

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

**ESTOQUE DE CARBONO EM SOLOS SOB FLORESTA NATIVA,  
SISTEMAS AGROFLORESTAIS DE CACAU, PLANTIO DE  
SERINGUEIRA E PASTO NO SUL DA BAHIA, BRASIL**

**CAMILA VASCONCELOS DE OLIVEIRA**

VITÓRIA DA CONQUISTA  
BAHIA – BRASIL  
AGOSTO – 2016

**CAMILA VASCONCELOS DE OLIVEIRA**

**ESTOQUE DE CARBONO EM SOLOS SOB FLORESTA NATIVA,  
SISTEMAS AGROFLORESTAIS DE CACAU, PLANTIO DE  
SERINGUEIRA E PASTO NO SUL DA BAHIA, BRASIL**

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

**Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Emanuela Forestieri da Gama-Rodrigues (UENF)**

VITÓRIA DA CONQUISTA  
BAHIA – BRASIL  
AGOSTO – 2016

## FICHA CATALOGRÁFICA

O48e Oliveira, Camila Vasconcelos de  
Estoque de carbono em solos sob floresta nativa, sistemas agroflorestais de cacau, plantio de seringueira e pasto no Sul da Bahia, Brasil. / Camila Vasconcelos de Oliveira. -- Vitória da Conquista, BA, 2016.  
56 f; il.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais.

Orientadora: Emanuela Forestieri da Gama-Rodrigues

1. Carbono. 2. Sistemas Agroflorestais. 3. Agregados.  
I. Título

CDD: 631.41

**CAMILA VASCONCELOS DE OLIVEIRA**

**ESTOQUE DE CARBONO EM SOLOS SOB FLORESTA NATIVA,  
SISTEMAS AGROFLORESTAIS DE CACAU, PLANTIO DE  
SERINGUEIRA E PASTO NO SUL DA BAHIA, BRASIL**

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

Aprovada em 18 de agosto de 2016:

Comissão Examinadora:

---

Regina Cele Rebouças Machado (Ph.D., Fisiologia Vegetal) - Pesquisadora aposentada da CEPLAC/MARS

---

Paulo Henrique Marques Monroe (D.Sc., Produção Vegetal) - Bolsista de Pós-Doutorado da CAPES/UESB

---

Prof<sup>a</sup>. Patrícia Anjos Bittencourt Barreto-Garcia (D.Sc., Produção Vegetal) - UESB  
Co-orientadora

---

Prof<sup>a</sup>. Emanuela Forestieri da Gama-Rodrigues (Ph.D., Ciência do Solo) –  
Laboratório de Solos da UENF - Orientadora

## **DEDICO**

Aos meus pais, Potyguara Barros de Oliveira Júnior e Suzete de Vasconcelos Oliveira;

Às minhas irmãs, Natália e Gabriela;

À minha afilhada, Marina (Nina), e minha avó, Maria da Glória;

Ao meu noivo, Marcus Vinícius.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, energia suprema que rege o universo e todas as coisas, sempre me enchendo de força e esperança para seguir em frente.

Aos meus pais, minhas irmãs e meu noivo, pelo amor e apoio de todas as horas. À minha afilhada Nina, que sempre enche os meus dias de alegria, e à minha avó Maria da Glória por todo o carinho.

À Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia e ao programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, pela oportunidade de realização desse curso. E à Coordenação de Aperfeiçoamento de Nível Superior (Capes), pela concessão da bolsa de estudos.

À minha orientadora, professora Emanuela Forestieri da Gama-Rodrigues, que mesmo a distância sempre se fez presente.

Aos professores Alessandro de Paula e Patrícia Anjos Bittencourt Barreto-Garcia, que sempre me ajudaram e me incentivaram desde a época da graduação.

A todos os colegas do Laboratório de Solos da UENF que me receberam de braços abertos no laboratório e fizeram da minha estadia no Rio mais agradável. E em especial ao Ederaldo, a Kátia e a Vanilda por toda simpatia e colaboração nas análises.

Ao Paulo Henrique Marques Monroe, pela ajuda e contribuição nas análises estatísticas e disponibilidade nos momentos de dúvidas.

E a todos aqueles que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho, meu muito obrigada!

## RESUMO

OLIVEIRA, Camila Vasconcelos de, M.Sc., Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, agosto de 2016. **Estoque de carbono em solos sob floresta nativa, sistemas agroflorestais de cacau, plantio de seringueira e pasto no Sul da Bahia, Brasil.** Orientadora: Emanuela Forestieri da Gama-Rodrigues. Co-orientadora: Patrícia Anjos Bittencourt Barreto-Garcia.

