pois os organismos do solo ao interagirem irão provocar as transformações do carbono inorgânico, podendo causar perdas para atmosfera ou acúmulo no solo (LAL; NEGASSA; LORENZ, 2015).

Conforme Gomes et al. (2019) diversos fatores influenciam a distribuição do estoque de carbono no solo, como a classe de solo, temperatura média mensal, precipitação e vegetação, além das variações na profundidade do solo. No Brasil os maiores valores de estoque de C são encontrados no Sul do Brasil e no noroeste da Amazônia, localizados em altitude elevada e sob condições de clima tropical, já os estoques mais baixos ocorrem no Nordeste do Brasil, que apresenta clima seco e vegetação de caráter xérico.

Para o bioma Amazônia o estoque de carbono encontrado foi de 36,10 Pg C, seguido do Cerrado e Mata Atlântica com 17,07 e 11,49 Pg C respectivamente, e os menores valores ocorreram para o bioma Caatinga, Pampa e Pantanal sendo de 4,88, 1,49 e 0,77 Pg C respectivamente. Considerando 1 m de profundidade do solo, ocorreu variações no estoque de carbono entre os biomas, sendo que o maior valor médio ($12,08 \text{ kg m}^{-2}$) foi para o bioma Mata Atlântica, principalmente no Sudeste, e os menores valores foram encontrados no Pantanal e Caatinga com $6,04$ e $6,40 \text{ kg m}^{-2}$ respectivamente (GOMES et al., 2019).

Ao estimar o estoque de carbono de diversos tipos de solo foram encontrados maiores estoques em Organossolos ($14,87 \text{ kg m}^{-2}$) e menores valores em Luvisolos do semiárido ($6,45 \text{ kg m}^{-2}$) (GOMES et al., 2019). Estes autores descreveram que na camada de 0,00-0,05 m a vegetação influenciou na distribuição do estoque de C, mostrando a importância da mesma como fonte de matéria orgânica. Já para maiores profundidades os fatores climáticos apresentaram maior influência a longo prazo. Além disso o estoque decresceu com o aumento da profundidade do solo, como observado também por outros autores (ASSEFA et al., 2017; SANTANA et al., 2019). Grinand et al. (2017), descrevem que as maiores mudanças ocorrem na camada de 0,00-0,30 m, com redução também em profundidade.

No semiárido Pernambucano Santana et al. (2019) encontraram menores estoques de C em Planossolos mesmo em áreas de Caatinga densa, e o maiores estoques em Argissolos ($98,3 \text{ Mg ha}^{-1}$) e Latossolos ($72,1 \text{ Mg ha}^{-1}$) nesta região. Observou-se que na Caatinga densa ocorreram os maiores estoques ($63,0 \text{ Mg ha}^{-1}$), quando comparado com áreas de agricultura (47

Mg ha⁻¹) e áreas de Caatinga aberta (50 Mg ha⁻¹). Jesus et al. (2019) encontraram valores de 42 Mg ha⁻¹ em Caatinga densa, e áreas de Caatinga aberta com 51% de C a menos que a densa.

Além dos fatores mencionados acima, o manejo adotado também influencia o estoque de carbono do solo. O uso intensivo do solo provoca perda do estoque de carbono, já a adoção de sistemas menos intensivo com aporte de resíduo (aumento da matéria orgânica) das culturas, bem como a redução na intensidade de preparo do solo, podem aumentar o estoque ao longo dos anos (PRASAD et al., 2016; SACRAMENTO et al., 2013).

2.3.1 Recuperação do estoque de carbono do solo

O processo de recuperação do estoque de carbono do solo ocorre de forma gradativa, e depende de vários fatores, principalmente a destinação à que o solo é submetido. Dentre as formas de cultivo têm-se observado que a adoção da agricultura conservacionista, com diversificação de culturas, revolvimento mínimo e cobertura permanente do solo (FAO, 2016), tem permitido a recuperação do carbono ao longo do tempo em clima subtropical (TIVET et al., 2013; DE OLIVEIRA FERREIRA et al., 2016, 2018a, 2018b) e tropical (SÁ et al., 2015; DE OLIVEIRA FERREIRA et al., 2021).

Em ambientes de clima subtropical várias pesquisas apontam a eficiência de sistemas conservacionistas. Em 16 anos de instalação de sistema com preparo mínimo do solo, observou-se na camada de 0,00-0,40 m, foram recuperados 25,7 Mg ha⁻¹ de C, considerando que na implantação do sistema havia 106 Mg ha⁻¹ de C e 20 anos antes (quando ocorreu a conversão da mata nativa em agricultura) era de 159,3 Mg ha⁻¹ (SÁ et al., 2014). Em áreas pioneiras (mais de 20 anos) com plantio direto no Rio Grande do Sul e adoção de rotação diversificada de culturas ocorreu recuperação acima de 92% do estoque de carbono do solo quando comparado à vegetação nativa (de OLIVEIRA FERREIRA et al., 2016).

Em áreas do bioma Mata Atlântica Hickmann e Costa (2012), apontam que o sistema de Plantio Direto (PD), quando comparado a outros sistemas, foi o que mais se aproximou da mata nativa em termos de recuperação do estoque de carbono, com valores de 14,49 Mg ha⁻¹ e 9,23 Mg ha⁻¹ para mata e PD respectivamente na camada de 0,00-0,05 m, em Argissolo Vermelho Amarelo com 23 anos de condução de PD.

2.4 O Bioma Caatinga

O termo Caatinga é de origem indígena e significa mata branca (caa = mata; tinga = branca e aberta). O bioma é caracterizado por apresentar vegetação em sua maioria xerófila,

decídua, que sofre perda das folhas à medida que aumenta o período sem chuvas, porém prevalece verde durante o período chuvoso (GARIGLIO, 2010).

Este bioma compreende uma área de aproximadamente 844.453 km², sob as latitudes subequatorial compreendidas entre 2° 45' e 17° 21' Latitude Sul e abrange porções dos estados Maranhão, Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Pernambuco, Paraíba, Alagoas, Sergipe, Bahia e parte de Minas Gerais. Apresenta uma área que engloba 54% da Região Nordeste e 11% do território brasileiro, denominado de polígono das secas (MMA, 2011; ALVES et al., 2009). Conforme Gomes et al. (2019), é o bioma mais seco, sob clima semiárido (BSh), com precipitação média anual de 500 mm e temperatura média anual de 20 a 29 ° C.

Este bioma apresenta altas taxas de evapotranspiração associado ao elevado nível de insolação bem como um déficit hídrico significativo, influenciando diretamente nas espécies vegetais que irão predominar e, conseqüentemente, no conteúdo de biomassa produzido (SILVA et al., 2015a). Conforme Santos et al. (2017), a vegetação destes ambientes é composta, predominantemente, por espécies herbáceas, lenhosas, cactáceas e bromeliáceas, e sua distribuição está diretamente ligada com o regime de chuvas, classe de solo, relevo e intensidade da ação humana.

O bioma Caatinga apresenta alta biodiversidade, com espécies únicas quando comparado com outras regiões Semiáridas do mundo, sendo assim, a Caatinga brasileira apresenta um caráter de exclusividade em relação às espécies existentes. Desta forma, deve-se ter uma atenção redobrada a este bioma, pois é caracterizado como frágil e muitas espécies encontram-se em extinção (SILVA et al., 2015a).

Os solos que predominam no Semiárido, em geral, são ricos quimicamente, no entanto, geralmente apresentam pouca profundidade, afloramentos rochosos e presença de pedimentos. As principais classes são Latossolos, Neossolos, Luvisolos, Planossolos, Chernossolos, Cambissolos e Vertissolos (ARAÚJO FILHO, 2013).

Segundo Sacramento et al. (2013), o manejo inadequado dos solos no Semiárido associado a baixa produção de biomassa vegetal contribuem para a redução do estoque de carbono do solo. Estes autores afirmam que os sistemas convencionais de cultivo levaram à redução dos estoques de C e N no solo, sendo este tipo de cultivo inadequado para as condições do Semiárido.

No estado de Pernambuco a Caatinga compreende a maior zona fitogeográfica sendo dividida em duas subzonas denominadas de agreste e Sertão. O agreste é caracterizado pela presença de espécies decíduas em grande número e abundância de Cactáceas e Bromeliáceas. Muitas espécies presentes no Sertão encontram-se também no agreste em larga escala. Na

subzona do agreste a vegetação em geral é mais densa que a do Sertão, os solos mais profundos e a pluviosidade mais elevadas e regular. Por ser uma subzona com uma densidade demográfica maior o desmatamento das áreas arborizadas é mais intenso. (DE ANDRADE LIMA, 2007).

Enquanto que a subzona denominada de Sertão é bem maior que o agreste. Nesta subzona os efeitos da estiagem são mais duradouros, devido a maior irregularidade das precipitações pluviométricas, com um grande contraste caracterizado por secas prolongadas e chuvas torrenciais efêmeras. Além disso, apresenta solos mais rasos que os do Sertão (DE ANDRADE LIMA, 2007).

Esta subzona é dividida em Sertão central (caracterizado pelo peneplano com suas ondulações), Sertão dos chapadões areníticos (com solo arenoso profundo e vegetação típica), Sertão do São Francisco (faixa que acompanha o rio com altitude inferior a 400 m), Sertão do Jatinã (apresenta como centro o município de Belém do São Francisco), Sertão do Araripe (terras boas ao pé da serra do Araripe) (DE ANDRADE LIMA, 2007).

2.4.1 Estoque de carbono de áreas em regeneração no bioma Caatinga

De acordo com Althoff et al. (2018a) cerca de metade do milhão de km² coberto originalmente por florestas seca tropical (Caatinga) no nordeste do Brasil sofreu desmatamento e implantou-se pastagens e lavouras. O que ficou das áreas de florestas é submetido a remoção de lenha frequentemente. As áreas destinadas a práticas a pastagem e cultivo são abandonadas constantemente após um certo período de uso, fazendo com que a mata se regenere formando áreas de florestas secundárias em vários estágios de regeneração.

Neste sentido pesquisas tem sido desenvolvida com o intuito de entender a dinâmica do carbono nestes ecossistemas em condições de regeneração. No semiárido do estado da Paraíba foi observado (município de Santa Teresinha) estoque de C em Caatinga preservada de 31,85 Mg ha⁻¹, e Caatinga em regeneração por 20 anos de 23,1 Mg ha⁻¹ para a camada de 0,00-0,20 m. A diferença entre parcelas preservadas e em regeneração mostra que florestas de Caatinga, mesmo após 20 anos de regeneração, ainda têm quase 30% menos carbono do solo do que uma Caatinga deixada sem cortes (ALTHOFF et al., 2018a).

Neste mesmo município o estoque de carbono na Caatinga em regeneração variou de acordo com o estágio de sucessão da mesma. Foram encontrados estoques de carbono no solo de 21,76, 22,39, 36,66 e 30,21 t ha⁻¹ de C em 1, 15, 37 e 57 anos de regeneração respectivamente na camada de 0,00-0,20 m. Já os estoques totais considerando solo + vegetação, foram de 25,52, 36,13, 56,30 e 84,82 t ha⁻¹ de C para os mesmos anos (MOURA et al., 2016).

No agreste Pernambucano (município de São João), Althoff et al. (2018 b) descrevem que a textura do solo influenciou no estoque de carbono. Sendo observado estoque de 20 e 30 Mg ha⁻¹ para solos de textura arenosa e argilosa respectivamente. Houve influência também das estações, sendo que na seca ocorreram maiores estoques, enquanto em anos chuvosos há maior decomposição da matéria orgânica, acarretando menores estoques.

Ao avaliar o estoque de carbono do solo em Caatinga manejada com realização de desbaste (remoção de plantas com diâmetro na altura do peito-DAP inferior a 0,10 m) Aquino et al. (2017), encontraram maiores estoques na camada de 0,00-0,20 m (40 Mg ha⁻¹) e menores estoques em profundidade 29,9 Mg ha⁻¹ em 0,20-0,40 m e 29,2 Mg ha⁻¹ na camada de 0,40-0,60 m.

Um aspecto importante sobre a dinâmica do carbono no solo está diretamente ligado a produção de biomassa nos ecossistemas, tendo em vista que a produção da mesma proporciona maior ou menor estoque de carbono ao longo do tempo. Em regiões do semiárido Pernambucano observou-se que a produção de biomassa em área preservada (>50 anos) foi de cerca de 70 Mg ha⁻¹ e estoque de carbono referente a biomassa 30 Mg ha⁻¹. Já em áreas em regeneração o estoque variou entre 9,5 e 14,2 Mg ha⁻¹, para os cenários de estação seca e chuvosa respectivamente (ALTHOFF et al., 2018 b).

Estudando também solos do semiárido Pernambucano Costa et al. (2014), em relação a produção de biomassa no bioma Caatinga, encontraram produção de biomassa radicular na Caatinga densa e aberta de 19,6 e 8,6 Mg ha⁻¹ respectivamente. Para a biomassa da parte aérea foi observado o mesmo comportamento (45,8 e 20,7 Mg ha⁻¹) sendo maior na vegetação densa.

2.4.2 Estoque de carbono em áreas agrícolas no bioma Caatinga

É conhecido que os diversos sistemas de cultivos, bem como o tempo, influenciam no estoque de carbono do solo. Em Cambissolos localizados em Limoeiro do Norte Ceará Oliveira et al. (2015) encontraram para a camada de 0,00-0,5 m estoques de 51,97 Mg ha⁻¹ em áreas cultivadas com banana irrigada, 51,04 Mg ha⁻¹ em locais com plantio de goiaba, 75,05 Mg ha⁻¹ em ambientes com pastagem (*Cynodon niemfluesi*) irrigada e 63,46 Mg ha⁻¹ para locais com sucessão de milho e feijão irrigados com pivô central.

Para áreas com atividades agrícolas convencionais de subsistência em América Dourada na Bahia, o estoque de carbono em Cambissolo na camada de 0,00-1 m variaram de acordo com o tempo de instalação dos sistemas agrícolas. Os valores determinados para 5, 15, 20, 30, 35 e 40 anos de agricultura foram de 177,99, 193,05, 171,59, 153,76, 144,69, e 130,66 Mg ha⁻¹ respectivamente (MEDEIROS et al., 2020).

Em sistemas de agricultura no bioma Caatinga no estado de Pernambuco foram encontrados estoques de carbono para camada de 0,00-1 m em Latossolos e Argissolos de 54,44 Mg ha⁻¹ e 88,8 respectivamente. Em Neossolos na camada de 0,00-0,50 m observou-se estoques de 24,7 Mg ha⁻¹ e para Planossolos na camada de 0,00-0,60 m 14,6 Mg ha⁻¹. Neste estado foram estudados também os estoques de carbono em pastagem para as mesmas classes de solo e profundidades. Foram encontrados estoques de 68,2 Mg ha⁻¹ e 74,2 Mg ha⁻¹ em Latossolos e Argissolos nesta ordem. E, em Neossolos e Planossolos 58,4 Mg ha⁻¹ e 20,5 Mg ha⁻¹ respectivamente (SANTANA et al., 2019).

Para Latossolos cultivado por um período de 20 anos (localizado em Exu-PE) o estoque de carbono na camada de 0,00-1 m foi de 57,20 Mg ha⁻¹. Já em áreas cultivadas por 15 anos (localizada em Salgueiro-PE) o estoque foi de 15,20 para a camada de 0,00-0,60 m (SANTANA, 2015).

Já em áreas de agricultura convencional de subsistência, no estado da Paraíba no município Catolé do Rocha, o estoque de carbono em Argissolos para a camada de 0,00-0,90 m foi determinado e os valores encontrados foram de 103,32 e 93,21 Mg ha⁻¹ para 12 e 15 anos de implantação das culturas (MEDEIROS et al., 2020). Santana (2015) obteve valores semelhantes (89,50 Mg ha⁻¹) para esta classe de solo em Bodocó no estado de Pernambuco para a camada de 0,00-1 m em 15 anos de sistemas agrícolas (SANTANA, 2015).

No estado da Bahia no município de Valente Sacramento et al. (2018) estudaram o estoque de carbono em áreas cultivadas com a cultura do Sisal sob dois sistemas de manejo, o convencional e o sistema alternativo de cultivo até 0,40 m de profundidade em Neossolo Regolítico. Para o sistema convencional de cultivo foram encontrados 27,73 Mg ha⁻¹ de estoque de carbono. Já para o sistema alternativo observou-se estoque de 44,70 Mg ha⁻¹. Também nesta classe de solo, na camada de 0,00-0,50 m de áreas agrícolas em Santana do Ipanema no estado de Alagoas, foram encontrados estoques de 110,78 Mg ha⁻¹ e 57,83 Mg ha⁻¹ em áreas cultivadas por 2 e 38 anos respectivamente (MEDEIROS et al., 2020).

Em áreas cultivadas com Manga em Petrolina no estado de Pernambuco foram encontrados estoques de 11,85 Mg ha⁻¹ e 6,80 Mg ha⁻¹ para as camadas de 0,00-0,05 m e 0,05-0,10 m respectivamente em Neossolo Quartzarênico (DOS SANTOS et al. 2019c). Estudos em maiores profundidades (camada de 0,00-0,30 m) foram realizados nos sistemas agrícolas e observou-se maiores valores, em Delmiro Gouvêia no estado da Paraíba, na ordem de 31,05 Mg ha⁻¹ (GONZAGA, 2017). Para classe de Neossolo Litólico encontrou-se estoque de carbono de 22,30 Mg ha⁻¹ para a camada de 0,00-0,60 m em área com agricultura por 28 anos em Araripina no estado de Pernambuco (SANTANA, 2015).

Ao estudar o estoque de carbono em Gleissolo Sáfico sob Agricultura convencional de subsistência Medeiros et al. (2020) encontraram valores de 97,10 Mg ha⁻¹ para a camada de 0,00-0,70 m em área cultivadas por um período de 11 anos seguido. Para esta mesma classe em Santa Luzia na Paraíba observou-se estoques de 48,95, 74,02 e 51,97 Mg ha⁻¹ para períodos de cultivo de 19, 38 e 90 anos respectivamente. Estes autores estudaram também estoque de carbono em Luvisolos e encontraram em Senhor do Bonfim na Bahia valores de 48,33 e 59,93 Mg ha⁻¹ para a camada de 0,00-0,50 m para sistemas agrícola de 10 e 15 anos. E em sistemas com 47 anos de instalação observou-se estoque de 53,51 Mg ha⁻¹ para a mesma camada em Santana do Ipanema, Alagoas.