O solo é um importante reservatório de carbono e o seu manejo pode alterar de forma significativa as emissões de CO<sub>2</sub> para a atmosfera. Sistemas de manejo que visem ao não revolvimento do solo e, conseqüentemente, ao acúmulo de matéria orgânica despontam como alternativas viáveis para redução dessas emissões e auxiliam na manutenção da qualidade dos solos. O presente estudo teve como objetivo avaliar o estoque de C no solo e nas diferentes classes de agregados dos solos de cinco diferentes sistemas de uso da terra, sendo eles: (1) sistema agroflorestal de cacau + seringueira; (2) sistema agroflorestal de cacau + eritrina; (3) plantação de seringueira; (4) pasto; (5) floresta natural. Foram estabelecidas de forma aleatória quatro parcelas em cada sistema de uso da terra, e trincheiras para a coleta de solo foram abertas. As amostras de solo foram coletadas nas profundidades 0-10, 10-20, 20-40, 40-60, 60-80, 80-100 cm, totalizando 1 metro de profundidade, separadas por fracionamento em três classes de agregados (macroagregados 2.000-250 µm; microagregados 250–53 µm; fração silte + argila - < 53 µm) e analisadas para determinação do carbono orgânico do solo (COS). As médias do estoque de COS até 100 cm de profundidade dos cinco sistemas estudados não diferiram estatisticamente entre si, ou seja, a conversão de floresta natural em sistemas que acumulam matéria orgânica não promoveu redução no estoque de C destes solos. Analisando as profundidades separadamente, os maiores estoques de COS foram apresentados pela floresta natural (65 Mg ha<sup>-1</sup>) na profundidade de 20-40 cm. E, de uma maneira geral, entre as profundidades de 20-60 cm houve uma tendência de aumento de C, principalmente na floresta natural e no pasto. Para a fração dos macroagregados, o plantio de seringueira e a floresta natural foram os sistemas que mais acumularam C (106,92 Mg ha<sup>-1</sup> e 100,20 Mg ha<sup>-1</sup>, respectivamente). Nos microagregados, assim como nos macroagregados, o plantio de seringueira estocou mais C que os outros sistemas, o equivalente a 94 Mg ha<sup>-1</sup>, seguido do pasto, que acumulou aproximadamente 71 Mg ha<sup>-1</sup>. Para a fração silte + argila, os SAFs de cacau + eritrina e cacau + seringueira foram os sistemas que mais estocaram C (76 Mg ha<sup>-1</sup> e 71 Mg ha<sup>-1</sup> respectivamente). De uma maneira geral, os percentuais de macroagregados diminuíram com a profundidade do solo e os de microagregados aumentaram, sendo que a classe de agregado mais dominante nos diferentes sistemas foi a dos macroagregados, responsáveis pelos maiores estoques de COS. O pasto mostrou-se capaz de acumular COS, assemelhando-se ao estoque da floresta natural. E a seringueira apresentou boa capacidade de acúmulo de carbono. Concluindo que, a conversão da floresta natural em sistemas sem revolvimento do solo e acumuladores de matéria orgânica não alteram os níveis de estoque de CO dos solos.

**Palavras-chave:** carbono, sistemas agroflorestais, agregados.

## ABSTRACT

OLIVEIRA, Camila Vasconcelos de, M.Sc., Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, August, 2016. **Carbon stock in soils under native forest, agroforestry systems of cocoa, rubber tree plantation and pasture in the south of Bahia, Brazil.** Adviser: Emanuela Forestieri da Gama-Rodrigues. Co-Adviser: Patrícia Anjos Bittencourt Barreto-Garcia.

The soil is an important carbon sink and its management can change significantly the emissions of CO<sub>2</sub> into the atmosphere. Management systems aimed at no soil disturbance and thus the accumulation of organic matter emerge as viable alternatives to reduce these emissions and help to maintain soil quality. This study aimed to evaluate the C stocks in soil and different soil aggregate classes of five different land use systems, as follows: (1) agroforestry system cocoa + rubber; (2) agroforestry system cocoa + eritrina; (3) rubber plantation; (4) pasture; (5) natural forest. There were randomly established four plots in each land use system, and trenches for soil collection were opened. Soil samples were collected at depths 0-10, 10-20, 20-40, 40-60, 60-80, 80-100 cm, totaling 1 meter deep, separated by fractionation in three aggregate classes (macroaggregates - 2000-250 µm; microaggregates - 250-53 µm; fraction silt + clay - < 53 µm) and analyzed for soil organic carbon (SOC). The average stock of COS to 100 cm depth of the five systems studied were not statistically different from each other, i.e., the conversion of natural forest systems that accumulate organic matter did not promote reduction in the stock of C in these soils. Analyzing the depths separately, the largest SOC stocks were presented by natural forest (65 Mg ha<sup>-1</sup>) at a depth of 20-40 cm. And, in general, between depths of 20-60 cm there was a trend of increased C, especially in natural forest and pasture. For the fraction of macroaggregates, the rubber tree plantation and natural forest were the systems that have accumulated more C (106.92 Mg ha<sup>-1</sup> and 100.20 Mg ha<sup>-1</sup>, respectively). In microaggregates, as in macroaggregates, planting rubber stockpiled more C than other systems, equivalent to 94 Mg ha<sup>-1</sup>, followed by pasture accumulated approximately 71 Mg ha<sup>-1</sup>. For the silt + clay fraction, the AFS cocoa + eritrina and cocoa + rubber were the systems more stockpiled C (76 Mg ha<sup>-1</sup> and 71 Mg ha<sup>-1</sup> respectively). In general, the percentage of macroaggregates decreased with soil depth, and of microaggregates increased. And the most dominant aggregate class in the different systems was the macroaggregates, responsible for the largest stock of SOC. The pasture has been shown to accumulate SOC, resembling the stock of natural forest. And the rubber showed a good capacity of carbon buildup. Therefore, the conversion of natural forest without soil tillage systems and accumulators of organic matter does not alter the OC stock levels of the soil.

**Keywords:** carbon, agroforestry systems, aggregates.

## SUMÁRIO

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1. INTRODUÇÃO.....</b>  | <b>8</b>  |
| <b>2. REVISÃO DE LITERATURA .....</b>  | <b>12</b> |
| <b>2.1. Panorama geral do cultivo de <i>Theobroma cacao</i> L. e <i>Hevea brasiliensis</i> M. Arg.....</b> | <b>12</b> |
| <b>2.1.1. O cacauzeiro .....</b>   | <b>12</b> |
| <b>2.1.2. A seringueira .....</b>  | <b>13</b> |
| <b>2.2. Sistemas agroflorestais de cacau e a seringueira .....</b>   | <b>15</b> |
| <b>2.3. Sequestro de carbono no solo e os sistemas agroflorestais .....</b>                                | <b>17</b> |
| <b>2.4. Agregação do solo e a influência da matéria orgânica do solo.....</b>                              | <b>20</b> |
| <b>3. MATERIAL E MÉTODOS.. .....</b>   | <b>24</b> |
| <b>3.1. Caracterização da área de estudo .....</b>   | <b>24</b> |
| <b>3.2. Amostragem do solo.....</b>  | <b>24</b> |
| <b>3.3. Separação em classes de agregados .....</b>  | <b>26</b> |
| <b>3.4. Análises estatísticas .....</b>  | <b>27</b> |
| <b>4. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>  | <b>29</b> |
| <b>4.1. Estoque de C orgânico do solo (COS) em profundidade.....</b>                                       | <b>29</b> |
| <b>4.2. Estoque de COS nas diferentes classes de agregados do solo até 1 metro de profundidade .....</b>   | <b>35</b> |
| <b>5. CONCLUSÕES .....</b>   | <b>43</b> |
| <b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>  | <b>44</b> |

## 1. INTRODUÇÃO

O crescente aumento das concentrações de gases do efeito estufa (GEEs) na atmosfera tem impulsionado o agravamento do aquecimento global, um problema ambiental que tem sido discutido e estudado em diversos fóruns e tratados climáticos ao redor do mundo. Essa e outras mudanças climáticas podem ser resultantes tanto de processos internos do próprio sistema como também por fatores externos naturais e/ou antropogênicos (MACHADO, 2005). Sendo assim, a grande quantidade de gases lançados na atmosfera, principalmente do dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) em decorrência das diversas atividades humanas, tem papel expressivo na intensificação desse quadro (COTTA et al., 2006).

De uma maneira geral, o carbono (C) encontra-se armazenado em quatro diferentes regiões: oceanos, atmosfera, formações geológicas e ecossistemas terrestres (interação entre solo e biota). Desses espaços, o solo é considerado o principal reservatório de C no ecossistema, por ser o ambiente que apresenta maior acúmulo de C, armazenando aproximadamente três vezes mais que a vegetação e a atmosfera (LAL, 2004a; CARVALHO et al., 2010). Assim, o solo é tido como um importante dreno de C atmosférico, tornando-se um compartimento fundamental para as reduções das taxas de emissões desse gás. No entanto, técnicas inadequadas de manejo podem ocasionar processos erosivos e gerar grandes perdas de matéria orgânica e, conseqüentemente, de nutrientes, alterando características físicas e químicas do solo, comprometendo sua produtividade e promovendo a liberação de C para a atmosfera (MACHADO, 2005; SALES, 2012).

Ante esse contexto, os ecossistemas florestais e/ou sistemas de manejo de produção que visam ao acúmulo de material orgânico no solo despontam como uma das alternativas viáveis para mitigar o aumento das concentrações de CO<sub>2</sub> na atmosfera, uma vez que eles têm a capacidade de captar e fixar o C atmosférico tanto nos vegetais como no solo (COSTA et al., 2000). Por meio do depósito de material orgânico no solo, grande parte do C assimilado pelos vegetais é transportado para o solo via decomposição e pelo desenvolvimento e ciclagem das raízes (MONTAGNINI e NAIR, 2004). Logo, a substituição da agricultura convencional por sistemas que adotem maior manutenção de resíduos pode reduzir as perdas de C para a atmosfera (BARRETO et al., 2006).

Os sistemas agroflorestais (SAF's) possuem grande potencial para o sequestro de C atmosférico tanto na biomassa vegetal como na matéria orgânica do solo (MOS), promovendo diversos benefícios ambientais e garantindo a sustentabilidade do sistema (ALBRECHT e KANDJI, 2003; ALVARADO et al., 2008). Esse sistema de cultivo normalmente proporciona grande acúmulo de resíduos vegetais no solo e, conseqüentemente, do carbono orgânico do solo (COS), influenciando na conservação de sua qualidade e produtividade (BARRETO, 2009). Desta maneira, os SAF's surgem como boa alternativa de produção sustentável, capaz de mitigar esses gases.

A cultura do cacau libera grande quantidade de resíduos vegetais no solo e possui muitos atributos que se assemelham a uma floresta natural, sobretudo no que se refere à proteção dos solos (ALVIM, 1989). Dessa forma, esse sistema passa a ser um bom exemplo para a abordagem e estudo dos SAF's, por ser uma espécie tolerante a sombra e que permite seu cultivo associado com as mais variadas espécies, evidenciando a complementariedade existente entre as diferentes espécies e a possível sustentabilidade de produção desses sistemas (MULLER e GAMA-RODRIGUES, 2012).

A região Sul do estado da Bahia sempre foi conhecida por sua alta produtividade de cacau. No entanto, com a ocorrência da vassoura-de-bruxa (*Crinipellis pernicioso*) surgiram quedas abruptas na produção e, por conseguinte, na economia local (PEREIRA et al., 1996a). Surgiu, portanto, uma necessidade de se buscar novas formas de produção que minimizassem esses problemas fitossanitários e hoje os SAF's de cacau constituem uma das práticas mais difundidas na região. De acordo com Gama-Rodrigues et al. (2011), o Brasil possui uma área plantada sob SAF's de cacau equivalente a mais de 700 mil hectares, de modo que a Bahia é o principal produtor dessa cultura.