2.4.3 Estoque de carbono em ambientes cultivados com feijão caupi (*Vigna unguiculata*)

O feijão caupi é uma cultura com alto valor nutricional, cultivada principalmente na região nordeste e norte do país. No Nordeste, em especial no semiárido é cultivado especialmente por agricultores familiares, com baixo aporte de tecnologias e enfrentamento às adversidades climáticas desta região. Não obstante, esta cultura tem ganhado destaque por adaptar-se às condições edafoclimáticas do semiárido (TEIXEIRA; STONE; HEINEMANN, 2015). A área estimada de plantio no Nordeste é de 694 mil hectares representando mais de 81% da área plantada no território nacional. No estado de Pernambuco é destinada uma área expressiva para cultivo do feijão caupi, sendo 107,3 mil hectares, isto para o ciclo 2019/2020 correspondendo a mais de 15% da área cultivada no Nordeste (CONAB, 2020).

Em relação à contribuição desta cultura para o estoque de carbono do solo no bioma Caatinga, são escassas publicações a respeito. Em outros ambientes notou-se que o cultivo do feijão caupi é realizado geralmente em consórcio com outras culturas. Em experimento realizado consorciando o feijão caupi e milho, Chieza et al. (2013) observaram que houve redução no diâmetro médio ponderado dos agregados em Argissolo localizado em Santa Maria, Rio Grande do Sul. Em áreas de consórcio de feijão caupi, milho e mandioca, localizadas em ambiente de Savana no estado de Roraima, observou-se na camada de 0,00-0,05 m teores de 19,9 g kg⁻¹ de carbono, com diminuição em profundidade (MELO et al., 2017).

Sob condições de clima temperado na camada de 0,00-0,30 m do solo cultivado com feijão caupi foram encontrados estoques de carbono de 48,56 Mg ha⁻¹ em SPD com preparo convencional e 51,15 Mg ha⁻¹ em sistema Plantio Direto combinado com o uso de culturas para manter a cobertura do solo como, centeio (*Secale cereale* L.), ervilhaca peluda (*Vicia villosa* L.), trevo vermelho (*Trifolium incarnatum* L.), capim-centeio italiano (*Lolium multiflorum* Lam.), e rabanete (*Raphanus sativus* L.) (GUZZETTI et al., 2020). Ferreira et al. (2014),

observaram diminuição dos estoques de carbono em sistema convencional de feijão caupi na Caatinga, em comparação com a vegetação nativa.

Utilizando o sistema de rotação com *Vigna unguiculata* e *Triticosecale* 'Alter' cv. observou-se estoque de carbono do 15,08 Mg ha⁻¹ na camada de 0,00-0,20 m de Cambissolo em condições de clima mediterrâneo (OLIVEIRA FILHO et al., 2019). Veloso et al. (2018), encontraram estoques de carbono em cultivo convencional de aveia + ervilhaca intercalada com milho + feijão caupi de 142,9 Mg ha⁻¹ na camada de 0,00-1 m em Argissolo no Sul do Brasil. Nestas mesmas condições, porém em sistema de plantio direto, observaram estoque de 148,2 Mg ha⁻¹.

Ao avaliar o estoque de carbono ao longo de dez anos em sistema intensivo de cultivo com milho, trigo e feijão caupi na Índia semiárida e subtropical Purakayastha, Singh e Bhadraray (2008) observaram um incremento de 3,8 Mg ha⁻¹ ao longo deste período. Antoine et al (2019), afirmam que a combinação do milho e feijão caupi é uma alternativa viável ao aumento da fertilidade do solo em condições de clima tropical. O consórcio destas culturas aumentou os estoques de carbono do solo em 62,36% em condições de plantio com elevada densidade de feijão caupi no norte da Costa do Marfim.

Oliveira et al. (2015) analisaram os estoques de carbono em áreas de sucessão de milho e feijão (*Vigna unguiculata* ssp. *Sesquipedalis* (L.) Verdc.) no bioma Caatinga em Jaguaribe Apodi no estado do Ceará em diversas profundidades, e encontraram 7,99 Mg ha⁻¹ para camada de 0,00-0,05 m, 9,52 Mg ha⁻¹ para 0,05-0,10 m, 9,01 Mg ha⁻¹ para 0,10-0,15 m, 24,63 Mg ha⁻¹ para 0,15-0,30 m, 13,61 para 0,30-0,50 m.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Descrição da área de estudo

A área de coleta do presente trabalho localiza-se no município de Tabira, no Sítio Nova Espanha, que está inserido no estado de Pernambuco, na macrorregião do Sertão Pernambucano e na bacia hidrográfica do rio Pajeú (Figura 1). A mesma apresenta extensão territorial de 16.686 km², representando 17% da área do estado, e localiza-se na zona fisiográfica do Sertão entre as coordenadas de 07°16'20" e 08°56'01" de latitude Sul, e 36°59'00" e 38°57'05" de longitude Oeste (DIAZ; PEREIRA; NÓBREGA, 2018).

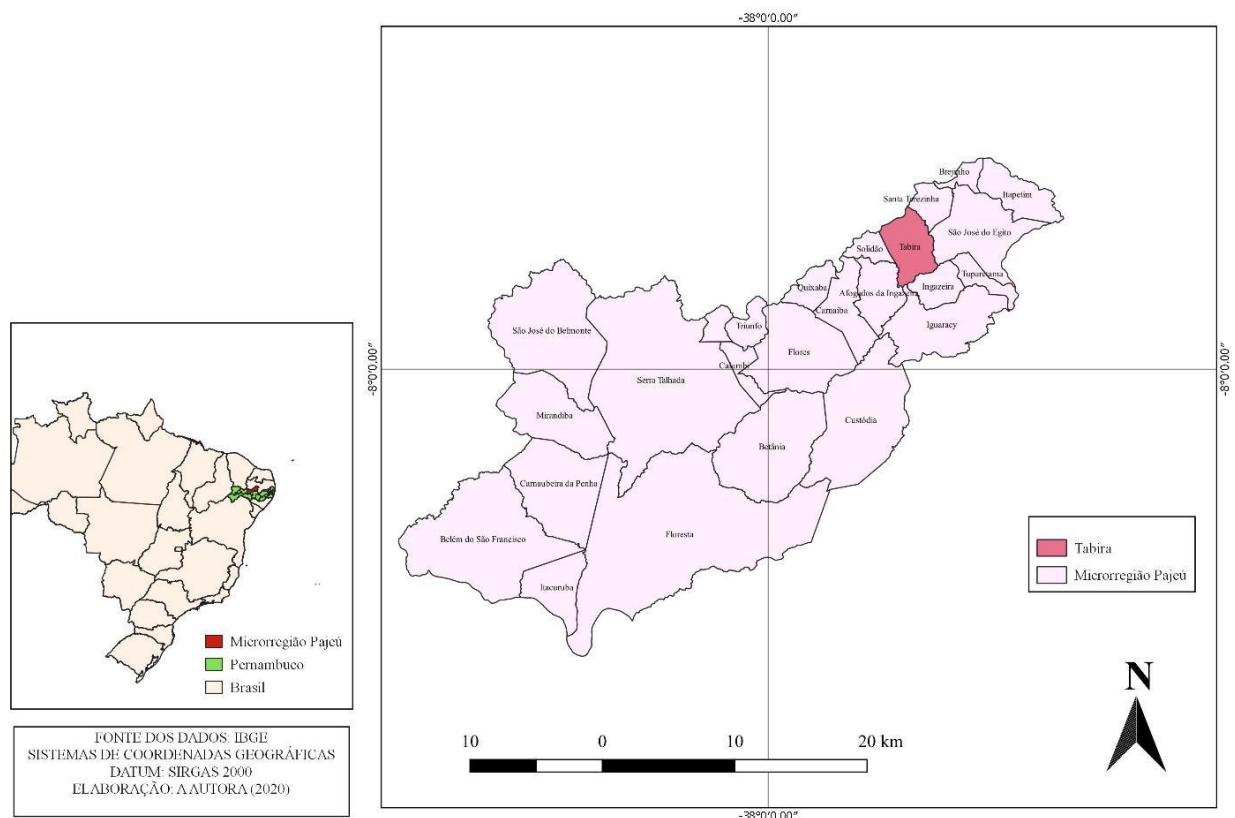


Figura 1. Mapa de localização da bacia hidrográfica do rio Pajeú

Já Tabira limita-se ao Norte com o estado da Paraíba e o município Santa Terezinha, ao Sul com Igaraci, e Ingazeira, Leste com Santa Terezinha e São José do Egito, ao Oeste com Afogados da Ingazeira e Solidão. A sede municipal está a 580 m de altitude em relação ao nível do Mar, apresenta sua posição geográfica determinada pelo paralelo de -7° 35 27.6 da latitude 37 32 20.4 de longitude (IBGE, 2017).

A bacia hidrográfica do rio Pajeú limita-se a norte com os estados do Ceará e Paraíba, ao sul com o grupo de bacias de pequenos rios interiores, a Leste com a bacia do rio Moxotó e

o estado da Paraíba, e a oeste com a bacia do rio Terra Nova e o grupo das bacias de pequenos rios interiores (FRANÇA et al., 2019). O rio Pajeú apresenta regime intermitente, percorrendo uma extensão de 347 km, com a nascente na Serra do Balanço, localizada no município de Brejinho, com altitude de cerca de 800 m, chegando ao rio São Francisco, especificamente no reservatório de Itaparica (CBHSF, 2016).

Cerca de 86% da bacia hidrográfica do rio Pajeú é constituída por vários tipos líticos cristalinos, estando inserida no domínio de rochas cristalinas e cristalofílicas do embasamento Pré-Cambriano nordestino, sendo que 12% da área da bacia é ocupada por depósitos de bacia sedimentar, os demais são representados por depósitos recentes, com destaque para os aluviais (BELTRÃO et al., 2005).

De acordo com França (2017), o relevo da bacia apresenta baixa movimentação sendo caracterizado como plano, suave ondulado e ondulado em 92,3% da área. Dentro da bacia a altitude pode variar de 250 m a mais de 1000 m, sendo o ponto mais alto o Pico do Papagaio localizado no município de Triunfo, assim no alto do Pajeú o relevo é constituído por colinas e serras, enquanto no baixo Pajeú, onde prevalece o domínio da depressão sertaneja, há áreas com altitudes de 296 m a 539 m.

O clima da região é caracterizado como Tropical semiárido (BShw) conforme a classificação de Köppen com precipitação média anual de 574,67 mm ano⁻¹ (IBGE, 2010). De acordo com Soares, Nóbrega e Galvício (2018), a bacia do rio Pajeú apresenta evapotranspiração potencial anual entre 1200 a 1500 mm, e período chuvoso entre os meses de janeiro a maio. Historicamente as médias de precipitação na bacia são maiores na porção norte da mesma com média anual de 1200 mm, devido a influência marcante da topografia, enquanto na direção sul as médias anuais diminuem significativamente apresentando valores em torno de 467 mm. Estes valores médios elevados de precipitação prevalecem no município de Triunfo, o ponto mais alto do estado, que apresenta um microclima diferenciado dentro da bacia, sendo do tipo tropical/brejo de altitude, contradizendo a aridez existente no Sertão do nordeste (GONÇALVES; VITAL, 2019). Na figura 2 encontram-se os valores médios da precipitação mensal do município de Tabira nos últimos 20 anos.

Em relação a temperatura as médias históricas chegam a 20°C na parte norte, regiões com cotas altimétricas superiores a 900 m, e a 26°C na parte sul, localizada na calha do Rio São Francisco, que apresenta altitude média de 350 m (VERSYPLE et al., 2015).

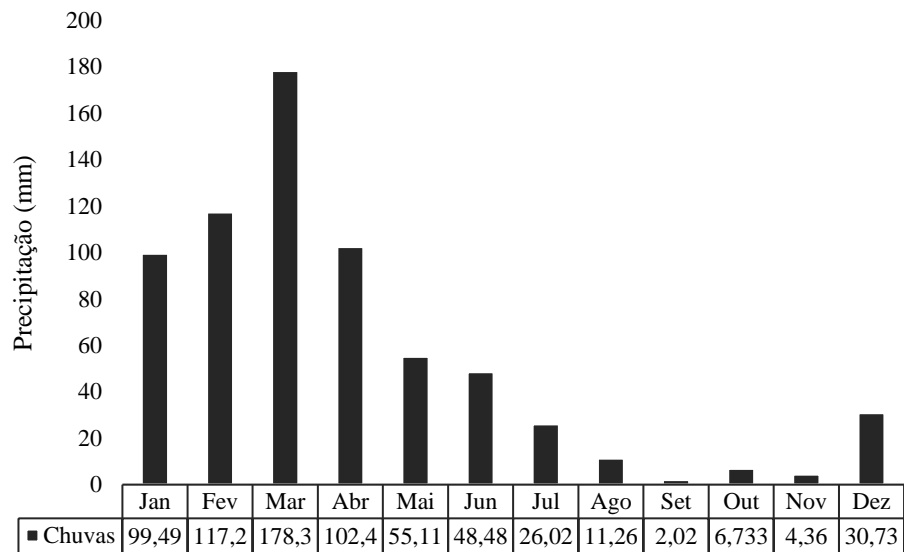


Figura 2. Média da distribuição mensal da precipitação pluviométrica no município de Tabira entre os anos de 2000 e 2020. (Fonte: APAC)

A vegetação natural predominante é caracterizada como Caatinga hiperxerófila e hipoxerófila, com predomínio da primeira. A Caatinga hiperxerófila é típica de ambientes mais secos no semiárido com maior ocorrência na Depressão Sertaneja. As espécies mais observadas são macambira, pereiro, xique-xique, caroá e angico (JATOBÁ; LINS, 1998). Conforme Ferreira et al. (2014), 61,6% da bacia é composta por esta vegetação (denominada também de Savana Estépica Arborizada) com espécies que atingem no máximo 5 metros de altura e possuem espaçamento entre si. Já a Caatinga hipoxerófila é constituída em sua maioria por árvores e arbustos que perdem as folhas na estação seca, com espécies como a jurema preta, mandacaru e marmeleiro (JATOBÁ; LINS, 1998).

O solo da área de coleta é um Luvissole Háplico Órtico típico, conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (DIAS, 2017). De acordo com Coelho et al. (2002), os Luvissoles ocupam na região semiárida cerca de 107 mil km², o que corresponde a 89 % da área de Luvissoles do Nordeste brasileiro. Na bacia hidrográfica do rio Pajeú esta classe abrange 27,14% da superfície da mesma e, apresenta média susceptibilidade a erosão (FERREIRA et al., 2014). Os Luvissoles compreendem solos minerais, não hidromórficos, com horizonte B textural com argila de alta atividade e alta saturação por bases, imediatamente abaixo de um horizonte A ou E (DOS SANTOS et al., 2018).

3.2 Histórico da área

As áreas de coletas estão inseridas no bioma Caatinga. A primeira é uma área cultivada intensamente com feijão de sequeiro (*Vigna unguiculata*) de 1990 a 2019 (Figura 3), ou seja, 30 anos de monocultivo sem intercalação com outras culturas com 0,745 hectares. A produtividade média da cultura durante os 30 anos de plantio foi 193,8 kg/ha. Para fins de produtividade é utilizado o preparo convencional do solo utilizando aração e gradagem com tração animal. A limpeza da área durante os anos de plantio foi realizada mecanicamente com uso de enxadas. Além disso, neste local ocorre a criação de bovinos de forma extensiva com uma taxa de lotação de 15 cabeças por hectare, que contribui para fertilização com uma produção média de 10 kg/animal de esterco por dia. A utilização do calcário para a correção é adotada esporadicamente. O plantio do feijão é realizado nos meses de janeiro e fevereiro. Após a colheita da cultura a área é utilizada apenas pelos animais.

A segunda área é constituída por vegetação de Caatinga semi-arbustiva preservada por mais de 30 anos, sendo utilizada como a mata de referência. E a terceira, uma área de Caatinga em regeneração por 10 anos, compreendendo o período de 2010 a 2019 (Figura 4). Em 2009, neste local foi realizado desmatamento e limpeza (retirada de troncos e resíduos vegetais para facilitar o plantio) e posteriormente instalada as culturas do feijão caupi e milho (*Zea mays*) de sequeiro por um ano. Para instalação da cultura foi realizado o preparo do solo com aração e gradagem. Neste local não foi realizada correção e adubação mineral do solo durante o ano de cultivo. Entre os anos de 1990 e 2009 esta área era utilizada para extração de lenha. As espécies que compõe a Caatinga preservada e a Caatinga em regeneração encontram-se na tabela 1.