Outro setor produtivo também presente na região sul da Bahia é a heveicultura. No entanto, assim como aconteceu com a cultura do cacau, problemas de ordem fitossanitária também se alastraram pelos seringais, desestimulando a produção e causando o abandono dessas áreas por parte dos produtores (MARQUES et al., 2012). Com o passar dos anos, muitos desses seringais voltaram a fazer parte do processo produtivo através da implantação de SAF's com a introdução de cacaueiros híbridos (VIRGENS-FILHO et al., 1988). Assim, os SAF's

de cacau e seringueira passaram a surgir na região como uma nova alternativa de exploração dessas culturas, que se complementam ecofisiologicamente (MARQUES et al., 2012).

De acordo com Albrecht e Kandji (2003), os SAF's são um recurso importantíssimo para a mitigação do C na atmosfera e diversos estudos têm tentado comprovar isso, a exemplo de Gama-Rodrigues et al. (2010), que, ao estudar SAF's de cacau no Sul da Bahia, encontraram uma quantidade de carbono orgânico do solo (COS) estocado equivalente a 302 Mg C ha<sup>-1</sup> para a camada de 0-100 cm. E Monroe et al. (2016), também ao estudar SAF's de cacau na mesma região, encontraram um estoque de COS para essas áreas em torno de 180 Mg C ha<sup>-1</sup> na camada de 0-100 cm, comprovando que esses sistemas de produção proporcionam níveis elevados de resíduos vegetais no solo e, conseqüentemente, do C no solo, resultante desse acúmulo de material.

Os processos de decomposição desses resíduos vegetais promovem a liberação de materiais ricos em C no solo. Para que ocorra o sequestro e a manutenção do C no solo, algumas propriedades, como a agregação do solo, são de fundamental importância (GAMA-RODRIGUES et al., 2010). Segundo Assis e Lanças (2010), essa adição de material orgânico no solo induz o aumento da atividade microbiana e conseqüentemente a produção de exsudados que influenciam na formação e na estabilização dos agregados do solo.

Os agregados são estruturas que se formam a partir da ligação da fração mineral do solo com a matéria orgânica, a qual pode se constituir tanto de agentes de ligação temporários (raízes e hifas fúngicas) quanto de agentes de ligação persistentes (que geram agregados mais estáveis). Assim, a matéria orgânica (MO) é um importante agente na formação e estabilização dos agregados (SIX et al., 2000). O não revolvimento do solo, a exemplo dos SAF's, com subsequente acúmulo de material vegetal é outro aspecto relevante, pois protege os agregados do solo do impacto direto das gotas de chuva e resulta em menor quebra mecânica dos mesmos (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1990), influenciando na manutenção da qualidade estrutural do solo.

Geralmente, os SAF's são formados por espécies arbóreas e florestais que apresentam um sistema radicular mais profundo. De acordo com Gama-Rodrigues et al. (2011), as raízes finas, os pelos radiculares e as raízes laterais são uma fonte de

entrada de C nesses sistemas, e muitas delas se encontram em profundidades de 0-60 cm no perfil do solo. Por isso, torna-se relevante estudar o estoque de C até um (1) metro de profundidade a fim de avaliar corretamente a influência dessas raízes no aporte de C para o solo.

Com base na exposição feita, as hipóteses deste trabalho consideram que: (1) os solos com sistemas agroflorestais (SAF's) apresentam acúmulo de C orgânico semelhantes aos de uma floresta natural e superior a áreas de pastagens; (2) as distribuições das classes de agregados variam de acordo com a profundidade, sendo o aumento de profundidade no perfil do solo proporcional ao decréscimo dos macroagregados e ao aumento dos microagregados.

Portanto, o objetivo deste estudo foi avaliar o estoque de carbono no solo e nas diferentes classes de agregados do solo até 1 metro de profundidade em floresta nativa, diferentes sistemas agroflorestais de cacau, plantio de seringueira e pasto no sul do estado da Bahia (Brasil).

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. Panorama geral do cultivo de *Theobroma cacao* L. e *Hevea brasiliensis* M. Arg.

#### 2.1.1. O cacauero

O cacauero (*Theobroma cacao* L.) é uma planta nativa da região Amazônica, típica das florestas tropicais úmidas (DIAS, 2001; COTTA, 2005), bem adaptada a outras regiões do Brasil devido à existência de áreas com clima e solos apropriados ao seu cultivo (SENATORE e MUÑOZ, 2013).

Pertencente à família botânica da Sterculiaceae, é uma espécie perenifolia, mesófila, de médio porte, típica de sub-bosque e que pode atingir de 4 a 6 metros de altura. Possui tronco bem ramificado, de textura lisa e coloração esverdeada na sua fase jovem e cinza-escuro na sua fase adulta e diâmetro variando entre 20 a 30 centímetros (LORENZI, 1998; CORRÊA, 2005). Seu sistema radicular é composto por uma raiz pivotante com ramificações laterais, cuja forma e comprimento variam de acordo com a textura e consistência do solo (SILVA NETO, 2001).