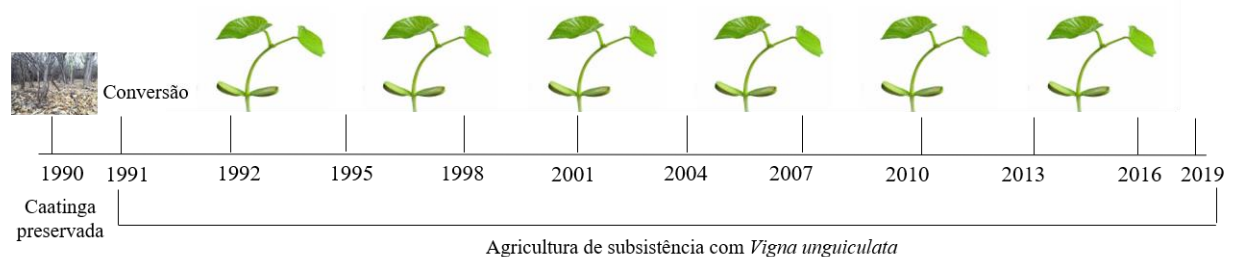


Figura 3. Histórico de uso da terra em uma área cultivada com feijão (*Vigna unguiculata*) no bioma Caatinga na microrregião do Pajeú, no semiárido Pernambucano

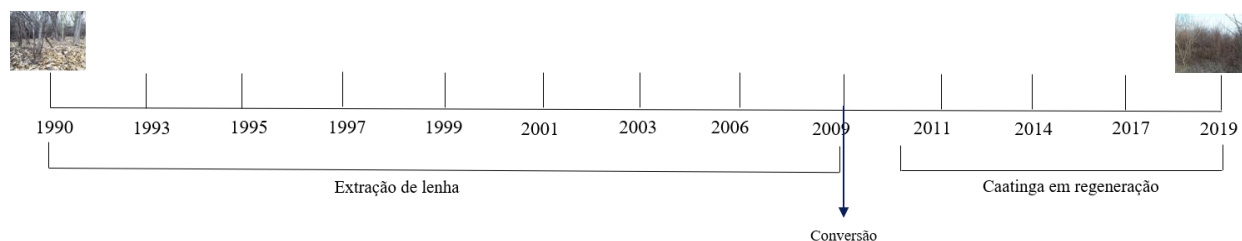


Figura 4. Histórico de uso e manejo do solo em uma área de Caatinga em regeneração na microrregião do Pajeú, no semiárido Pernambucano

Tabela 1. Principais espécies que compõe a flora da Caatinga preservada e Caatinga em regeneração no Sertão do Alto Pajeú*

Caatinga preservada		Caatinga em regeneração	
Nome comum	Nome científico	Nome comum	Nome científico
Jurema Preta	<i>Mimosa hostilis</i> Benth	Jurema Preta	<i>Mimosa hostilis</i> Benth
Marmeleiro	<i>Croton sonderianus</i>	Marmeleiro	<i>Croton sonderianus</i>
Juazeiro	<i>Ziziphus joazeiro</i> Mart.	Catingueira	<i>Caesalpinia pyramidalis</i> Tul.
Angico	<i>Anadenanthera macrocarpa</i> (Benth) Brenan)	Malva	<i>Sida galheirensis</i>
Baraúna	<i>Schinopsis brasiliensis</i> Engl.	Capim buffel	<i>Cenchrus Ciliaris</i> L
Umbuzeiro	<i>Spondias tuberosa</i> Arruda	Mandacaru	<i>Cereus jamacaru</i> DC.
Catingueira	<i>Caesalpinia pyramidalis</i> Tul.		
Mandacaru	<i>Cereus jamacaru</i> DC.		
Xique-xique	<i>Pilosocereus gounellei</i> Weber		
Rabo de raposa	<i>Harrisia adscendens</i>		
Facheiro	<i>Pilosocereus pachycladus</i>		
Umburana de cambão	<i>Bursera leptophloeos</i> Mart		
Umburana de cheiro	<i>Torresea cearenses</i> Fr. Ali		
Canafistula	<i>Cassia excelsa</i> Schrad		
Maniçoba	<i>Manihot pseudoglaziovii</i>		
Aroeira	<i>Astronium urundeuva</i> Engl.		

* Os dados descritos na tabela foram fornecidos pelo proprietário da área de coleta

3.3 Coleta e tratamento das amostras

As amostras foram coletadas no mês de dezembro de 2019, em três áreas com usos distintos (uma área de Caatinga semi-arbustiva preservada por 30 anos, uma de Caatinga em regeneração por 10 anos e uma área de Caatinga convertida em cultivo de feijão com 30 anos) (Figura 5), nas quais foram abertas cinco trincheiras com 0,20 m de profundidade correspondendo ao horizonte A do solo. Em cada trincheira foram coletadas amostras em três camadas (0,00-0,05, 0,05-0,10, 0,10-0,20 m), no formato de blocos (Figura 6).



Figura 5. Área de Caatinga preservada (A) e área de cultivo de feijão (B) e área de Caatinga em regeneração (C). (Fonte imagem (B): <https://hortas.info/como-plantar-feijao>.)

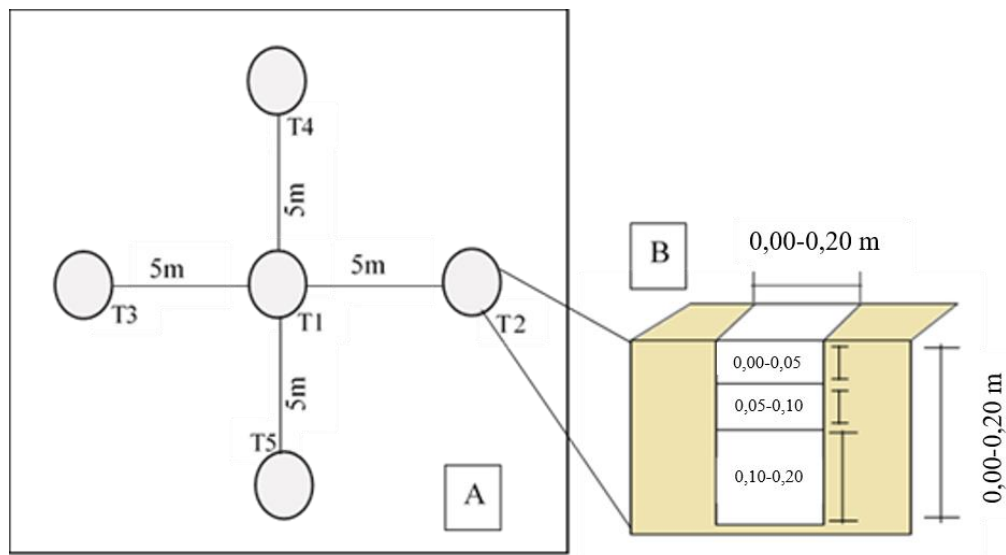


Figura 6. Croqui detalhando a realização da coleta em transecto (A) e da amostragem de solo em diferentes profundidades (B)

Os blocos de solo coletados foram acondicionados em plástico filme e transportados para o laboratório. No total coletou-se 45 blocos, quinze em cada área, sendo que cada amostra originou uma duplicata. No laboratório realizou-se a separação dos agregados utilizando peneiras de 8 e 4,76 mm (Figura 7). O material retido na peneira de 4,76 mm foi utilizado no

Yoder, separando-se as classes de agregado nos tamanhos de 2-8 mm, 0,25-2 mm e 0,053-0,25 mm.

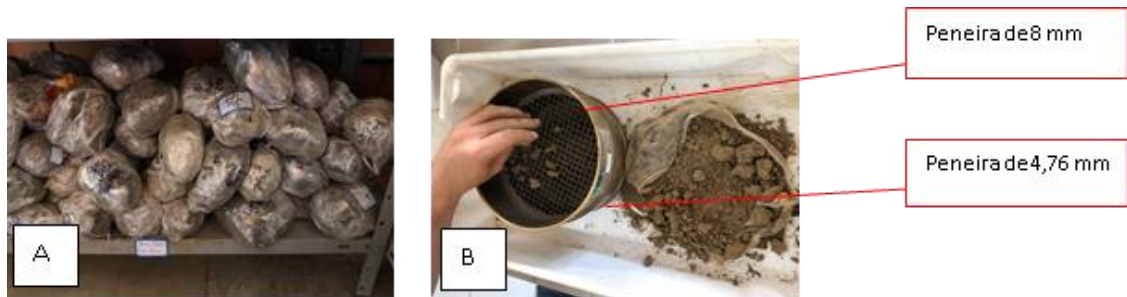


Figura 7. Amostras de solo acondicionadas em plástico filme e armazenadas no laboratório (A); Separação dos agregados considerando seus pontos de fraqueza usando as peneiras de 8 e 4,76 mm (B)

3.4 Análises química e física

Coletou-se amostras deformadas para análise das características químicas do solo em todas as profundidades. As mesmas foram acondicionadas em sacos plásticos e posteriormente seca ao ar e destorroadas para obtenção da Terra Fina Seca ao Ar (TFSA). Após obtenção da TFSA, determinou-se o pH em água na proporção de 1:2,5; a condutividade elétrica foi medida no extrato da pasta saturada (Richards, 1954).

Os cátions trocáveis K^+ e Na^+ , foram extraídos utilizando Mehlich-1 (HCl $0,05 \text{ mol L}^{-1}$ + H_2SO_4 $0,0125 \text{ mol L}^{-1}$) e dosados por fotometria de chama. Já Ca^{2+} e Mg^{2+} foram extraídos com KCl , utilizando 5 g de solo e 50 mL do extrator e dosados por espectrofotometria de absorção atômica (TEXEIRA et al., 2017); O P disponível foi extraído utilizando o método proposto por Olsen ($NaCO_3$ $0,5 \text{ mol}$) (OLSEN et al., 1954) e a determinação realizada por espectrofotometria. A acidez potencial ($H^+ + Al^{3+}$) foi extraída com acetato de cálcio (CH_3COO_2 Ca $0,5 \text{ mol L}^{-1}$) tamponado a pH 7,0 com determinação volumétrica utilizando $NaOH$ e fenolftaleína como indicador. Com os resultados obtidos foram calculados a soma de bases (S), CTC potencial (T) e saturação por bases (V%) do solo (TEXEIRA et al., 2017).

Foram coletados torrões com diâmetro de 4 a 7 cm de diâmetro conforme Teixeira et al. (2017), para determinação da densidade do solo pelo método do torrão parafinado nas profundidades de 0,00-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m (Figura 9). Além das cinco repetições, a análise foi realizada em triplicata no laboratório.

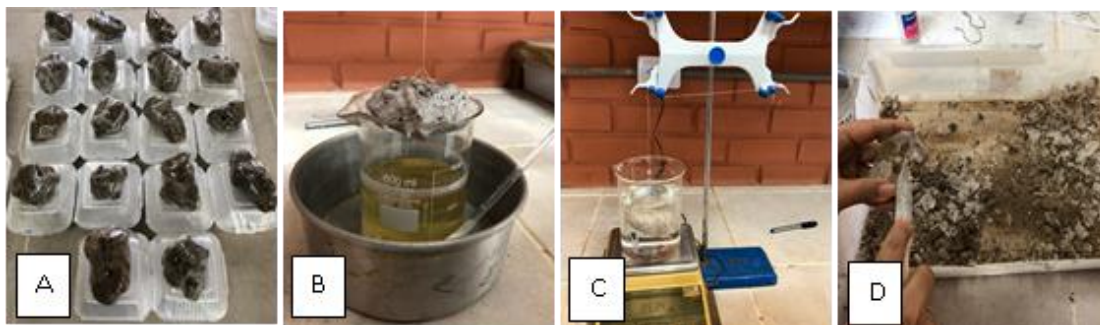


Figura 8. Blocos de solos separados com diâmetro de 4 a 7 cm (A); Imersão do bloco de solo na parafina líquida (B); Determinação do volume do torrão parafinado (C); Limpeza do torrão parafinado para ser seco em estufa a 105°C

A análise granulométrica foi realizada pelo método do densímetro, conforme descrito em Almeida (2008). Neste método, 50 g das amostras sob dispersante (hexametáfosfato de sódio + carbonato de sódio=0,25 mol) e 250 mL de água ficaram no agitador tipo Wagner por 16 horas, posteriormente foi transferido para uma proveta com volume de 1 L, preenchida até 0,94 L, na qual realizou-se agitação manual com uma haste, e por 24 horas a suspensão ficou em repouso.

Após as 24 horas de repouso realizou-se a leitura da suspensão com o densímetro de Bouyoucos, e a leitura do branco que consistiu em água mais dispersante. Em seguida determinou-se a fração areia total utilizando uma peneira de malha de 0,053 mm para a retenção de mesma. O material retido foi transferido para uma estufa a 105°C por 24 horas. Após a obtenção dos teores de argila e areia o silte foi calculado por diferença. Os resultados da análise granulométrica encontram-se na tabela 2.

Tabela 2. Valores médios e desvio padrão (\pm) das frações granulométricas do solo sob Caatinga preservada (CP), Caatinga em regeneração (CR) e cultivo de feijão (CF) no semiárido Pernambucano

Uso agrícola e manejo de solo	Camada	Areia	Silte	Argila	Textura
	m				
CP	0,00-0,05	655 \pm 4,67	218 \pm 3,95	127 \pm 2,24	Franco-arenoso
	0,05-0,10	647 \pm 5,44	226 \pm 3,18	127 \pm 3,09	Franco-arenoso
	0,10-0,20	629 \pm 6,46	219 \pm 2,49	152 \pm 4,24	Franco-arenoso
CR	0,00-0,05	625 \pm 7,46	215 \pm 3,47	160 \pm 4,33	Franco-arenoso
	0,05-0,10	590 \pm 6,65	231 \pm 1,73	179 \pm 6,78	Franco-arenoso
	0,10-0,20	584 \pm 12,11	227 \pm 5,48	189 \pm 8,24	Franco-arenoso
CF	0,00-0,05	654 \pm 5,34	240 \pm 1,83	106 \pm 3,68	Franco-arenoso
	0,05-0,10	592 \pm 4,21	249 \pm 1,36	159 \pm 3,72	Franco-arenoso
	0,10-0,20	550 \pm 5,02	265 \pm 1,94	185 \pm 4,88	Franco-arenoso

3.5 Separação das classes de agregados

Como descrito anteriormente o material separado de cada profundidade foi submetido ao tamisamento úmido para determinação e distribuição das classes de agregados pelo método de Yoder (1936) modificado Nimmo e Perkins (2002) (Figura 10), com um conjunto de peneiras com aberturas da malha de 2 mm, 1 mm, 0,5 mm, 0,25 mm, 0,053 mm (Figura 10c), em um oscilador vertical, com aproximadamente 26 oscilações por minuto durante 15 minutos. Antes do tamisamento os agregados foram pré-umedecidos por capilaridade com álcool 96°, por 10 minutos.

O método modificado consiste em ajustar o nível de água ou altura do conjunto de peneiras para manter o contato da amostra com a água; utilizou-se 75 g de solo, 25 g em cada cilindro do tamisador e 25 g para o fator de correção; como o procedimento foi realizado em duplicata apenas dois cilindros do Yoder foi utilizado.

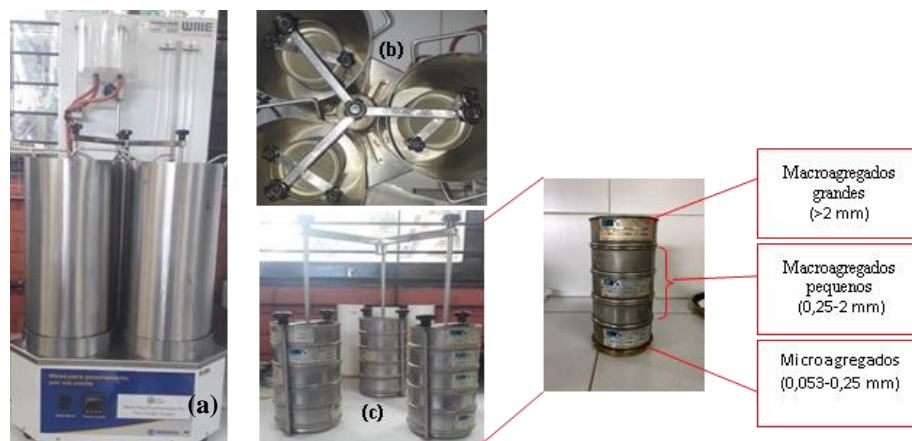


Figura 9. Yoder para determinação de estabilidade de agregados do solo (a); aparatos do equipamento (b) e conjunto de peneiras (c)

Após o tamisamento o conjunto de peneiras da água foi retirado do cilindro do tamisador e transportando para uma pia com água corrente; os agregados de cada peneira foram devidamente transportados separadamente para uma lata de alumínio com o auxílio da água corrente; o excesso de água foi retirado com auxílio de uma pera; os agregados foram secos em estufa à 105°C até atingirem peso constante; após atingir o peso constante o conjunto lata de alumínio mais agregado foi transportado para um dessecador sob vácuo para resfriamento a temperatura ambiente; após o material foi pesado em balança analítica e os agregados transportados para recipientes de polietileno à temperatura ambiente para posterior determinação dos teores de carbono.

3.6 Determinação dos índices de agregação do solo

Determinou-se o diâmetro médio ponderado (DMP), expresso em mm, que consiste em uma estimativa da massa de solo existente em cada classe de agregado. O mesmo é diretamente proporcional ao percentual dos agregados de maiores tamanho, sendo calculado pela equação descrita abaixo de acordo com Castro Filho et al. (1998) e Teixeira et al. (2017).

$$DMP = \sum_{i=1}^n X_i W_i \quad (\text{eq.1})$$

em que,

W_i = proporção de cada classe de agregados em relação ao total;

X_i = diâmetro médio de cada classe de agregados (mm).

Com a obtenção dos dados de DMP de cada área e profundidade compararam-se os resultados com a classificação de estabilidade de agregados elaborada por Le Bissonnais (1996) conforme a tabela 3.

Tabela 3. Classe de estabilidade de agregados em água com base nos valores de DMP

Classe	DMP (mm)	Estabilidade
1	<0,4	Muito instável
2	0,4-0,8	Instável
3	0,8-1,3	Médio
4	1,3-2,0	Estável
5	>2,0	Muito estável

Foi calculado também, o diâmetro médio geométrico (DMG) pela equação descrita por Castro Filho et al. (1998) e Teixeira et al. (2017):

$$DMG = \exp \left[\frac{\sum_{i=1}^n W_i \log X_i}{\sum_{i=1}^n W_i} \right] \quad (\text{eq. 2})$$

onde,

W_i = peso de agregados (g) dentro de uma classe de agregados de diâmetro médio x_i .

Além disso, obteve-se também o Índice de Estabilidade de Agregados (IEA) conforme a equação:

$$\text{IEA (\%)} = (\text{PA} - \text{wp} < 0,25\text{-areia}) / (\text{PA} - \text{areia}) * 100 \quad (\text{Eq. 3})$$

Em que PA= Peso da amostra seca; wp<0,25 corresponde ao peso dos agregados da classe <0,25mm (CASTRO FILHO, 1998).

3.7 Determinação do carbono total e das classes de agregados do solo

A determinação do carbono foi realizada nas amostras indeformadas para todas as camadas (0,00-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m) do solo totalizando 45 amostras. Além destas, foi determinado os teores de carbono das classes de agregados (2-8, 0,25-2 e 0,053-0,25 mm). As amostras foram secas ao ar e posteriormente retiradas as raízes e resíduos de plantas.

O método utilizado foi o proposto por Yeomans e Bremner (1988). Neste a oxidação da matéria orgânica é realizada com uma solução dicromato de potássio em meio ácido. O calor dissociado do ácido sulfúrico e de uma fonte externa é utilizado como fonte calor para catalisar a reação de oxidação. Durante o processo de oxidação da matéria orgânica o dicromato que é reduzido na reação equivale ao carbono da amostra, sendo que ao final da reação todo o carbono é transformado em CO₂. Os procedimentos bem como os materiais utilizados para determinação foram realizados conforme Yeomans e Bremner (1988).

Foram utilizadas em média 0,3 g de solo maceradas em almofariz e passadas em peneiras de 80 mesh, pesadas em tubos de digestão. Posteriormente foram adicionados a 5 mL da solução K₂Cr₂O₇ 0,167 mol L⁻¹ e 7,5 mL de H₂SO₄ concentrado. Após a digestão em temperatura de 170°C, o conteúdo dos tubos foi titulado com solução de sulfato ferroso amoniacal a 0,2 mol L⁻¹ (Yeomans e Bremner 1988).

Os dados obtidos foram utilizados para o cálculo do estoque de carbono das amostras indeformadas e das classes de agregados do solo, conforme descrito a seguir.

3.8 Determinação do Estoque de C Total do solo

Os estoques de C das amostras indeformadas foram calculados, com base no método de massa equivalente de solo (ELLERT; BETTANY, 1995), tomando como referência a massa de solo da vegetação Nativa (Caatinga Preservada). A massa de solo da área cultivada e da caatinga em regeneração foram corrigidos, para retirar o efeito da ação antrópica utilizando os valores de densidade da Caatinga Preservada.

$$\text{Estoque de C (ton ha}^{-1}\text{)} = C_{\text{org}} \text{ (kg ha}^{-1}\text{)} * D_s \text{ (ton m}^{-3}\text{)} * \text{VPA (m}^3\text{)} \quad (\text{eq. 4})$$

em que:

C_{org} = Carbono orgânico total ($kg\ ha^{-1}$) da camada;

D_s = Densidade do solo da camada ($ton\ m^{-3}$); e

VPA = Volume da camada (m^3).

Para a camada de 0,00-0,20 m realizou-se a soma dos estoques de todas as camadas amostradas.

3.9 Estoque de carbono e massa proporcional das classes de agregados

Inicialmente determinou-se a massa proporcional de cada classe de agregado solo (eq. 5) e em seguida foram calculados os estoques de cada classe de agregado. Para tal foram consideradas a massa da classe do agregado e o estoque de carbono da amostra indeformada para cada camada estudada visando a correção do estoque em cada classe. As equações descritas a seguir foram utilizadas para cálculo do estoque de carbono. (DE OLIVEIRA FERREIRA et al. 2018a).

$$\text{Massa proporcional de agregados (\%)} = \frac{\text{Massa da classe}}{\sum \text{massa da classe}} * 100 \quad (\text{eq. 5})$$

$$\text{Estoque de COS na CA (Mg ha}^{-1}\text{)} = \frac{\text{Estoque COS (Mg) na amostra indeformada} * \text{COS (\%)} \text{ em}}{100} \quad (\text{eq. 6})$$

$$\text{Porcentagem de COS na C.} = \frac{\text{COS (g kg}^{-1}\text{) em cada classe de agregado} * 100}{\sum \text{COS (g kg}^{-1}\text{) (2-8; 0,25-2 mm; 0,053-0,25)}} \quad (\text{eq. 7})$$

onde,

COS = Carbono Orgânico do Solo.

CA= Classe de Agregado.

3.10 Recuperação e taxa de redução do estoque de carbono total e dos macroagregados grandes

Para a determinação da recuperação e taxa de redução do estoque de carbono total do solo, considerou-se o estoque de carbono da amostra indeformada. E, para os macroagregados, apenas o estoque desta classe.

A recuperação de C em grandes macroagregados baseia-se na porcentagem de estoque de C recuperada pelo uso de sistema conservacionista em comparação com os estoques de vegetação nativa. A recuperação do estoque de C foi determinada em classes de grandes macroagregados, uma vez que estas classes representam aproximadamente uma média de 70% da massa total de macroagregados na camada 0,00-0,20 m em ambiente subtropical (TIVET et al., 2013; DE OLIVEIRA FERREIRA et al. 2018a). Em ambiente tropical, a distribuição do potencial de acúmulo de C em grandes macroagregados atinge valores de até 54% para camada 0,00-0,20 m (TIVET et al., 2013; INAGAKI et al., 2016). O cálculo de recuperação e da taxa de redução foi realizado para a camada de 0,00-0,20 m, desta forma realizou-se a soma dos estoques totais de todas as camadas, bem como da classe dos macroagregados grandes.

A recuperação C (%) foi estimada usando a seguinte Equação:

$$\text{Recuperação de C (\%)} = \frac{\text{Estoque de C CR (Mg ha}^{-1}\text{)} * 100}{\text{Estoque de C CP (Mg ha}^{-1}\text{)}} \quad (\text{eq. 8})$$

onde, Estoque de C_{CR} e Estoque de C_{CP} referem-se a estoque de C em *Caatinga em regeneração* e *Caatinga preservada*, respectivamente.

O cálculo da taxa de redução do estoque de C foi realizado conforme equação adaptada de De Oliveira Ferreira et al. (2018a):

$$\text{TR} = (\text{Estoque } C_{ref} - \text{Estoque } C_F) / t \quad (\text{eq. 9})$$

Em que,

TR = Taxa de redução do estoque de C;

C_{ref} = Estoque de Carbono do Solo na Vegetação Nativa (Mg ha⁻¹);

C_F = Estoque de Carbono do Solo em Feijão (Mg ha⁻¹).

t = Tempo de cultivo

3.11 Análise estatística

A amostragem foi realizada em três locais distintos e em três profundidades diferentes totalizando 45 amostras, (3 usos da terra x 3 profundidades) e 5 repetições.

Os dados outliers foram removidos por meio de boxplots considerando o limite inferior e superior do conjunto de dados, sendo utilizado o intervalo interquartil que corresponde a

distância entre o primeiro e terceiro quartil. A normalidade foi avaliada por meio do teste de Shapiro-Wilk. A análise estatística foi realizada com o software estatístico SISVAR 5.0. As diferenças na concentração e estoque de carbono foram testadas por meio de análise de variância (teste F). Os valores médios foram comparados com o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade (FERREIRA, 2010).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Atributos físicos e químicos do solo em diferentes profundidades sob sistemas de Caatinga preservada, cultivo de feijão e Caatinga em regeneração

Os valores de densidade do solo foram de 1,54, 1,59 e 1,61 para Caatinga preservada por mais de 30 anos, de 1,58, 1,67 e 1,73 para Caatinga em regeneração e 1,81, 1,81 e 1,76 para área cultivada com feijão na camada de 0,00-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m respectivamente (Tabela 4).

Tabela 4. Valores médios da densidade do solo em diferentes profundidades do solo das áreas amostradas sob Caatinga preservada (CP), Caatinga em regeneração (CR) e cultivo de feijão (CF) no Semiárido Pernambucano

Camada	CP	CR	CF
m	Ds (g cm ⁻³)		
0,00-0,05	1,54 ^{±0,11} Ab	1,58 ^{±0,13} Bb	1,80 ^{±0,03} Aa
0,05-0,10	1,59 ^{±0,05} Ab	1,67 ^{±0,06} Ab	1,81 ^{±0,06} Aa
0,10-0,20	1,61 ^{±0,08} Ab	1,73 ^{±0,05} Aa	1,76 ^{±0,05} Aa

Letras minúscula diferentes na mesma linha indicam diferença estatística entre os usos da terra pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Letras maiúscula iguais dentro de um mesmo uso da terra nas colunas não diferem estatisticamente. (± desvio padrão).

As áreas amostradas Caatinga preservada (CP) e Caatinga em Regeneração (CR) não diferiram estatisticamente nas camadas 0,00-0,05 e 0,05-0,10 m, no entanto foram diferentes na camada de 0,10-0,20 m. Já CP e CF diferiram entre si em todas as profundidades analisadas. Resultados similares foram encontrados por Oliveira et al. (2009) para Luvisolos do nordeste brasileiro. Não houve diferença estatística para os valores de densidade do solo entre as profundidades quando comparadas para o mesmo uso da terra, com exceção de CR que apresentou diferença para camada de 0,00-0,05 m em relação as demais.

De Araújo Filho et al. (2017) obtiveram resultados semelhantes para a camada de 0,00-0,05 em Caatinga preservado por 12 e 9 anos, sendo 1,69 e 1,68 respectivamente para solos de textura franco-arenosa, assim como Oliveira Filho et al., (2019). Dos Santos et al. (2019c) encontraram valores próximos para áreas de Caatinga cultivadas e preservada no semiárido.

Os maiores valores de densidade do solo na área cultivada com feijão estão associados ao uso constante de implementos agrícola para revolvimento do solo e pisoteio animal, além da retirada a vegetação, favorecendo o rompimento dos macroagregados e consequentemente escoamento, selamento superficial e compactação do solo, e diminuição do estoque de carbono (KABIRI; RAIESI; GHAZAVI, 2015).

Em CP os menores valores de densidade estão associados aos maiores estoques de carbono (Tabela 9) do solo que indicam maiores teores de matéria orgânica nesta área. A matéria orgânica do solo apresenta menor peso específico, quando comparada com a fração mineral do solo (SILVA et al., 2015b).

As áreas de Caatinga preservada e em regeneração apresentaram os menores valores de pH e conseqüentemente maiores valores de acidez potencial, enquanto a área cultivada apresentou os maiores valores de pH e menores de acidez potencial. Além disso, o solo apresenta elevada saturação por bases em todas as áreas de coletas contribuindo também para esta condição de pH (Tabela 5).

Tabela 5. Atributos químicos do solo sob Caatinga preservada (CP), Caatinga em regeneração (CF) e cultivo de feijão (CF) no semiárido pernambucano

Uso agrícola e manejo do solo	Prof. m	pH	CE	P	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	H ⁺ +Al ³⁺	S	T	V
		(H ₂ O)	dS m ⁻¹	mg kg ⁻¹	cmol _c kg ⁻¹						%	
CP	0,00-0,05	5,6 ^{±0,25}	0,4 ^{±0,1}	3,3 ^{±1,59}	0,7 ^{±0,21}	0,3 ^{±0,07}	5,8 ^{±1,14}	1,2 ^{±0,19}	7,6 ^{±2,07}	8,0	15,6	51
	0,05-0,10	5,3 ^{±0,15}	0,3 ^{±0,05}	2,7 ^{±1,34}	0,5 ^{±0,11}	0,2 ^{±0,03}	4,8 ^{±1,08}	1,1 ^{±0,34}	6,1 ^{±1,33}	6,6	12,7	52
	0,10-0,20	5,2 ^{±0,34}	0,3 ^{±0,03}	2,0 ^{±0,23}	0,5 ^{±0,15}	0,2 ^{±0,01}	5,0 ^{±1,00}	1,1 ^{±0,20}	5,8 ^{±1,24}	6,8	12,6	54
CR	0,00-0,05	5,5 ^{±0,43}	0,5 ^{±0,04}	8,5 ^{±3,69}	0,7 ^{±0,13}	0,3 ^{±0,06}	6,0 ^{±0,97}	1,8 ^{±0,53}	7,3 ^{±1,91}	8,8	16,1	55
	0,05-0,10	5,3 ^{±0,33}	0,2 ^{±0,05}	2,0 ^{±0,56}	0,6 ^{±0,62}	0,3 ^{±0,20}	5,8 ^{±1,21}	2,4 ^{±1,14}	6,7 ^{±0,72}	9,1	15,8	58
	0,10-0,20	5,4 ^{±0,29}	0,2 ^{±0,06}	2,1 ^{±1,21}	0,4 ^{±0,20}	0,2 ^{±0,06}	5,7 ^{±1,83}	3,0 ^{±1,84}	6,4 ^{±0,90}	9,3	15,7	59
CF	0,00-0,05	6,2 ^{±0,40}	0,5 ^{±0,07}	15,7 ^{±3,40}	0,7 ^{±0,18}	0,3 ^{±0,12}	4,5 ^{±1,32}	0,9 ^{±0,08}	1,1 ^{±0,43}	6,4	7,5	85
	0,05-0,10	6,1 ^{±0,04}	0,2 ^{±0,08}	2,6 ^{±1,39}	0,3 ^{±0,05}	0,2 ^{±0,01}	6,7 ^{±1,10}	0,9 ^{±0,09}	1,0 ^{±0,52}	8,1	9,1	89
	0,10-0,20	6,2 ^{±0,05}	0,2 ^{±0,09}	2,4 ^{±1,84}	0,2 ^{±0,02}	0,2 ^{±0,01}	8,6 ^{±0,72}	0,9 ^{±0,14}	1,6 ^{±0,69}	9,9	11,5	86

(± desvio padrão).

A elevada saturação por bases deve-se ao material de origem local, associado à baixa taxa de intemperismo de minerais primários, devido o déficit hídrico em grande parte do ano e, ao elevado escoamento superficial, diminuído assim o potencial de lixiviação das chuvas (OLIVEIRA et al., 2009). Os maiores valores da área cultivada estão relacionados com a deposição de esterco dos animais que pastejam na mesma e possível adubação corretiva, com teores elevados de bases trocáveis associadas a baixa acidez potencial.

O solo apresentou baixos valores de condutividade elétrica (CE) em todos os usos da terra, não sendo classificado como salino, sendo os maiores valores na camada de 0,00-0,05 m, correspondendo a, 0,4, 0,5 e 0,5 dS m⁻¹ para CP, CR e cultivo de feijão (CF) respectivamente, indicando a presença de sais solúveis, em pequenas quantidades, nesta camada (Tabela 5). Valores similares foram obtidos Silveira et al. (2006) para Luvisolos no semiárido

Pernambucano. Conforme Richards (1954), para que o solo seja considerado salino é necessário que a CE do extrato de saturação seja maior ou igual a $4,0 \text{ dS m}^{-1}$, associado a porcentagem de saturação por sódio inferior a 15% e pH menor que 8,5.

Os maiores teores de P foram obtidos na camada de 0,00-0,05 m nos três usos da terra, no entanto CF apresentou os maiores teores devido à adição via esterco por animais e adubação mineral na área e incorporação do material orgânico no solo, proveniente do cultivo de feijão.

Os teores de Ca^{2+} variaram entre 4,8 e $5,7 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ em CP, 5,7 e $6,0 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ em CR e 4,5 e $8,6 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ em CF, com os maiores teores na camada de 0,00-0,05 m. Dos Santos et al. (2019a), obtiveram valores similares em áreas de Caatinga no semiárido Pernambucano. Já os teores de Mg^{2+} variaram entre 1,1 e $1,2 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ para CP, 1,8 e $3,0 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ para CR e $0,90 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ para CF em todas as camadas (Tabela 5).

A predominância destas bases trocáveis em Luvissole do semiárido foi encontrada também por outros autores (DOS SANTOS et al. 2019a, 2019b; OLIVEIRA et al., 2009; SILVA NOGUEIRA et al., 2008), e devem também está associado a presença de minerais primários advindos do material de origem. Conforme Jacomine et al. (1973), os Luvissoles do Sertão Pernambucano têm como principais materiais de origem Gnaisses, Micaxistos, material sedimentar argilo-arenosos e outras rochas calcários e folhelhos.

Os cátions trocáveis Na^+ e K^+ apresentaram menores teores em relação a Ca^{2+} e Mg^{2+} e diminuíram em profundidade em todos as áreas amostradas, com os maiores valores em CP para K^+ . Este comportamento foi observado também por dos Santos et al. (2019a, 2019b).

A acidez potencial foi elevada em CP (valores variando entre 5,8 e $7,6 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) e CR (valores entre 6,4 e $7,3 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$), quando comparada a CF (valores entre 1 e $1,6 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$). Isto deve-se a correção do solo em CD, além da incorporação de resíduos culturais e esterco que favorece a complexação de íons Al^{3+} .

Os resultados obtidos para CTC e saturação por bases (V%) refletem o comportamento das bases trocáveis e da acidez potencial. Valores de saturação por bases acima de 50% e CTC elevada em Luvissole do semiárido, foram encontradas por Nunes et al. (2006).

4.2 Índices de agregação e massa proporcional de agregados do solo em diferentes profundidades

Para o diâmetro médio ponderado (DMP) não houve diferença estatística entre os usos da terra, no entanto, os maiores valores foram encontrados na camada de 0,00-0,05 m para as áreas CP e CR, com diminuição em profundidade e os menores valores em CF sendo similares em todas as camadas deste local. Apenas em CR para a camada de 0,10-0,20 m houve diferença

estatística em relação as demais camadas estudadas deste uso da terra. Arcoverde et al. (2015), obtiveram resultados com comportamento similar para DMP em Luvissole cultivado com melancia no semiárido baiano. O maior diâmetro na camada de 0,00-0,05 m poder ser atribuído a maiores teores de carbono orgânico nestas camadas, tanto na Caatinga preservada quanto na Caatinga em regeneração (Tabela 6).

Tabela 6. Diâmetro médio ponderado (DMP), diâmetro médio geométrico (DMG) e índice de estabilidade de agregados (IEA) das áreas amostradas, em Caatinga preservada (CP), Caatinga em regeneração (CR) e cultivo de feijão (CF)

Camada (m)	CP	CR	CF
		DMP (mm)	
0,00-0,05	4,3 ^{±1,02} Aa	4,2 ^{±0,23} Aa	3,5 ^{±0,46} Aa
0,05-0,10	3,7 ^{±0,66} Aa	3,5 ^{±0,46} ABa	3,4 ^{±0,42} Aa
0,10-0,20	3,6 ^{±0,68} Aa	3,1 ^{±0,96} Ba	3,5 ^{±0,71} Aa
		DMG (mm)	
0,00-0,05	1,0 ^{±0} Aa	1,0 ^{±0} Aa	1,0 ^{±0} Aa
0,05-0,10	1,0 ^{±0} Aa	1,0 ^{±0} Aa	1,0 ^{±0} Aa
0,10-0,20	1,0 ^{±0} Aa	1,0 ^{±0} Aa	1,0 ^{±0} Aa
		IEA (%)	
0,00-0,05	96 ^{±6,48} Aa	95 ^{±2,13} Aa	89 ^{±3,36} Bb
0,05-0,10	94 ^{±6,35} Aa	93 ^{±1,90} Aa	92 ^{±1,56} ABa
0,10-0,20	95 ^{±5,56} Aa	94 ^{±2,56} Aa	94 ^{±4,40} Aa

Letras minúscula diferentes na mesma linha em cada variável indicam diferença estatística entre os usos da terra pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Letras maiúscula iguais dentro de um mesmo uso da terra nas colunas não diferem estatisticamente. (± desvio padrão).