O fruto do cacauero, um produto agrícola conhecido, cultivado e apreciado em várias partes do mundo, é um importante produto da safra nacional, que classifica o Brasil como o sexto maior produtor mundial de cacau, ficando atrás de países africanos como Costa do Marfim e Gana, que são os maiores produtores em termos mundiais (SENATORE e MUÑOZ, 2013). Atualmente, as principais regiões produtoras de cacau no mundo concentram-se na América do Sul, África e Ásia (SOUZA e DIAS, 2001; PIASENTIN e SAITO, 2014).

De acordo com Muller et al. (2002), o Brasil liderou a produção de cacau até início da década de 1990, sofrendo uma queda brusca de produção com o advento das doenças vassoura-de-bruxa e podridão-parda, ambas causadas por fungos, e dos longos períodos de estiagem na região. Com isso, a produção brasileira enfraqueceu, chegando a atingir 36% da média de produção referente aos anos anteriores ao surgimento da doença (TAVARES, 2014) e o país acabou perdendo posições no *ranking* dos maiores produtores mundiais.

Em âmbito nacional, o cacau é produzido em sua grande totalidade pelo estado da Bahia, região localizada no Nordeste do país. A espécie encontrou nesse

Estado condições edafoclimáticas ideais para o seu desenvolvimento, sendo este hoje o maior produtor de cacau no país, seguido pelos estados do Pará, Rondônia e Amazonas na região Norte, pelo Espírito Santo na região Sudeste e pelo Mato Grosso na região Centro-Oeste (SENATORE e MUÑOZ, 2013). Conforme dados da Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira – CEPLAC (2010), o Sul da Bahia produz 95% do cacau brasileiro, ficando o Espírito Santo responsável por 3,5% e a Amazônia por 1,5% da produção. A propósito, cerca de 90% de todo o cacau brasileiro produzido são para exportação.

Atualmente, existem muitos cultivos de cacau associado a outras espécies que lhe conferem sombreamento durante sua fase de desenvolvimento e produtividade. Esse tipo de cultivo, denominado sistema agroflorestal (SAF), promove mudanças ecológicas benéficas ao sistema e tem sido amplamente difundido, por ser um modelo de produção diversificado. Esse tipo de modelo de produção surge como uma alternativa para melhorar e impulsionar o mercado do cacau, através de uma produção sustentável e que traz inúmeras melhorias para o processo de produção e qualidade do produto final (SENATORE e MUÑOZ, 2013).

### **2.1.2. A seringueira**

A seringueira, *Hevea brasiliensis* Muell. Arg., é uma planta característica da Amazônia brasileira, encontrada naturalmente nas matas dos estados do Acre, Amazonas, Rondônia e Pará, bem como no Peru, Bolívia, Colômbia e Venezuela (MORCELI, 2004). É uma espécie perene, de crescimento rápido, lactescente, pertencente à família das Euphorbiaceae e que pode atingir de 20 a 30 metros de altura e diâmetro do tronco entre 30 e 60 centímetros. É encontrada em solos argilosos e férteis e se comporta como uma planta semidecídua e heliófita (LORENZI, 1998).

A *H. brasiliensis* é a única espécie do gênero explorada comercialmente por apresentar características superiores como produtividade de látex de boa qualidade e maior variabilidade genética (PEREIRA et al., 2000). Foi inserida em cultivos arbóreos no Brasil por ser reconhecida como uma das maiores fontes de borracha natural (SANTANA, 1998) e hoje é considerada a espécie de maior importância econômica para seu gênero em virtude de sua grande produção (RUFINO, 1986).

Os primeiros cultivos de seringueiras no Brasil e no mundo foram realizados em áreas com condições climáticas análogas às de sua região de origem. Desta forma, até o final dos anos 1960, grande parte da produção nacional dos seringais era proveniente de áreas submetidas a condições de clima quente e úmido. No entanto, essas regiões apresentavam condições climáticas ideais para o desenvolvimento do fungo causador da doença do mal-das-folhas (*Microcyclus ulei*), principal restrição à produção dos seringais (SÁ, 2000). Com isso, o sistema de produção de borracha no Brasil passou a migrar para áreas denominadas áreas de escape, as quais oferecem condições favoráveis ao crescimento e à produção da seringueira e desfavoráveis ao fungo (FERREIRA, 1989). Com o passar dos anos, os seringais começaram a se expandir principalmente para áreas com condições climáticas contrárias às das regiões tradicionais da cultura, e atualmente encontramos plantios localizados nos estados de São Paulo, Minas Gerais, Espírito Santo, Bahia, Paraná e Mato Grosso. No entanto, esses plantios exigem uma adequação dos sistemas de produção (SÁ, 2000).

O principal produto da *H. brasiliensis* é a borracha natural, e o Brasil, de primeiro e único exportador desse produto no início do século XX, hoje importa 63% do seu consumo interno e produz o equivalente a 1% da produção mundial de látex, ficando atrás de países como a Tailândia, com 36% da produção, Indonésia, com 22%, Malásia, com 12%, China, com 9%, e a Índia, com 6% da produção mundial da espécie. No entanto, o cenário de produção é promissor para o Brasil, uma vez que os países que mais produzem já estão com suas áreas de expansão limitadas, enquanto o Brasil ainda possui muitas áreas com capacidade de desenvolvimento do setor (FAMASUL, 2012). Em âmbito nacional, os Estados de São Paulo, Bahia, Mato Grosso e Espírito Santo são os principais produtores, com destaque para o estado de São Paulo, que possui os seringais mais produtivos do mundo e é o principal produtor de borracha natural do país, sendo responsável por cerca de 50% da produção nacional (IAC, 2014).