Em CF os menores diâmetros ponderados devem-se ao revolvimento contínuo do solo em sistema de monocultivo de *Vigna unguiculata* que provoca a desagregação do solo e conseqüente perda de carbono pela exposição da matéria orgânica à ação dos microrganismos. Six et al. (2000), propuseram que distúrbios mecânicos reduzem a estabilidade da estrutura do solo, principalmente dos macroagregados. Além disso, a textura Franco-arenosa do Luvissole contribui para menor proteção química e física do carbono pela não formação de organominerais, acelerando assim o processo de oxidação microbiana. Sales et al. (2016)

observaram redução na agregação do solo em sistema convencional de plantio com aração e gradagem em Latossolo de textura franco argilo-arenosa no bioma Caatinga.

Os valores de DMP refletem diretamente no IEA, indicando que o solo apresenta elevada estabilidade de agregados em água. Além da influência da matéria orgânica os elevados teores de cálcio favorecem a agregação das partículas pela formação de pontes catiônica entre as partículas revestidas de material orgânico e minerais (REGELINK et al., 2015; FEITOSA et al., 2015; MOTA et al., 2015). Outro fator contribuinte, principalmente nas áreas de mata, são os valores reduzidos de pH que podem favorecer a aproximação das frações orgânicas e minerais pela diminuição das forças eletrostáticas repulsivas entre as substâncias carregadas negativamente (REGELINK et al., 2015). Estas características conferem ao solo agregados muito estáveis em água em todos os usos da terra e profundidades estudadas, conforme a classificação de Le Bissonnais (1996). Estes valores de DMP estão diretamente relacionados com a distribuição proporcional do peso dos agregados por classe, sendo a maior distribuição encontrada para a classe dos macroagregados (Tabela 7).

Os valores de IEA diferiram estatisticamente entre CP e CF na camada de 0,00-0,05 m, e entre si nas camadas estudadas, sendo o menor valor em 0,00-0,05 m. Este comportamento indica que CF apresenta menor grau de agregação, devido a influência do manejo ao longo dos anos.

Para o diâmetro médio Geométrico (DMG), não houve diferença estatística entre os usos da terra e profundidades indicando que os agregados apresentam tamanhos similares em todas as áreas. Arcoverde et al. (2015) observaram comportamento semelhante em Luvisolo do semiárido baiano.

A maior proporção foi de macroagregados grandes em todos os usos da terra e profundidades. Na camada de 0,00-0,05 m CP apresentou 84% de macroagregados grande, sendo a maior massa proporcional quando comparado a CR com 79% e CF 63% (Tabela 8). Para esta classe, houve diferença estatística entre a área de referência (CP) e a Caatinga cultivada (CF) (Tabela 7).

Tabela 7. Média da massa proporcional de agregados do solo em Caatinga preservada (CP), Caatinga em regeneração (CR) e cultivo de feijão (CF) no semiárido pernambucano

Camada (m)	Classe de agregado (mm)	CP	CR	CF
		Massa de agregado (g)		
0,00-0,05	Macroagregados grande (2-8)	20,4 ^{±4,08} Aa	18,9 ^{±1,66} Aa	15,1 ^{±1,89} Ab
0,05-0,10		16,7 ^{±4,03} Ba	14,6 ^{±2,58} Ba	14,8 ^{±2,57} Aa
0,10-0,20		16,0 ^{±3,00} Ba	12,8 ^{±5,86} Ba	15,3 ^{±3,83} Aa
0,00-0,05	Macroagregados pequeno (0,25-2)	2,4 ^{±2,28} Bb	3,9 ^{±1,17} Bab	6,0 ^{±1,83} Aa
0,05-0,10		5,2 ^{±2,37} ABa	7,2 ^{±2,33} Aa	7,3 ^{±2,64} Aa
0,10-0,20		6,1 ^{±1,51} Ab	9,5 ^{±5,08} Aa	7,6 ^{±3,03} Aab
0,00-0,05	Microagregados (0,053-0,25)	1,3 ^{±1,48} Aa	1,3 ^{±0,51} Aa	2,7 ^{±0,77} Aa
0,05-0,10		2,2 ^{±1,43} Aa	1,7 ^{±0,44} Aa	1,9 ^{±0,36} Aa
0,10-0,20		2,0 ^{±1,26} Aa	1,5 ^{±0,60} Aa	1,5 ^{±1,03} Aa

Letras minúsculas diferentes nas linhas indicam diferença estatística entres os usos da terra pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Letras maiúsculas iguais dentro de um mesmo uso da terra nas colunas para cada classe não diferem estatisticamente. (± desvio padrão).

Tabela 8. Porcentagem de distribuição da massa proporcional de cada classe de agregados em um Luvissole de semiárido Pernambucano em áreas de Caatinga preservada (CP), Caatinga em regeneração (CR) e cultivo de feijão (CF)

Camada (m)	Uso e manejo do solo	Macroagregado grande	Macroagregado pequeno	Microagregado
		(%)		
0,00-0,05	CP	84	10	6
	CR	79	16	5
	CF	63	26	11
0,05-0,10	CP	69	22	9
	CR	62	31	7
	CF	62	30	8
0,10-0,20	CP	66	26	8
	CR	54	40	6
	CF	62	32	6

A diminuição de macroagregados grandes em CF deve-se ao manejo adotado ao longo dos anos, sistema convencional de monocultivo com feijão caupi durante 30 anos, o que provocou a fragmentação dos agregados, acarretando em menores porcentagens da classe de 2-8 mm. Em virtude disso, o CF apresentou a maior massa de macroagregados pequenos e

microagregados na camada de 0,00-0,05 m, correspondendo a 26% e 11% respectivamente. Quando comparado à vegetação de referência, esta apresentou 21% a mais de macroagregados grandes. Estudos mostram que os macroagregados são sensíveis a perturbação devido à sensibilidade dos seus agentes de agregação transientes e temporários, como as raízes e hifas de fungos (XIAO et al., 2017; LEHNMANN; ZHENG; RILLIG, 2017; WANG et al., 2016; TISDALL, 1994). Sales et al. (2016), observaram redução da agregação em Latossolo sob sistema convencional no semiárido.

Em CR pode-se observar que apesar do manejo há o predomínio da classe de macroagregados. Comparando os resultados com CP, percebe-se que os resultados tendem a similaridade, não apresentando diferença estatística entre estes dois locais com exceção da camada 0,10-0,20 m. Esta área encontra-se em regeneração por dez anos, e neste período foi colonizada por capim buffel, plantas C4 que incorporam grandes quantidades de carbono ao solo, devido ao seu mecanismo de fixação de CO₂. O aporte de raiz desta espécie pode estar contribuindo para maior estabilidade dos agregados, devido à produção de exsudatos radiculares e envolvimento físico dos microagregados e reorientação de partículas soltas do solo (XIAO et al., 2017; SIX et al., 2000). A maior porcentagem de macroagregados grandes na camada de 0,10-0,20 m está relacionado a maiores teores de argila, que promove o aumento da proteção da matéria orgânica por meio do aumento da área superficial e maiores quantidade de carga elétrica, proporcionando maior interação organomineral e menor taxa de mineralização (TIVET et al., 2013; DICK et al., 2009).

Para todos os usos da terra houve diminuição em profundidade da massa de macroagregados grandes. Maia et al. (2006) observaram este comportamento em áreas de mata nativa e agricultáveis em Luvisolo do semiárido e atribuíram esta característica a diminuição dos teores de carbono em profundidade. Na camada de 0,05-0,10 m CP apresentou 69% de macroagregados grande, CR 62% e CF 62% (Tabela 8). Na camada de 0,10-0,20 m observa-se comportamento similar para CP e CR, enquanto CF apresentou peso proporcional praticamente igual a CP. Assim, para estas camadas os usos da terra não diferiram para classe de grandes macroagregados. É nítido que para o CF o peso proporcional dos agregados é semelhante em todas as profundidades e para todas as classes. Isto pode ser atribuído ao revolvimento contínuo do solo, proporcionando uniformidade na distribuição das classes em todas as camadas.

A classe dos macroagregados pequenos predominaram nas camadas 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m em virtude da diminuição dos estoques de carbono em profundidade (Tabela 9) e fracionamento dos agregados maiores refletindo na perda de estrutura original do solo (MAIA et al., 2006). As maiores proporções desta classe em CR e CF deve-se ao manejo que promoveu

a desagregação física pelo uso de implementos agrícola e impacto da gota de chuva no solo, e consequentemente maior exposição da matéria orgânica à oxidação (TISDALL; OADES, 1982).

Apenas CR diferiu estatisticamente na camada de 0,10-0,20 m. Para camada de 0,00-0,05 CF apresentou diferença estatística entre as áreas amostradas, em virtude da ruptura dos macroagregados grandes, favorecendo a formação de classes de menores tamanhos (SONG et al., 2019).

Os valores para microagregados foram similares em todos os locais, sendo a classe com menor predominância, não havendo diferença estatística entre usos e manejo da terra. Esta classe é menos sensível a ação do manejo, do que os macroagregados, em virtude da sua formação ser principalmente por forças Van-der-Waals de curto alcance e ligações eletrostáticas, incluindo ligações com íons, predominantemente os cátions (SONG et al., 2019; LAL, 2018).

Ao comparar a distribuição de agregados em profundidade para cada local amostrado, observou-se que o CP apresentou diferença estatística entre as camadas com predominância de macroagregados grandes em 0,00-0,05 m. O mesmo comportamento foi observado em CR. O maior aporte de raízes, hifas de fungos e outros agentes de agregação contribuem para a formação de agregados maiores nesta camada. Além disso, os maiores estoques de carbono associados, a ausência de revolvimento do solo mantém a estrutura do solo preservada (GOMES et al., 2019). Foi observado os maiores estoque na camada 0,00-0,05 m (Tabela 9), que contribui significativamente para agregação do solo. O contrário foi observado em CF que apresentou similaridade na distribuição da massa de macroagregados grandes em todas as camadas.

Como a classe de macroagregados grandes predominou na camada 0,00-0,5 m a proporção de macroagregado pequeno foi menor nesta camada e aumentou em profundidade tanto em CP como em CR. Para esta classe CP apresentou diferença estatística apenas em 0,10-0,20 m e CR apenas em 0,00-0,05 m. Para CF não houve diferença estatística na distribuição em profundidade. Em relação aos microagregados a distribuição da massa desta classe foi semelhante para todas as profundidades em todos usos do solo.

4.3 Estoque de carbono do solo em área de Caatinga preservada, Caatinga em regeneração e de agricultura de subsistência com feijão caupi

Para a camada de 0,00-0,05 m os maiores valores médios de carbono orgânico foram para CP, seguido da mata em regeneração e os menores sob o cultivo de feijão (Tabela 9). Considerando CP como área de referência, observou-se redução nos teores de carbono em CR

e CF. Isso deve-se ao manejo do solo, que acarreta em aceleração da oxidação da matéria orgânica, fazendo com que o solo funcione como fonte de CO₂ para atmosfera.

Tabela 9. Teores médio de carbono e estoque de carbono em diferentes profundidades do solo das áreas amostradas sob Caatinga preservada (CP), Caatinga em regeneração (CR) e cultivo de feijão (CF) no semiárido pernambucano

Camada	CP	CR	CF
(m)		COT (g kg ⁻¹)	
0,00-0,05	27,8 Aa	22,7Ab	8,9 Ac
0,05-0,10	16,6 Ba	11,6 Bb	7,8 ABc
0,10-0,20	10,2 Ca	11,5 Ba	6,4 Bb
		Estoque (Mg ha ⁻¹)	
0,00-0,05	21,4 Aa	17,5 Ab	6,9ABc
0,05-0,10	13,2 Ba	9,1 Bb	6,2 Bc
0,10-0,20	16,3 Ca	18,5 Aa	10,2 Ab
0,00-0,20	50,9 a	45,1 b	23,2 c

Letras minúscula diferentes na mesma linha em cada variável indicam diferença estatística entre os usos da terra pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Letras maiúscula iguais dentro de um mesmo uso da terra nas colunas não diferem estatisticamente. (± desvio padrão).

O mesmo comportamento é observado na camada de 0,05-0,10 m. Observa-se que houve diferença significativa entre as áreas amostradas para as camadas de 0,00-0,05 e 0,05-0,10 m. Para 0,10-0,20 m os menores teores foram em CF e apenas esta área apresentou diferença estatística. Os teores de carbono refletem diretamente nos valores de estoque de carbono do solo, e será abordado em seguida.

Pode-se observar que a área de Caatinga preservada apresentou os maiores estoques de carbono na camada de 0,00-0,05 m (21,4 e 17,5 Mg ha⁻¹), quando comparada a área de Caatinga em regeneração havendo diferença estatística entre estas áreas (Tabela 8). Os maiores estoques na CP estão diretamente relacionados a presença de macroagregados, que protegem a matéria orgânica da decomposição microbiana (DE OLIVEIRA FERREIRA et al., 2018a; TIVET et al., 2013; SIX et al., 2000). Em CR houve retirada da vegetação para plantio acarretando ruptura de agregados maiores, causando a perda do estoque de carbono do solo (DE OLIVEIRA FERREIRA et al., 2018a; CHAPLOT; COPPER, 2015).

Em profundidade ocorre diminuição do estoque de carbono do solo em virtude do menor aporte de resíduo orgânico. No geral observa-se que em condições de clima semiárido associado a textura arenosa do solo o estoque de carbono tende a diminuir em relação a solos mais argilosos (ALTOFF et al., 2018 b).

Ao comparar os estoques de CF com a CP observa-se uma grande redução no estoque de carbono do solo. Para a camada 0,00-0,05 m, as perdas foram maiores ao longo dos 30 anos

de uso do solo, sendo o estoque de carbono da mata de 21,4 Mg ha⁻¹ e o da área cultivada de 6,9 Mg ha⁻¹. Este comportamento também foi observado em profundidade com 13,2 e 6,2 para 0,05-0,10 m e 16,3 e 10,2 para 0,10-0,20 m na Caatinga preservada e na área cultivada com feijão respectivamente. Para estas duas áreas houve diferença estatística em todas as profundidades. Oliveira et al. (2015) obtiveram valores semelhantes em áreas de sucessão de milho e feijão caupi no semiárido cearense. Assim como Ferreira et al. (2014) ao comparar sistema convencional com feijão caupi com a mata nativa. A adoção da monocultura de feijão associado ao uso de implemento agrícola para o revolvimento do solo causa a desagregação do solo, e conseqüentemente a perda de carbono para a atmosfera, acarretando diminuição da qualidade solo (XIAO et al., 2017; SALES et al., 2016).

Em relação ao estoque considerando a camada de 0,00-0,20 m para Caatinga preservada foi de 50,9 Mg ha⁻¹, Caatinga em regeneração por 10 anos 45,1 Mg ha⁻¹ e Caatinga sob monocultivo de feijão por 30 anos 23,2 Mg ha⁻¹ (Tabela 9). Nesta camada comparando-se CP com CR há diferença estatística, bem como entre CP e CF. Observa-se que a maior proporção macroagregados grandes encontra-se na Caatinga preservada, em contrapartida a menor proporção foi observada na área cultivada. Estas estruturas protegem a matéria orgânica fazendo com que o solo funcione como dreno de carbono (SIX et al., 2000).

Para a Caatinga preservada por 30 anos os valores de estoque assemelham-se ao encontrado na literatura para solos de textura franco-arenosa. De Araújo Filho et al. (2017) encontraram estoque em Caatinga preservada por 80 anos de 45,21 Mg ha⁻¹ em solos com textura franca nos primeiros 0,10 m e franco-argilo-arenosa em 0,10-0,20 m. Já Giongo et al. (2020) observaram estoque de 21,30 Mg ha⁻¹ em Argissolo distrófico franco-arenoso na camada de 0,00-0,20 m. Jesus et al. (2019) também obtiveram resultados similares ao deste estudo.

Moura et al. (2016) observaram estoque de 22,39 Mg ha⁻¹ e 36,66 Mg ha⁻¹ em Neossolo Litólico sob Caatinga em regeneração por 15 anos e 37 anos respectivamente. Althof et al. (2018) encontraram estoque também para a camada de 0,00-0,20 m na Caatinga em regeneração por 20 anos submetida manejo com corte e queima de resíduos e corte sem queima de resíduos de 26 e 24 Mg ha⁻¹ respectivamente. Os valores de estoque de carbono encontrados no presente estudo para Caatinga em regeneração por 10 anos superam os da literatura. Este valor deve-se ao incremento em matéria orgânica pelo capim buffel que tem colonizado a área e contribuído com maior aporte de biomassa aérea e raízes.

Os valores de estoque em profundidade para área de Caatinga apresentaram diferença estatística. Isto ocorre, pois o maior aporte de resíduos orgânicos encontra-se na camada 0,00-

0,05 m pela deposição da serrapilheira e maior densidade de raízes. Além disso, nesta camada há predominância de macroagregados grande que confere proteção ao carbono do solo.

Para a área em regeneração apenas na camada de 0,05-0,10 m observou-se diferença estatística entre as profundidades, com o menor estoque de carbono. Em CF ocorreu diferença significativa entre 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m. Observa-se uma tendência de diminuição em profundidade do estoque de carbono do solo. Gomes et al. (2019) observaram que fatores climáticos como chuva e temperatura influenciam no estoque de carbono em profundidade a longo prazo. Outros autores observaram comportamento semelhante para o estoque em profundidade (SANTANA et al., 2019; ASSEFA et al., 2017; MAIA ANDRADE et al., 2020).

4.4 Taxa de redução e recuperação do carbono no bioma Caatinga em áreas sob agricultura de subsistência e em regeneração no Sertão do Pajeú

Para a área cultivada com feijão considerando a camada de 0,00-0,20 m a taxa de redução do estoque de carbono foi de 54% e para a Caatinga em regeneração foi de 11% em comparação à Caatinga preservada (Figura 10).

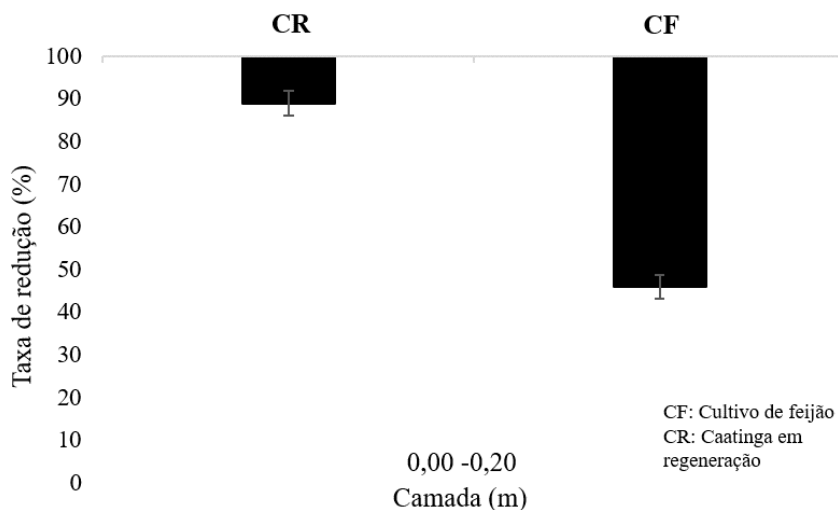


Figura 10. Taxa de redução do estoque de carbono total do solo em sistema de monocultivo de feijão caupi e Caatinga em regeneração no semiárido pernambucano (Vegetação nativa= Caatinga preservada)

A conversão da Caatinga nativa no semiárido para sistemas de plantio pode reduzir o estoque de carbono do solo em até 88% (ASSEFA et al., 2017). A mudança de uso da terra, de mata nativa para agricultura de subsistência com feijão caupi por 30 anos causou a redução do estoque de carbono. Dos Santos et al. (2019a) observaram redução de 44% do estoque de

carbono em Luvissole no Sertão do Alto Pajeú com a conversão da vegetação nativa em agricultura no período de 2005 a 2014. Fracetto et al. (2012) observaram redução de 50% do estoque em áreas cultivadas com mamona no semiárido nos primeiros dez anos. Menezes et al. (2021), também observaram redução de 50% do estoque no semiárido brasileiro.

A monocultura associada a práticas de revolvimento do solo diminui a qualidade do solo e faz com que o solo funcione como fonte de carbono para atmosfera, contribuindo para o aquecimento global do planeta. Além das questões de manejo a sazonalidade influencia a taxa de decomposição da matéria orgânica, bem como na produção de biomassa pelas espécies vegetais. Leite et al. (2018) afirmam que as chuvas é um forte preditor do acúmulo de carbono em áreas de clima sazonalmente seco.

Estes sistemas convencionais de cultivo causam diminuição na matéria orgânica do solo e consequente redução do estoque de carbono. Isto ocorre devido o desmatamento e preparo do solo que modificam a estrutura do solo, causando a fragmentação dos macroagregados grande e redistribuindo-os em agregados menores, favorecendo a mineralização do material orgânico que estava protegido (TISDAL; OADES 1982; SIX et al., 2000).

A Caatinga em regeneração por 10 anos recuperou 89% do estoque de carbono do solo (Figura 11) comparado com a Caatinga preservada, indicando que quando não há intervenção antrópica, a qualidade do solo pode ser regenerada ao longo do tempo. A vegetação nativa e gramíneas quando bem manejadas podem contribuir para o aumento do estoque de carbono do solo (AQUINO et al., 2017). As gramíneas em especial podem contribuir significativamente com maior aporte de raízes, que promovem a agregação do solo e a partir da senescência destas aumentam o reservatório de carbono do solo (LAL, 2004). Moura et al. (2016) observaram que em 15 anos o bioma Caatinga conseguiu recuperar 74,11 % do estoque de carbono e na Caatinga em regeneração por 37 anos a recuperação ultrapassou a mata utilizada como referência com 21,35% a mais de estoque de carbono no solo.

Ao realizar o manejo em área de Caatinga em regeneração com corte de plantas com Diâmetro Médio à Altura do Peito (DAP) inferior a 0,10 m, Aquino et al. (2017) encontraram estoques superiores a mata nativa, em áreas em regeneração por 35 anos em Vertissolo com mais de 50% de argila. Sendo que o estoque na mata nativa era de 30,2 Mg ha⁻¹ enquanto na área em regeneração 40 Mg ha⁻¹, com incremento de 32,5 % ao longo dos anos.

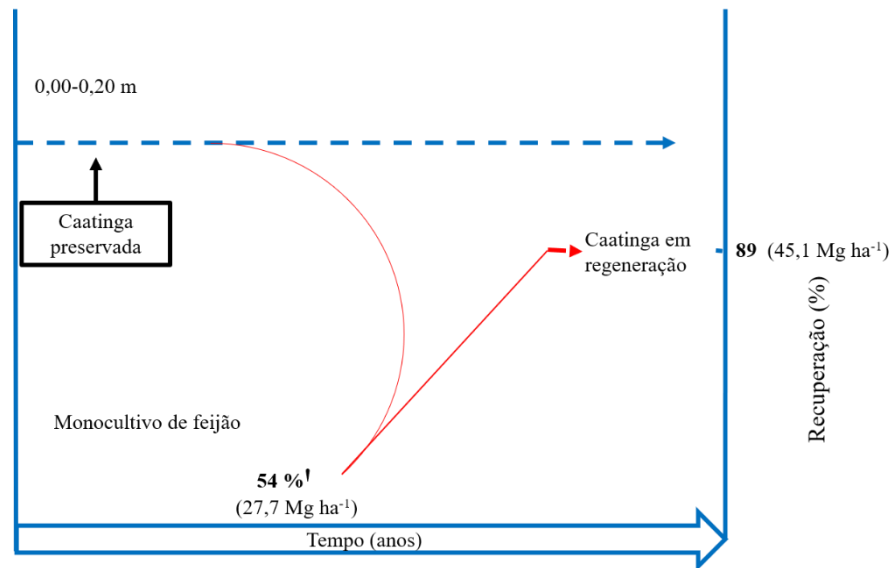


Figura 11. Taxa de recuperação do estoque de carbono total na Caatinga em regeneração por dez anos no Sertão do Pajeú. Taxa de redução do estoque de carbono em 30 anos de monocultivo de feijão.

4.5 Estoque de carbono nas classes de agregados do solo

Para a classe dos macroagregados grandes houve diferença estatística entre os usos da terra nas camadas 0,00-0,05 m e 0,00-0,20 m, com valores de 19,4 Mg ha⁻¹ para CP, 15,1 Mg ha⁻¹ para CR e 4,3 Mg ha⁻¹ para CF em 0,00-0,05 e 41,1 Mg ha⁻¹, 32,5 Mg ha⁻¹ e 14,9 Mg ha⁻¹ para CP, CR e CF em 0,10-0,20 m respectivamente (Tabela 10). Para as camadas 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m não houve diferença estatística entre os usos da terra, porém ao comparar CP com CF observa-se redução do estoque de carbono na ordem 59 % e 44 % nestas camadas. Para a classe de macroagregados pequenos não ocorreu diferença estatística entre os usos da terra. O mesmo comportamento foi observado para a classe dos microagregados.

Tabela 10. Estoque de carbono das classes de agregados do solo em Caatinga preservada (CP), Caatinga em regeneração (CR) e cultivo de feijão (CF)

Camada (m)	Classe de agregado (mm)	CP	CR	CF
		Estoque de carbono (Mg ha ⁻¹)		
0,00-0,05		19,4a	15,1a	4,3b
0,05-0,10	Macroagregados grandes (2-8)	10,2a	6,4a	4,2a
0,10-0,20		11,5a	11,0a	6,4a
0,00-0,20		41,1a	32,5b	14,9c
0,00-0,05		1,3a	1,4a	1,9a
0,05-0,10	Macroagregados pequenos (0,25-2)	2,0a	2,2a	1,5a
0,10-0,20		3,7a	6,3a	3,3a
0,00-0,20		7,0a	9,9a	6,7a
0,00-0,05		0,4a	0,5a	0,6a
0,05-0,10	Microagregados (0,053-0,25)	1,0a	0,5a	0,5a
0,10-0,20		1,2a	0,9a	0,6a
0,00-0,20		2,6a	1,9a	1,7a

Letras minúscula diferentes na mesma linha em cada variável indicam diferença estatística entre os usos da terra pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. (± desvio padrão).

A classe dos macroagregados grandes apresentou maiores estoques em todos os usos da terra e profundidades do solo. Para 0,00-0,05 m o percentual de estoque foi de 92%, 89% e 63% em CP, CR e CF nesta ordem. Comportamento similar foi constatado para camada de 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m com 77%, 70% e 67% para a primeira e 70%, 60% e 62% para segunda em CP, CR e CF respectivamente (Tabela 11).

Tabela 11. Porcentagem de estoque de carbono nas diferentes classes de agregados em Caatinga preservada (CP), Caatinga em regeneração (CR) e cultivo de feijão (CF)

Camada (m)	Classe de agregados	CP	CR	CF
		Estoque de carbono (%)		
0,00-0,05	Macroagregado grande	92	89	63
	Macroagregado pequeno	6	8	28
	Microagregado	2	3	9
0,05-0,10	Macroagregado grande	77	70	67
	Macroagregado pequeno	15	24	24
	Microagregado	8	6	9
0,10-0,20	Macroagregado grande	70	60	62
	Macroagregado pequeno	23	35	32
	Microagregado	7	5	6
0,00-0,20	Macroagregado grande	82	73	64
	Macroagregado pequeno	14	23	29
	Microagregado	4	4	7

Para a classe dos macroagregados pequenos na profundidade de 0,00-0,05 m a distribuição foi de 6%, 8% e 28% em CP, CR e CF respectivamente. Já para a camada de 0,05-0,10 m foram de 15%, 24% e 24% e em 0,10-0,20 m 14%, 23% e 29% para CP, CR e CF nesta ordem. A área cultivada apresentou os maiores estoques nesta classe associado a maior massa proporcional destes agregados em todas as camadas em relação a Caatinga preservada. Indicando que a aração e gradagem provocou a fragmentação dos agregados maiores.

Os microagregados apresentaram menores estoques de carbono do solo, com 2 %, 3 e 9% para a profundidade de 0,00-0,05 m, 8%, 6% e 9% em 0,05-0,10 m e 7%, 5% e 6% em 0,10-0,20 m para os usos da terra CP, CR e CF.

Inagaki et al. (2016) observaram que em condições de clima tropical os macroagregados grandes podem estocar 6,2 a 8,8 Mg ha⁻¹ de carbono e apresentam predominância em torno de 23% e os macroagregados pequenos entre 10 a 14 Mg ha⁻¹ podendo compor a estrutura do solo em até 51%. Neste trabalho em condições de clima semiárido observa-se o que a classe grande armazena maiores estoques e predomina em termos de massa proporcional. Santos (2018), observaram em condições de clima semiárido maiores estoques de carbono na classe dos macroagregados na ordem de 21,7 Mg ha⁻¹ e menores estoques nos microagregados.

Os maiores estoques de carbono na Caatinga preservada estão associados a maior proporção de macroagregados grandes neste uso da terra em todas as profundidades estudadas. Observa-se que em CR o estoque de carbono apesar de menor, aproxima-se dos teores de CP, diferente da área cultivada que apresentou os menores estoques de carbono e menor proporção de macroagregados grandes no solo. A classe de 2-8 mm apresentou maior potencial de acúmulo de carbono, principalmente na camada de 0,00-0,05 m para CP e CR. Em CF a distribuição do carbono do solo foi similar em todas as profundidades.

Os macroagregados apresentam elevado potencial de acúmulo de carbono no solo. Esta estrutura protege o material orgânico da ação de microrganismo, diminuindo a oxidação e conseqüentemente a perda de carbono do solo (SIX et al, 2002). A alta proporção de macroagregados grande indica elevado grau de proteção física do carbono do solo. Isto ocorre principalmente na área de Caatinga preservada, pois não há ação antrópica. O não revolvimento reduz a fragmentação dos resíduos e o contato solo/resíduo diminuindo a ação da biota (SOUZA et al., 2016).

No sistema cultivado, a menor proporção de macroagregados, associado a menores estoques nesta classe apontam que a conversão da Caatinga preservada em agricultura de subsistência com monocultivo de feijão ao longo de 30 anos, provocou a desagregação do solo

e expôs a matéria orgânica a rápida decomposição acarretando em perda dos estoques de carbono (XIAO et al., 2017).

Como foi observado a classes dos macroagregados pequenos e microagregados apresentaram menores estoques e não diferiram estatisticamente da Caatinga preservada, indicando que estas estruturas são menos sensíveis ao manejo do solo e possuem menor potencial de proteção do carbono, principalmente da fração mais lábil que é facilmente oxidada.

4.6 Recuperação e taxa de redução o do estoque de carbono em macroagregados grandes (2-8 mm) em Caatinga em regeneração e sistema convencionna de cultivo de feijão

Em comparação com a vegetação de Caatinga preservada por 30 anos a recuperação do estoque de carbono em macroagregados grandes após 10 anos de regeneração foi de 79% na camada de 0,00-0,20 m (Figura 12). A contribuição das espécies nativas e o aporte de biomassa do capim buffel tem contribuído para a recuperação do estoque de carbono nesta classe de agregado. Estes dados indicam que o processo de regeneração natural associada a cultura com elevada produção de biomassa e com alto potencial de sequestro de carbono pode recuperar o estoque de carbono nos macroagregados grandes em clima semiárido. De Oliveira Ferreira et al. (2018a; 2021) apontam que adição de carbono por meio de elevado aporte de resíduos culturais contribui para a recuperação do estoque de carbono do solo.

Em contraste com a vegetação em regeneração o monocultivo de feijão em sistema convencional por 30 anos acarretou em perda do estoque nos macroagregados grandes na ordem de 64%. Neste sistema a taxa de adição de resíduo orgânico durante os 30 anos foi menor que a taxa de decomposição resultando na redução do estoque de carbono do solo. As características climáticas de elevadas temperaturas e classe textural do solo, contribuem com o aumento da taxa de redução. De Oliveira Ferreira et al. (2018a) observaram redução no estoque de carbono em macroagregados no ambiente tropical sob condições de preparo convencional do solo de 53,9%.

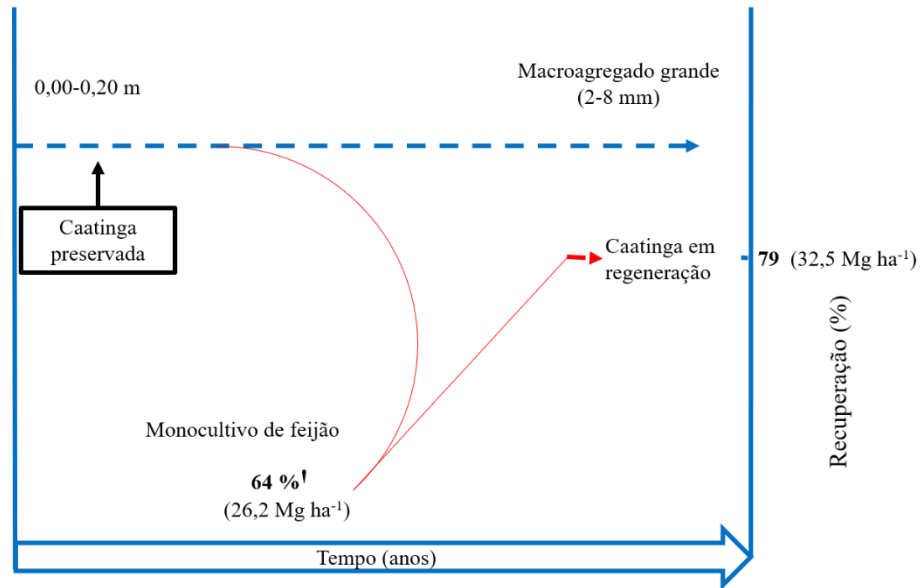


Figura 12. Taxa de recuperação do carbono do solo em grandes macroagregados em Caatinga em regeneração no Sertão do Pajeú. [†]Taxa de redução do estoque em macroagregados grande em monocultivo de feijão por 30 anos

5 CONCLUSÕES

Em ambiente Semiárido a adoção do sistema convencional com monocultivo por mais de 30 anos causou perda no estoque de carbono total do solo na camada arável (0,00-0,20 m) na ordem de 27,7 Mg ha⁻¹ (54%), em contrapartida a regeneração natural da Caatinga em curto prazo (10 anos) promoveu a recuperação parcial do estoque carbono do solo.

Nesse ambiente os macroagregados grandes (2-8 mm) predominaram na constituição da estrutura do solo. No entanto, o preparo intensivo do solo no monocultivo de feijão (> 30 anos) provocou a ruptura dos agregados, diminuindo em cerca de 30% a massa desta classe na camada superficial (0,00-0,05 m). Em virtude disto, a redução do estoque de carbono dos macroagregados grandes nesta mesma camada foi de aproximadamente 78% (15,1 Mg ha⁻¹). Considerando a camada de 0,00-0,20 m essa redução do estoque de carbono para a mesma classe foi de 64% (26,2 Mg ha⁻¹). Por outro lado, a Caatinga em regeneração recuperou 79% (32,5 Mg ha⁻¹) do estoque de carbono referente aos macroagregados grandes em comparação com a caatinga preservada.

A distribuição de microagregados foi similar em todos os usos da terra, logo, pode-se dizer que esta classe apresenta menor sensibilidade às práticas de manejo, diferente dos macroagregados. Neste sentido devido à sua sensibilidade e variação temporal e espacial os macroagregados podem ser considerados como indicadores de qualidade do solo sob condições de clima Semiárido.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, R. F.; SANCHES, B. C. Disponibilidade de carbono orgânico nos solos do cerrado brasileiro. **Scientia Agraria Paranaensis**, Paraná, v. 13, n. 4, p. 259-264, 2014.

ALMEIDA, B.G. Métodos alternativos de determinação de parâmetros físicos do solo e uso de condicionadores químicos no estudo da qualidade do solo. 105 p. **Tese de doutorado. ESALQ, USP**, 2008.

ALTHOFF, T. D.; MENEZES, R. S. C.; DE SIQUEIRA PINTO, A.; PAREYN, F. G. C.; DE CARVALHO, A. L.; MARTINS, J. C. R.; CARVALHO, E. X. DE.; DA SILVA, A. S. A.; DUTRA, E. D.; SAMPAIO, E. V. D. S. B. Adaptation of the century model to simulate C and N dynamics of Caatinga dry forest before and after deforestation. **Agriculture, ecosystems & environment**, Amsterdam, v.254, p.26-34, 2018a.