A seringueira apresenta um longo período de maturidade e pode ser plantada em diversos espaçamentos, características que lhe conferem a possibilidade de ser cultivada em consórcio com outras culturas (FANCELLI, 1986). Sua exploração econômica pode gerar benefícios sociais e ambientais que outras culturas não são capazes de promover, sendo uma das culturas com maior capacidade de gerar

empregos fixos no meio rural e proporcionar um bom aproveitamento do solo, além de ser um recurso renovável, pois pode ser utilizada para restabelecer áreas degradadas (FERNANDES, 2003).

## **2.2. Sistemas agroflorestais de cacau e a seringueira**

A região cacauera do sul da Bahia inicialmente era recoberta por uma vegetação primária de Mata Atlântica que foi sendo progressivamente fragmentada e substituída por áreas cultivadas (LOBÃO et al., 2004; DELABIE et al., 2011). A supressão dessas florestas tropicais, nas últimas décadas, tem ocorrido de forma acelerada, tornando-se necessária a busca por novos modelos de desenvolvimento que permitam compatibilizar a conservação dos recursos naturais com o desenvolvimento socioeconômico (SCHROTH et al., 2004).

Dessa forma, os sistemas agroflorestais (SAF's) surgem como uma alternativa menos impactante e de uso mais eficiente dos recursos naturais que, através de um manejo sustentável, gera pouca degradação ao meio ambiente e contribui para sua conservação, promovendo diversas mudanças ecológicas que são benéficas ao sistema. Essa sustentabilidade é uma característica própria desse tipo de sistema, que busca uma interação dos aspectos econômicos, ecológicos e sociais (MACEDO et al., 2000) através do uso integrado da terra (SANTOS, 2000).

A cultura do cacau associada com outras espécies que lhe proporcionem sombreamento constitui hoje um dos mais conhecidos e bem-sucedidos exemplos de SAF's no Brasil e no mundo. Essa prática propicia à cultura condições ideais para o seu desenvolvimento e produção, uma vez que a espécie é tolerante a sombra e apresenta bom desenvolvimento quando associada com espécies que a complementam ecologicamente (MULLER e GAMA-RODRIGUES, 2012), além de servir como uma barreira física contra a ação dos ventos (PEREIRA et al., 1996b). Segundo dados de Gama-Rodrigues et al. (2011), o Brasil possui uma área plantada de SAF's de cacau equivalente a mais de 700 mil hectares.

No sul do Estado da Bahia, região produtora de cacau, os SAF's de cacau existentes são desenvolvidos de duas diferentes formas: por um sistema de plantio tradicional denominado de cacau “cabruca” e por outro denominado de “derruba total” (GAMA-RODRIGUES et al., 2011).

No sistema cacau “cabruca”, o cacau é plantado sob uma floresta natural raleada e sombreado por árvores da própria floresta nativa. Nesse sistema, ocorre uma alta densidade das árvores nativas e baixa das plantas de cacau por hectare, proporcionando assim maior preservação das espécies arbóreas nativas e da fauna e maior conservação dos solos da região (DELABIE et al., 2011). De acordo com esses mesmos autores, o sistema de “derruba total” é tido como um sistema totalmente artificial, uma vez que contempla a remoção completa de todas as árvores naturais e o plantio do cacau ocorre de forma simultânea com outras árvores de sombra que são introduzidas. Neste sistema, o adensamento das plantas de cacau é extremamente alto, ao passo que as árvores de sombra possuem um adensamento bem menor.

O gênero *Erythrina*, leguminosa exótica de baixo valor econômico, é o mais comum entre as árvores de sombra introduzidas nos plantios de cacau (MARQUES e MONTEIRO, 1997; LOBÃO et al., 2004). No entanto, outras espécies nativas de maior valor econômico vêm sendo introduzidas nos SAF’s na tentativa de fornecer melhor sombreamento ao cacau e, ao mesmo tempo, aumentar a viabilidade econômica do sistema (MARQUES e MONTEIRO, 2006).

Dentre essas espécies, a seringueira tem surgido como uma alternativa extremamente viável para o sombreamento permanente do cacau em substituição à Eritrina por ser uma espécie de alto valor econômico e também fornecer sombra de boa qualidade (MARQUES e MONTEIRO, 2003). De acordo com Marques e Monteiro (1997) e Marques et al. (2002), essas duas espécies complementam-se ecologicamente e, por isso, a exploração de ambas em conjunto trará inúmeros benefícios ao sistema, tornando viável esse tipo de SAF. O consórcio entre essas duas espécies, além de aumentar a produtividade do cacau, permite que a borracha extraída da seringueira também seja uma nova fonte de renda ao produtor (PEREIRA et al., 1996b).

Os primeiros relatos de plantação de cacau com seringueiras no estado da Bahia ocorreram a partir da década de 1980 e surgiram como forma de reestabelecer no processo produtivo seringais abandonados e diversificar a produção rural (PIASENTIN e SAITO, 2014). Nesse período, o cultivo de cacau na região já era tradição e a facilidade de estabelecimento da espécie em sombras preexistentes junto com a possível retomada dos seringais, que outrora já haviam se

mostrado economicamente viáveis, foi fator motivador para o desenvolvimento do consórcio em inúmeras propriedades (ALVIM, 1989).