ALTHOFF, T. D.; SILVA, R. R.; MARTINS, J. C.; WANDERLEY, L. S.; SALES, A. T.; MENEZES, R. S. Simulation of aboveground biomass production under different rainfall scenarios and soil types in the Caatinga Biome, Brazil. **Revista Geama**, Recife, v. 4, n.2, p. 13-18, 2018b.

ALVES, J. J. A.; SOUZA, E. N. de; NASCIMENTO, S. S. do. Núcleos de desertificação no estado da Paraíba. **Revista RAEGA**, Curitiba, v.17, p. 139-152, 2009.

ANTOINE, N. K.; NAFAN, D.; N'KLO, O.; PÉLAGIE, K. N. Effect of the corn-cowpea association on the organic carbon dynamics of the soils of two plots in real culture in northern Côte d'Ivoire. **International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology**, Mexico City, v.5, n.6, 2019.

APAC. Agência Pernambucana de Águas e Climas. Monitoramento pluviométrico. Disponível em: <http://www.apac.pe.gov.br/meteorologia/monitoramento-pluvio.php#>. Acesso em: 30 de mar. 2020.

ARCOVERDE, S. N. S.; SALVIANO, A. M.; OLSZEWSKI, N.; MELO, S. B. D.; CUNHA, T. J. F.; GIONGO, V.; PEREIRA, J. D. S. Qualidade física de solos em uso agrícola na região semiárida do estado da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 39, n.5, p.1473-1482, 2015.

ARAÚJO FILHO, J.A. de. Manejo pastoril sustentável da Caatinga – Recife, PE: Projeto Dom Helder Câmara, 2013.

ARAÚJO, E. A. DE; 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**, Guarapuava, v.5, n.1, p.187-206, 2012.

ARAÚJO, A. S. F. de; MONTEIRO, R. T. R. Indicadores biológicos de qualidade do solo. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 23, n. 3, p. 66-75, 2007.

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**, Amsterdam, v.153, p. 89–99, 2017.

AQUINO, D.N.; DE ANDRADE, E.M.; DE ALMEIDA CASTANHO, A.D.; PEREIRA JÚNIOR, L.R.; PALÁCIO, H.A.Q. Belowground Carbon and Nitrogen on a Thinned and Un-Thinned Seasonally Dry Tropical Forest. **American Journal Plant Science**, v.8, p. 2083–2100, 2017.

BARTO, E. K.; ALT, F.; OELMANN, Y.; WILCLE, W.; RILLIG, M. C. Contributions of biotic and abiotic factors to soil aggregation across a land use gradient. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 42, n. 12, p. 2316-2324, 2010.

BATJES, N. H. **Management options for reducing CO₂- concentrations in the atmosphere by increasing carbon sequestration in the soil**. Wageningen: International Soil Reference and Information Centre, 1999.

BATISTA, I.; CORREIA, M.E.F.; PEREIRA, M.G.; BIELUCZYK, W.; SCHIAVO, J.A.; MELLO, N.A. de. Caracterização dos agregados em solos sob cultivo no Cerrado, MS. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 4, p.1535-1548, 2013.

BELTRÃO, B. A.; MASCARENHAS, J. DE C.; MIRANDA, J. L. F. DE; SOUZA JUNIOR, L. C. DE; GALVÃO, M. J. DA T. G.; PEREIRA, S. N. **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea, Estado de Pernambuco**. CPRM, 2005.

BORGES, C. S.; RIBEIRO, B. T.; W. BENO; CABRAL, D. A. Agregação do solo, carbono orgânico e emissão de CO₂ em áreas sob diferentes usos no Cerrado, região do Triângulo Mineiro. **Revista Ambiente e Água**, Taubaté, v. 10, n. 3, p. 660-675, 2015.

CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O; PODANOSCHI, A.L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo Roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, n. 3, p. 527-538, 1998.

CBHSF. Comitê da Bacia do Rio São Francisco. **Plano de Recursos Hídricos da Bacia do Rio São Francisco 2016-2025**, Alagoas, v. 1 -2.: 520 p., 2016.

CHAPLOT, V.; COOPER, M. Soil aggregate stability to predict organic carbon outputs from soils. **Geoderma**, Amsterdam, v. 243, p. 205-213, 2015.

CHIEZA, E. D.; LOVATO, T.; ARAÚJO, E. D. S.; TONIN, J. Propriedades físicas do solo em área sob milho em monocultivo ou consorciado com leguminosas de verão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, n.5, p. 1393-1401, 2013.

COELHO, M.R.; SANTOS, H.G.; SILVA, E.F. & AGLIO, M.L.D. **O recurso natural solo**. In: Manzatto, C.V.; FREITAS JR., E.; PERES, J.R.R. Uso agrícola dos solos brasileiros. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, p. 1-11, 2002.

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da safra brasileira-Grãos (2019/20), Brasília, v.7, n.8, 2020.

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **A cultura do feijão.**

Organizadores: Aroldo Antonio de Oliveira Neto e Candice Mello Romero Santos. Brasília, 244p., 2018.

COSTA, T. L.; SAMPAIO, E. V.; SALES, M. F.; ACCIOLY, L. J., ALTHOFF; T. D., PAREYN, F. G.; ALBUQUERQUE, E. R. G. M.; MENEZES, R. S. Root and shoot biomasses in the tropical dry forest of semi-arid Northeast Brazil. **Plant and soil**, Dordrecht, v. 378, n.1-2, p. 113-123, 2014.

COSTA JUNIOR, C.; PÍCCOLO, M. DE C.; SIQUEIRA NETO, M.; DE CAMARGO, P. B.; CERRI, C. C.; BERNOUX, M. Carbono em agregados do solo sob vegetação nativa, pastagem e sistemas agrícolas no Bioma Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 4, p. 1311-1321, 2012.

DE ANDRADE LIMA, D. Estudos fitogeográficos de Pernambuco. **Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agronômica**, v. 4, p. 243-274, 2007.

DE ARAUJO FILHO, R. N.; DOS SANTOS FREIRE, M. B. G.; WILCOX, B. P.; WEST, J. B.; FREIRE, F. J.; MARQUES, F. A. Recovery of carbon stocks in deforested Caatinga dry forest soils requires at least 60 years. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.407, p.210-220, 2017.

DE OLIVEIRA FERREIRA, A.; AMADO, T.; RICE, C. W.; DIAZ, D. A. R.; KELLER, C.; INAGAKI, T. M. Can no-till grain production restore soil organic carbon to levels natural grass in a subtropical Oxisol?. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 229, p. 13-20, 2016.

DE OLIVEIRA FERREIRA, A.; SÁ, J.C.M.; LAL, R.; TIVET, F.; BRIEDIS, C.; INAGAKI, T.M.; GONCALVES, D.R.P.; ROMANIW, J. Macroaggregation and soil organic carbon restoration in a highly weathered Brazilian Oxisol after two decades under no-till. **Science of The Total Environment**, Amsterdam, v. 621, p. 1559-1567, 2018a.

DE OLIVEIRA FERREIRA, A.; AMADO, T.J.C.; RICE, C.W.; DIAZ, D.A.R.; BRIEDIS, C.; INAGAKI, T.M.; GONCALVES, D.R.P. Driving factors of soil carbon accumulation in Oxisols in long-term no-till systems of South Brazil. **Science of The Total Environment**, Amsterdam, v. 622-623, p.735-742, 2018b.

DE OLIVEIRA FERREIRA, A.; SÁ, J.C.M.; LAL, R.; AMADO, T.J.C.; INAGAKI, T.M.; BRIEDIS, C.; TIVET, F. Can no-till restore soil organic carbon to levels under natural vegetation in a subtropical and tropical typic quartzipisamment?. **Land Degradation & Development**, Chichester, v.32, p.1742-1750, 2021.

DIAS, I. C. G. M. Erosão entressulcos e processos de infiltração e exfiltração da água em encosta semiárida sob diferentes condições de uso do solo. Dissertação de mestrado, UFRPE, 2017.

DIAZ, C. C. F.; PEREIRA, J. A. dos S.; NOBREGA, R. S. Comparação de dados estimados pelo método da ponderação regional (PR) e dados estimados pelo TRMM para o preenchimento de falhas de precipitação na Bacia Hidrográfica do Rio Pajeú. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 22, 2018.

DICK, D. P.; NOVOTNY, E. H.; DIECKOW, J.; BAYER, C. IX - Química da matéria orgânica do solo. In: MELO, V. F. e ALLEONI, L. R. F. Química e mineralogia do solo: Parte II – Aplicações. **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo** – SBCS, v. 2, 685 p., 2009.

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. **Soil Science Society of America**, Madison, v. 35, p.3-22, 1994.

DOS SANTOS, H.G.; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C.; OLIVEIRA, V.A.; LUMBREAS, J.F.; COELHO, M.R.; ALMEIDA, J. A.; ARAÚJO FILHO, J.C.; JOÃO OLIVEIRA, B.; CUNHA, T.J.F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. Ed ver. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

DOS SANTOS, U. J.; DE MEDEIROS, E. V.; DUDA, G. P.; MARQUES, M. C.; SOUZA, E. S. D.; BROSSARD, M.; HAMMECKER, C. Land use changes the soil carbon stocks, microbial biomass and fatty acid methyl ester (FAME) in Brazilian semiarid area. **Archives of Agronomy and Soil Science**, London, v. 65, n.6, p.755-769, 2019a.

DOS SANTOS, U. J.; DUDA, G. P.; MARQUES, M. C.; VALENTE DE MEDEIROS, E.; DE SOUSA LIMA, J. R.; SOARES DE SOUZA, E.; HAMMECKER, C. Soil organic carbon fractions and humic substances are affected by land uses of Caatinga forest in Brazil. **Arid Land Research and Management**, London, v.33, n.3, p.255-273, 2019b.

DOS SANTOS, L. R.; LIMA, A. M. N.; CUNHA, J. C.; RODRIGUES, M. S.; SOARES, E. M. B.; DOS SANTOS, L. P. A.; DA SILVA, A. V.L.; FONTES, M. P. F. Does irrigated mango cultivation alter organic carbon stocks under fragile soils in semiarid climate?. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v.255, p. 121-127, 2019c.

DUXBURY, J.M.; SMITH, M.S.; DORAN, J.W. Soil organic matter as a source and sink of plant nutrients. In: COLEMAN, D.C.; OADES, J.M.; UEHARA, G. (Ed.) **Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems**. Honolulu: University of Hawaii Press, NifTAL Project, p.33-67, 1989.

ELLERT, B. H. & BETTANY, J. R. Calculation of organic matter and nutrients stored in soils under contrasting management regimes. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 75, n. 4, p. 529-538, 1995.

FAO. Basic Principles of Conservation Agriculture, 2016.

FEITOSA, J. R.; MENDES, A.; OLSZEWSKI, N.; CUNHA, T. J.; CORTEZ, J. W.; GIONGO, V. Physical attributes of ultisol of Brazil's northeastern semiarid under organic farming of wine grapes. **Annals of the Brazilian Academy of Sciences**, Rio de Janeiro, v.87, n.1, p. 483-493, 2015.

FERRAZ, J.S.F.; FERREIRA, R.L.C.; SILVA, J.A.A. da; MEUNIER, I.M.J.; SANTOS, M.V.F. dos. Estrutura do componente arbustivo-arbóreo da vegetação em duas áreas de Caatinga, no município de Floresta, Pernambuco. **Revista Árvore**, Viçosa, v.38, n. 6, p. 1055-1064, 2014.

FERREIRA, A. C. C.; LEITE, L. F. C.; DE ARAÚJO, A. S. F.; EISENHAUER, N. Land-use type effects on soil organic carbon and microbial properties in a semi-arid region of northeast Brazil. **Land Degradation & Development**, Chichester, v. 27, n.2, p.171-178, 2014.

FERREIRA, R. R. M.; TAVARES FILHO, J.; FERREIRA, V. M. Efeitos de sistemas de manejo de pastagens nas propriedades físicas do solo. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 31, n. 4, p. 913-932, 2010.

FRACETTO, F. J. C.; FRACETTO, G. G. M.; CERRI, C. C.; FEIGL, B. J.; SIQUEIRA NETO, M. Estoques de carbono e nitrogênio no solo Cultivado com mamona na Caatinga. **Revista Brasileira. Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 5, p. 1545-1552, 2012.

FRANÇA, L. M.; DIAZ, C. C. F.; DOS REIS, J. V. COSTA, V. S. DE O.; GALVÍNCIO, J. D. Efeitos da precipitação na vazão da bacia hidrográfica do rio Pajeú-PE. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v.12, n.6, p. 2377-2391, 2019.

FRANÇA, L. M. de A. **Impacto das ações antrópicas e do clima no uso e ocupação do solo na Bacia Hidrográfica do Rio Pajeú**. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2017.

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

GOMES, L. C.; FARIA, R. M.; DE SOUZA, E.; VELOSO, G. V.; SCHAEFER, C. E. G.R.; FERNANDES FILHO, E. I. Modelling and mapping soil organic carbon stocks in Brazil. **Geoderma**, Amsterdam, v. 340, p. 337-350, 2019.

GOMES, V. P; GALVÍNCIO, J. D.; MOURA, M. S. B.; FERREIRA, P. DOS S.; PAZ, Y. M.; MIRANDA, R. de Q. Sensoriamento remoto hyperspectral aplicado para análise dos indicadores de resiliência e suscetibilidade do bioma Caatinga frente às mudanças climáticas. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 09, n.04, p. 1122-1136, 2016.

GONÇALVES, B. D. F.; VITAL, T. W. Análise de sustentabilidade da área rural do município de Triunfo (PE). **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, Maringá-PR, v. 12, n. 1, p. 195-218, 2019.

GONZAGA, G.B.M. Dinâmica da matéria orgânica do solo, estoques de carbono e susceptibilidade ao aumento da temperatura no semiárido de Alagoas. Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo, Brasil, **MSc thesis**, 2017.

GUIMARÃES, D. V.; GONZAGA, M. I. S.; ARAÚJO, E. M.; MELO NETO, J. O.; TÍNEL JÚNIOR, J.I. Impacto do cultivo de citros sobre a qualidade física de um Argissolo Amarelo em Sergipe. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 27, n. 3, p. 183-189, 2014.

GUZZETTI, L.; FIORINI, A.; PANZERI, D.; TOMMASI, N.; GRASSI, F.; TASKIN, E.; MISCI, C.; TABAGLIO, V.; GALIMBERT, A.; LABRA, M. Sustainability perspectives of *Vigna unguiculata* L. Walp. cultivation under no tillage and water stress conditions. **Plants**, Basel, v.9, n.1, p. 48, 2020.

GRINAND, C.; LE MAIRE, G.; VIEILLEDENT, G.; RAZAKAMANARIVO, H.; RAZAFIMBELO, T.; BERNOUX, M. Estimating temporal changes in soil carbon stocks at ecoregional scale in Madagascar using remote-sensing. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, Amsterdam, v. 54, p. 1-14, 2017.

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**, Campina Grande, PB, v.16, n.10, p.1055-1061, 2012.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção Agrícola Municipal (PAM)**. 2018. Disponível em:

<<https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/referencias>>. Acesso em: 15 de mai. de 2020.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. **Cidades@**. Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pe/tabira/historico>>. Acesso em: 18 de mai. De 2020.

INAGAKI, T.M.; SÁ, J.C.M.; DE OLIVEIRA FERREIRA, A.; BRIEDIS, C.; TIVET, F.; ROMANIW, J. Macroagregados como indicadores de qualidade em sistema plantio direto. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, RS, v. 151, p. 4-10, 2016.

INPE. INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. INPE Nordeste mapeia desmatamento da Caatinga. 2015. Disponível em:<
http://www.inpe.br/noticias/noticia.php?Cod_Noticia=3895>. Acesso em: 15 de mai. de 2020.

JACOMINE, P.K.T.; CAVALCANTI, A.C.; BURGOS, N.; PESSOA, S.C.P. & SILVEIRA, C.O. Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do estado de Pernambuco. (Boletim Técnico, 26; Série Pedologia14) Ministério da Agricultura/Sudene, Recife, v.1, 359p., 1973.

JATOBÁ, L.; LINS, R.C. Introdução a Geomorfologia. **Bagço**, Recife, 1998.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. **Produção Agrícola Municipal**. Rio de Janeiro, v. 37, p.1-91, 2010.

JESUS, K. N.; ALBUQUERQUE, E. R. G. M.; SALES, A. T.; SAMPAIO, E. V. D. S. B. Estoques de carbono em solos de Pernambuco, Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v.12, n.3, p. 714-721, 2019.

KABIRI, V.; RAIESI, F.; GHAZAVI, M. A. Six years of different tillage systems affected aggregate-associated SOM in a semi-arid loam soil from Central Iran. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.154, p.114-125, 2015.

KARLEN, D.L.; MAUSBACH, M.J.; DORAN, J.W.; CLINE, R.G.; HARRIS, R.F.; SCHUMAN, G.E. Soil quality: a concept, definition, and framework for evaluation (a guest editorial). **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 61, n. 1, p. 4-10, 1997.

LAL, R. Digging deeper: a holistic perspective of factors affecting soil organic carbon sequestration in agroecosystems. **Global Change Biology**., Malden, v. 24, n. 8, p. 3285–3301, 2018.

LAL, R.; NEGASSA, W.; LORENZ, K. Carbon sequestration in soil. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, Amsterdam, v.15, p.79–86, 2015.

LAL, Rattan. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. **Science**, Washington, DC, v. 304, n. 5677, p. 1623-1627, 2004.

LAL, R.; KIMBLE, J. M.; LEVINES, E.; WHITEMAN, C. World soils and the greenhouse effect. **IGBP Global Change Newsletter**, v. 37, n. 1, p. 4-5, 1999.

LARSON, W.E.; F.J. PIERCE. Conservation and enhancement of soil quality. *In* Evaluation for sustainable land management in the developing world. **Int. Board for Soil Res. and Management**, Bangkok, Thailand, v.2, 1991.

LE BISSONNAIS, Y. Aggregate stability and assessment of crustability and erodibility: 1. theory and methodology. **European Journal of Soil Science**, Amsterdam, v. 47, p. 425-437, 1996.

LEHMANN, A.; ZHENG, W.; RILLIG, M. C. Soil biota contributions to soil aggregation. **Nature Ecology & Evolution**, London, v. 1, n. 12, p. 1828-1835, 2017.

LEITE, R. D. S.; IVANOV, M. M. M.; ARAÚJO, B. M. D.; MARIA, D. M. B.; FEITOSA, R. C.; VALE, N. M. O. D. Influence of climatic factors on carbon accumulation in the aerial biomass of native vegetation in the south of Piauí, in the Brazilian Northeast. **Journal of Sustainable Forestry**, London, v. 37, n.1, p. 15-24, 2018.

LISBÔA, F. M.; DONAGEMMA, G. K.; BURAK, D. L.; PASSOS, R. R.; MENDONÇA, E. DE S. Indicadores de qualidade de Latossolo relacionados à degradação de pastagens. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 51, n. 9, p. 1184-1193, 2016.

LOSS, A.; BASSO, A.; OLIVEIRA, B. S.; DE PAULA KOUCHER, L.; ASSIS DE OLIVEIRA, R.; KURTZ, C.; LOVATO, P. E.; CURMI, P.; BRUNETTO, G.; COMIN, J. J. Carbono orgânico total e agregação do solo em sistema de plantio direto agroecológico e convencional de cebola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.39, n.4, p.1212-1224, 2015.

LUSTOSA FILHO, J. F.; NÓBREGA, J. C. A.; FURTINI NETO, A. E.; SILVA, C. A.; M NÓBREGA, R. S. A.; PRAGANA, R. B. OLIVEIRA DIAS, B.; GMACH, M. R. Nutrient availability and organic matter content under different soil use and management. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v.12, n.4, p.475-483, 2017.

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

MAIA ANDRADE, E.; VALBRUN, W.; ALMEIDA, A. M. M. D.; ROSA, G.; SILVA, A. G. R. D. Land-Use Effect on Soil Carbon and Nitrogen Stock in a Seasonally Dry Tropical Forest. **Agronomy**, Madison, v.10, n.2, p.158, 2020.

MAIA, S. M. F.; XAVIER, F. A. D. S.; OLIVEIRA, T. S. D.; MENDONÇA, E. D. S.; ARAÚJO FILHO, J. A. D. Impactos de sistemas agroflorestais e convencional sobre a qualidade do solo no semiárido cearense. **Revista Árvore**, Viçosa, v.30, n.5, p.837-848, 2006.

MEDEIROS, A. DE S.; MAIA, S. M. F.; DOS SANTOS, T. C.; DE ARAÚJO GOMES, T. C. Soil carbon losses in conventional farming systems due to land-use change in the Brazilian semi-arid region. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 287, p. 106690, 2020.

MELO, V. F.; SILVA, D. T.; EVALD, A.; ROCHA, P. R. R. Qualidade química e biológica do solo em diferentes sistemas de uso em ambiente de savana. **Revista Agro@ mbiente Online**, Boa Vista, RR, v.11, n.2, p. 101-110. 2017.

MENEZES, R. S. C.; SALES, A. T.; PRIMO, D. C.; DE ALBUQUERQUE, E. R. G. M.; DE JESUS, K. N.; PAREYN, F. G. C.; SANTATANA, M.S.; DOS SANTOS, U.J.; MARTINS, J.C.R.; ALTHOFF, T.D.; NASCIMENTO, D.M.; GOUVEIA, R.F.; FERNANDES, M.M.; LOUREIRO, D.C.; ARAUJO FILHO, J.C.; GIONGO, V.; DUDA, G.P.; ALVES, B.J.R.; SAMPAIO, E. V. D. S. B. Soil and vegetation carbon stocks after land-use changes in a seasonally dry tropical forest. **Geoderma**, Amsterdam, v.390, p.114943, 2021.

MOTA, J. C. A.; ALENCAR, T. L. D.; ASSIS JÚNIOR, R. N. D. Alterações físicas de um Cambissolo cultivado com bananeira irrigada na Chapada do Apodi, Ceará. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.39, n. 4, p. 1015-1024, 2015.

MOTA, J. C. A.; FREIRE, A. G.; ASSIS JÚNIOR, R. N. de. Qualidade física de um Cambissolo sob sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, n. 5, p. 1196-1206, 2013.

MOURA, P. M.; ALTHOFF, T. D.; OLIVEIRA, R. A.; SOUTO, J. S.; SOUTO, P. C.; MENEZES, R. S.; SAMPAIO, E. V. Carbon and nutrient fluxes through litterfall at four succession stages of Caatinga dry forest in Northeastern Brazil. **Nutrient cycling in agroecosystems**, Dordrecht, v. 105, n. 1, p. 25-38, 2016.

MILHOME, M. A. L.; HOLANDA, J. W. B.; DE ARAÚJO NETO, J. R.; DO NASCIMENTO, R. F. Diagnóstico da Contaminação do Solo por Metais Tóxicos Provenientes de Resíduos Sólidos Urbanos e a Influência da Matéria Orgânica. **Revista Virtual de Química**, Niterói, v.10, n.1, p. 59-72, 2018.

NIMMO, J.R.; PERKINGS, K.S. Aggregate stability and size distribution. In: DANE, J.H.; TOPP, G.C. Methods of Soil Analysis. Part 4: Physical Methods. **Soil Science Society of American Book Series**. v. 5, p. 812-815, 2002.

NOBRE, C. P; LÁZARO, M. L.; ESPIRITO SANTO, M. M.; PEREIRA, M. G.; BERBARA, R. L. L. AGREGAÇÃO, GLOMALINA E CARBONO ORGÂNICO NA CHAPADA DO ARARIPE, CEARÁ, BRASIL. Agregação, glomalina e carbono orgânico na chapada do Araripe, Ceará, Brasil. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 28, n. 1, p. 138-147, 2015.

NUNES, LUÍS ALFREDO PINHEIRO LEAL; ARAÚJO FILHO, JOÃO AMBRÓSIO DE; MENEZES, RONY ITÁLO DE QUEIROZ. Impacto da queimada e do pousio sobre a Qualidade de um solo sob Caatinga no semiárido Nordeste. **Caatinga**, Mossoró, v.19, n.2, p.200-208, 2006.

OLIVEIRA FILHO, J. DE S.; VIEIRA, J. N.; DA SILVA, E. M. R.; DE OLIVEIRA, J. G. B.; PEREIRA, M. G.; BRASILEIRO, F. G. Assessing the effects of 17 years of grazing exclusion in degraded semi-arid soils: evaluation of soil fertility, nutrients pools and stoichiometry. **Journal of Arid Environments**, Amsterdam, v. 166, p. 1-10, 2019.

OLIVEIRA, S. P. DE; DE LACERDA, N. B.; BLUM, S. C.; ESCOBAR, M. E. O.; DE OLIVEIRA, T. S. Organic carbon and nitrogen stocks in soils of northeastern Brazil converted to irrigated agriculture. **Land Degradation & Development**, Chichester, v. 26, n. 1, p. 9-21, 2015.

OLIVEIRA, L. B. D.; FONTES, M. P. F.; RIBEIRO, M. R.; KER, J. C. Morfologia e classificação de Luvisolos e Planossolos desenvolvidos de rochas metamórficas no semiárido do nordeste brasileiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.33, n.5, p.1333-1345, 2009.

OLSEN, S.R.; COLE, C.V.; Watanabe, F.S.; Dean, L.A. **Estimation of available phosphorus in soils extraction with sodium bicarbonate**. Washington: USDA, 19p. (Circular, 939), 1954.

TEIXEIRA, P.C; DONAGEMMA, G.K; FONTANA, A; TEIXEIRA, W.G. **Manual de métodos de análise de solo**. Brasília, 3. ed. rev. e ampl. Embrapa, 2017.

PEREIRA, A. A.; THOMAZ, E. L. Parâmetros físicos do solo em diferentes sistemas de manejo convencional, município de Reserva-Pr. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, v. 30, p. 65-76, 2015.

PRASAD, J. V. N. S.; RAO, C. S.; SRINIVAS, K.; JYOTHI, C. N.; VENKATESWARLU, B.; RAMACHANDRAPP, B. K.; RAVICHANDRA, K.; MISHRA, P. K. Effect of ten years of reduced tillage and recycling of organic matter on crop yields, soil organic carbon and its fractions in Alfisols of semiarid tropics of southern India. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 156, p.131-139, 2016.

PURAKAYASTHA, T. J.; RUDRAPP, L.; SINGH, D.; SWARUP, A.; BHADRARAY, S. Long-term impact of fertilizers on soil organic carbon pools and sequestration rates in maize-wheat-cowpea cropping system. **Geoderma**, Amsterdam, v. 144, n. 1-2, p. 370-378, 2008.

REICOSKY, D.C. Tillage-induced CO₂ emission from soil. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 49, n. 1-3, p. 273-285, 1997.

REGELINK, I. C.; STOOF, C. R.; ROUSSEVA, S.; WENG, L.; LAIR, G. J.; KRAM, P.; NIKOLAIDI, N. P.; KERCHEVA, M.; BANWART, S.; COMANS, R. N. Linkages between aggregate formation, porosity and soil chemical properties. **Geoderma**, Amsterdam, v.247, p.24-37, 2015.

RIBON, A. A; CENTURION, J. F.; CENTURION, M. A. P. C.; FERNANDES, K. L.; HERMÓGENES, V. T. L. Alterações na estabilidade de agregados de latossolo e Argissolo em função do manejo, na entrelinha da seringueira (*Hevea brasiliensis*). **Revista Árvore**, Viçosa, v. 38, n. 6, p. 1065-1071, 2014.

RIBEIRO, K.; DE SOUSA-NETO, E. R.; DE CARVALHO JUNIOR, J. A.; DE SOUSA LIMA, J. R.; MENEZES, R. S. C.; DUARTE-NETO, P. J.; GUERRA, G. DA S.; OMETTO, J. P. H. B. Land cover changes and greenhouse gas emissions in two diferente soil covers in the Brazilian Caatinga. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 571, p. 1048-1057, 2016.

RICHARDS, L.A. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. United States Salinity Laboratory Staff, Washington, 1954.

ROSSI, C. Q.; PEREIRA, M. G.; MOURA, O. V. T. DE; ALMEIDA, A. P. C. DE. Vias de formação, estabilidade e características químicas de agregados em solos sob sistemas de manejo agroecológico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 51, n. 9, p. 1677-1685, 2016.

SA, J. C.M.; TIVET, F.; LAL, R.; BRIEDS, C.; HARTMAN, D.C.; DOS SANTOS, J.Z.; SANTOS, J.B. Long-term tillage systems impacts on soil C dynamics, soil resilience and agronomic productivity of a Brazilian Oxisol. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 136, p. 38-50, 2014.

SÁ, J.C.M.; SÉGUY, L.; TIVET, F.; LAL, R.; BOUZINAC, S.; BORSZOWSKI, P.R.; BRIEDIS, C.; DOS SANTOS, J.B.; DA CRUZ HARTMAN, D.; BERTOLONI, C.G.; ROSA, J.; FRIEDRICH, T. Carbon Depletion by Plowing and its Restoration by No-Till Cropping Systems in Oxisols of Subtropical and Tropical Agro-Ecoregions in Brazil. **Land Degradation & Development**, Chichester, v.26, 531-543, 2015.

SACRAMENTO, J. A. DO; SANTOS, J. A.; LOUREIRO, D. C.; COSTA, O. V.; COVA, A. M. Spatial variability and changes in carbon stocks of a Regosols (Psamments) cultivated with sisal. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.22, n.11, p.764-769, 2018.

SACRAMENTO, J. A. A. S. do; ARAÚJO, A. C. de M.; ESCOBAR, M. E. O.; 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. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, n. 3, p. 784-795, 2013.

SALES, R. P.; PORTUGAL, A. F.; MOREIRA, J. A. A.; KONDO, M. K.; PEGORARO, R. F. Qualidade física de um Latossolo sob plantio direto e preparo convencional no semiárido. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 47, n. 3, p. 429-438, 2016.

SANTANA, M. DA S.; SAMPAIO, E. V. D. S. B.; GIONGO, V.; MENEZES, R. S. C.; DE JESUS, K. N.; DE ALBUQUERQUE, E. R. G. M.; NASCIMENTO, D. M. DO; PAREYN, F. G. C.; CUNHA, T. J. F.; SAMPAIO, R. M. B.; PRIMO, D. C. Carbon and nitrogen stocks of soils under different land uses in Pernambuco state, Brazil. **Geoderma Regional**, Amsterdam, v.16, 2019.

SANTANA, M.S. Estoques de carbono e nitrogênio em solos do Sertão pernambucano sob diferentes usos. Universidade Federal de Pernambuco. **MSc dissertation**, Recife, 2015.

SANTOS, M. DE O. Carbono orgânico em agregados do solo em Caatinga submetida a manejo florestal. Dissertação de mestrado. (UESB), 2018.

SANTOS, W. DE S.; HENRIQUES, I. G. N.; SANTOS, W. DE S.; RAMOS, G. G.; VASCONCELOS, G. DOS S.; VASCONCELOS, A. D. M. Análise florística-fitosociológica e potencial madeireiro em área de Caatinga submetida a manejo florestal. **Agropecuária Científica no Semiárido**, Patos, v. 13, n. 3, p. 203-211, 2017.

SILVA, V. N.; SOUTO, L. S.; DUTRA FILHO, J. DE A.; DE SOUZA, T. M. A.; BORGES, C. H. A. Deposição de serapilheira em uma área de Caatinga preservada no semiárido da Paraíba, Brasil Litter deposition in a savanna area preserved in the semiarid region of. **Revista Verde Agroecologia Desenvolvimento Sustentável**, Pombal, v. 10, n. 2, p. 21-25, 2015a.

SILVA, V.M.; TEIXEIRA, A.F.R.; DE SOUZA, J.L.; GUIMARÃES, G.P.; BENASSI, A.C.; DE SÁ MENDONÇA, E. Estoques de Carbono e Nitrogênio e Densidade do Solo em Sistemas de Adubação Orgânica de Café Conilon. **Revista Brasileira Ciência Solo**, Viçosa, v. 39, p.1436–1444, 2015b.

SILVA NOGUEIRA, R. DA; SENNA DE OLIVEIRA, T.; SÁ MENDONÇA, E. DE; ARAÚJO FILHO, J. A. Formas de fósforo em Luvisolo Crômico Órtico sob sistemas agrofloretais no município de Sobral-CE. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 39, n. 4, p. 494-502, 2008.

SILVEIRA, M. M. L. DA; ARAÚJO, M. DO S. B.; SAMPAIO, E. V. DE S. B. Distribuição de fósforo em diferentes ordens de solo do semiárido da Paraíba e de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 2, p. 281-291, 2006.

SIX, J.; BOSSUYT, H.; DEGRYZE, S.; DENEFF, K. A history of research on the link between microaggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.79, n. 1, p. 7-31, 2004.

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**, Dordrecht, v. 241, p. 155–176, 2002.

SIX, J. A. E. T.; ELLIOTT, E. T.; PAUSTIAN, K. Soil macroaggregate turnover and microaggregate formation: a mechanism for C sequestration under no-tillage agriculture. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 32, n. 14, p. 2099-2103, 2000.

SOARES, D. B.; NÓBREGA, R. S.; GALVÍNCIO, J. D. Indicadores climáticos de desertificação na bacia hidrográfica do Rio Pajeú, Pernambuco. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 22, 2018.

SOARES, D. B.; NÓBREGA, R. S.; MOTA FILHO, F. de O. Mapeamento de solo exposto em área suscetível à desertificação em Pernambuco, Brasil. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, v. 69, n.9, p. 1669-1676, 2017.

SONG, K.; ZHENG, X.; LV, W.; QIN, Q.; SUN, L.; ZHANG, H.; XUE, Y. Effects of tillage and straw return on water-stable aggregates, carbon stabilization and crop yield in an estuarine alluvial soil. **Nature Scientific Reports**, London, v. 9, n. 1, p. 1-11, 2019.

- SOUZA, E. D. D.; CARNEIRO, M. A. C.; PAULINO, H. B.; RIBEIRO, D. O.; BAYER, C.; ROTTA, L. A. Matéria orgânica e agregação do solo após conversão de "campos de murundus" em sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.51, n.9, p.1194-1202, 2016.
- TEIXEIRA, G. C. D. S.; STONE, L. F.; HEINEMANN, A. B. Eficiência do uso da radiação solar e índices morfofisiológicos em cultivares de feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 45, n. 1, p. 9-17, 2015.
- TISDALL, J. M. Possible role of soil microorganisms in aggregation in soils. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 159, p. 115–121, 1994.
- TISDALL, J.M.; OADES, J.M. Organic matter and water-stable aggregates in soils. **Journal of Soil Science**, Chichester, v. 33, n. 2, p. 141-163, 1982.
- TIVET, F.; SÁ, J.C.M.; LAL, R.; BRIEDIS, C.; BORSZOWSKI, P.R.; SANTOS, J.B.; FARIAS, A.; EURICH, G.; HARTMAN, D.C.; JUNIOR, M.N. Aggregate C depletion by plowing and its restoration by diverse biomass-C inputs under no-till in sub-tropical and tropical regions of Brazil. **Soil and tillage research**, Amsterdam, v. 126, p. 203-218, 2013.
- VELOSO, M. G.; ANGERS, D. A.; TIECHER, T.; GIACOMINI, S.; DIECKOW, J.; BAYER, C. High carbon storage in a previously degraded subtropical soil under no-tillage with legume cover crops. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 268, p.15-23, 2018.
- VERSYPLE, N.I.; MACHADO, J.; ANDRADE, J.S.C.O.; WANDERLEY, R.A. Microrregião Pajeú: economia, clima e desenvolvimento da agricultura através de modelo digital do terreno. **Revista Geama**, Recife, v. 1, n. 1, 2015.
- WANG, J. Q.; LIU, L.; QIU, X.; WEI, Y.; LI, Y.; SHI, Z. Contents of soil organic carbon and nitrogen in water-stable aggregates in abandoned agricultural lands in an arid ecosystem of northwest china. **Journal Arid Land**, Xinjiang, v.8, p. 350–363, 2016.
- XIAO, S.; ZHANG, W.; YE, Y.; ZHAO, J.; WANG, K. Soil aggregate mediates the impacts of land uses on organic carbon, total nitrogen, and microbial activity in a Karst ecosystem. **Nature Scientific Reports**, London, v. 7, p. 41402, 2017.
- YEOMANS, J.C.; BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of carbon in soil. **Communications in soil science and plant analysis**, London, v. 19, p. 1467-1476, 1988.
- YODER, R.E. A direct method of aggregate analysis of soil and a study of the physical nature erosion losses. **Journal of American society of Agronomy**, Madson, v.28, n.5, p. 337-358, 1936.