No entanto, para Virgens Filho et al. (1988), estratégias envolvendo diferentes disposições de plantio e variações de espaçamento, que influenciam diretamente nos graus de sombreamento ou luminosidade, devem ser tomadas para viabilizar tecnicamente a produção desses consórcios e permitir o estabelecimento simultâneo das espécies. Outro aspecto que também deve ser considerado é a escolha correta da variedade clonal de seringueira, pois será determinante para o sucesso do SAF. A escolha errônea de uma variedade pode causar a utilização de árvores com copas e ramificações muito densas, fornecendo um sombreamento excessivo aos cacauais e, assim, reduzir suas produtividades (LIMA, 2011).

Existem inúmeros benefícios dos SAF's de cacau e seringueira em relação às monoculturas, entre eles: melhor distribuição de renda ao longo do ano, menor incidência de pragas e doenças, uso racional da terra, maior ciclagem de nutrientes e maiores lucros por unidade de área. Além desses benefícios diretos, os SAF's também geram benefícios indiretos, tais como: conservação do solo e controle da erosão, melhoria das propriedades químicas e físicas do solo, redução da pressão sobre a vegetação nativa, sombra e proteção aos cultivos, controle de efeitos negativos do vento e aumento da biodiversidade (VIRGENS FILHO, 2010).

De acordo com Marques et al. (2002), o plantio consorciado entre essas duas culturas já é um dos mais conhecidos e bem-sucedidos exemplos de consórcio sustentável, constituindo-se como boa alternativa para diversas regiões do Brasil e do mundo.

### **2.3. Sequestro de carbono no solo e os sistemas agroflorestais**

A crescente concentração de gases do efeito estufa (GEEs) na atmosfera, decorrente, especialmente, de atividades humanas, é um dos principais fatores responsáveis pelas mudanças climáticas globais que observamos na atualidade. O uso crescente de combustíveis fósseis, o uso inadequado da terra (desmatamento e/ou queimadas; criação intensiva de gado) e atividades associadas ao processo de industrialização são exemplos de atividades que vêm resultando no acúmulo de GEEs e, conseqüentemente, na elevação da temperatura global (COTTA, 2005).

Gases como dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ) e óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) são considerados os principais causadores desse efeito, sendo que o  $\text{CO}_2$ , em termos de volume, é o gás mais emitido (GATTO, 2005), ocupando em torno de 55% do volume total dessas emissões e podendo permanecer por aproximadamente dez décadas na atmosfera (PAIXÃO, 2004). Logo, são necessárias medidas mitigadoras para esse gás, uma vez que seu acúmulo e a concentração em níveis elevados podem gerar alterações climáticas e consequências negativas para a produção agrícola, florestal e práticas agronômicas em diferentes partes do mundo (ROOS et al., 2011).

As atividades agrícolas também devem ser consideradas ao se estudar esse quadro, pois, quando essa atividade é praticada com frequente revolvimento do solo, pode provocar o lançamento de  $\text{CO}_2$  à atmosfera através da oxidação biológica do C orgânico (REICOSKY e LINDOSTROM, 1998). Portanto, o tipo de manejo dispensado ao solo e as culturas utilizadas podem ser o diferencial entre contribuir ou minimizar com o agravamento do efeito estufa na terra (SANTI et al., 2007).

De uma maneira geral, a grande maioria dos nutrientes encontra-se na parte aérea da vegetação. E o acúmulo de material vegetal no solo e sua posterior decomposição é que levam a uma interação da vegetação e do solo, por meio da ciclagem de nutrientes (MARTINS e RODRIGUES, 1999). Nesse processo de decomposição da matéria orgânica do solo (MOS), parte do carbono orgânico (CO) existente nesses resíduos retorna à atmosfera como dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) e parte passa a integrar a matéria orgânica como um componente do solo (BAYER e MIELNICZUK, 2008). Assim, o balanço de C no solo se dá pela relação entre a entrada de C assimilado pelas plantas e suas perdas para a atmosfera por meio da oxidação biológica do carbono orgânico (CO) a dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) (COSTA et al., 2008).

Dessa forma, percebe-se que o solo é um componente de integração da biosfera e do sistema agrícola que tem importante papel na dinâmica do C atmosférico (SANTI et al., 2007). Parte desse C do solo deriva, principalmente, da adição de matéria orgânica ao solo e dos minerais carbonatos presentes em alguns solos de origem calcária (GATTO, 2005). E seu potencial de fixação de C é influenciado por algumas variáveis, tais como as espécies vegetais, os sistemas de cultivos utilizados e a capacidade de drenagem do solo (LAL, 2005). Assim,

dependendo do sistema de manejo a que são submetidos, os solos atuam como fonte ou dreno dos GEEs (IPCC, 2001).

Os ecossistemas florestais têm a capacidade de captar, fixar e armazenar o C atmosférico via fixação de C pelos vegetais e acúmulo de C no solo por meio da manutenção e conservação da MOS (COSTA et al., 2000). Segundo Salati (1994), as florestas armazenam em sua biomassa vegetal e no solo uma quantidade de carbono maior que a existente atualmente na atmosfera. Essa função ecológica desses ecossistemas pode ser considerada como um importante serviço ambiental (ALVES, 2003) e, portanto, uma alternativa viável para a mitigação do aumento das concentrações de CO<sub>2</sub> na atmosfera.

De acordo com Montagnini e Nair (2004), a MOS é o maior reservatório de C da superfície terrestre, uma vez que grande parte do C assimilado pela vegetação é transportada para o solo e nele fixada. E, segundo Pereira et al. (2013), o C representa 49% do total do peso seco da MOS, sendo, portanto, o seu principal constituinte. Em termos globais, os solos contêm quantidades de carbono armazenado cerca de duas vezes maior que o presente na atmosfera e cerca de três vezes maior que o presente na vegetação (CERRI e CERRI, 2007; BENACI, 2010). Estima-se que os estoques de carbono no solo estejam entre 1.000 e 1.500 Pg (1 Pg = Petagrama =  $1 \times 10^{15}$  g = 1 bilhão de toneladas) de carbono mineral e orgânico, respectivamente, superando assim a quantidade existente na atmosfera e na biomassa vegetal (MACHADO, 2005). Segundo Lal (2004b), esse acúmulo de C pelos solos é fundamental para reduzir as taxas de emissão de CO<sub>2</sub> para a atmosfera e para a manutenção da sustentabilidade agrícola.

De acordo com Paul et al. (2013), para o desenvolvimento de um sistema de produção sustentável é imprescindível a manutenção e conservação do COS, uma vez que seu aumento eleva a produtividade das culturas e a eficiência na utilização dos nutrientes. Sua conservação representa também uma forma eficiente de redução das emissões de CO<sub>2</sub> pela agricultura (LAL, 2001). Assim, diante desse contexto, a adoção de sistemas de produção que visem ao acúmulo de material orgânico no solo e, conseqüentemente, do COS semelhantes a um ecossistema florestal surge como alternativa para a redução das concentrações de CO<sub>2</sub> na atmosfera.

Os SAF's de cacau sombreado proporcionam constante manutenção de resíduos vegetais no solo tanto pelo cacau como pela própria espécie utilizada para seu sombreamento, gerando assim maior acúmulo de MO no solo e, conseqüentemente, do COS (BARRETO, 2009). Dentre as muitas espécies adotadas para o sombreamento do cacau, a seringueira é vista como uma espécie desejável tanto do ponto de vista econômico quanto ecológico, pois, além da biomassa armazenadora de C, ela também pode armazenar C na borracha natural, seu principal produto (JACOVINE et al., 2006). Então, estes sistemas representam uma importante contribuição da agricultura na tentativa de atenuar as concentrações de CO<sub>2</sub> na atmosfera e suas respectivas mudanças climáticas (BARRETO, 2009).

Em estudos com SAF's de cacau no sul da Bahia, Gama-Rodrigues et al. (2010) encontraram um estoque de COS a 100 cm de profundidade equivalente a 302 Mg C ha<sup>-1</sup>; Monroe et al. (2016), também estudando SAF's de cacau, encontraram um estoque de COS para essas áreas em torno de 180 Mg C ha<sup>-1</sup> para a camada de 0-100 cm; Cotta (2005), estudando SAF de cacau e seringueira, verificou um estoque de C equivalente a 91,54 Mg C ha<sup>-1</sup> e Barreto et al. (2011), estudando SAF de cacau e eritrina, encontraram um estoque de CO equivalente a 93,79 Mg C ha<sup>-1</sup> na camada de 0-50 cm, comprovando, assim, o elevado potencial desses sistemas em armazenar C por longos períodos de tempos.

Por serem compostos por elementos arbóreos que possuem um sistema radicular mais alongado, a exploração, o deslocamento e a incorporação de nutrientes no solo dentro dos SAF's ocorrem de forma mais profunda no perfil do solo, influenciando na quantidade de C incorporado ao solo e na manutenção de sua qualidade (GATTO, 2005; BARRETO, 2009). Assim, os SAF's são reconhecidos como sistemas de integração que apresentam alto potencial de retenção do C atmosférico e podem ser considerados como "sequestradores" desse C, garantindo, entre muitos aspectos, a sustentabilidade ecológica do sistema (WOLF et al., 2012).

#### **2.4. Agregação do solo e a influência da matéria orgânica do solo**

A matéria orgânica do solo (MOS) é uma mistura heterogênea, resultante em grande parte de resíduos orgânicos de origem animal e, principalmente, vegetal, em diferentes estágios de decomposição, e de sua contínua transformação através da

ação de fatores físicos, químicos e biológicos, como temperatura, umidade, pH do solo e ação de microrganismos (CAMARGO et al., 1999; GARAY et al., 2003). É um componente que exerce importante função no solo, determinando o comportamento de seus atributos químicos e de sua fertilidade (COSTA et al., 2013). Além disso, muitas vezes é considerado como o seu principal indicador de qualidade (BATISTA et al., 2014).

Sua conservação em níveis ideais pode garantir a manutenção da fertilidade do solo por regular a disponibilidade de nutrientes e diminuir os processos de erosão, além de contribuir para a preservação da sua biodiversidade ao fornecer energia para a microfauna do solo e minimizar impactos ao meio ambiente por intermédio do sequestro de C (SIX et al., 2002). Sua manutenção no solo está relacionada com o tempo de permanência dos compostos orgânicos que a compõem. Dessa forma, frações compostas por elementos mais estáveis serão mais difíceis de decompor, contribuindo assim para o aumento do estoque de MO e aporte de C para o solo (SALTON, 2005).

Entre os principais benefícios da MOS podemos citar a manutenção da umidade do solo, disponibilização de nutrientes, aumento da porosidade e melhoria na aeração, aumento da capacidade de troca catiônica (CTC), estimulação da microbiota do solo que favorece a ciclagem de nutrientes (REZENDE, 2012) e influência nos processos de agregação do solo (SILVA et al., 1994).

Portanto, a MO é um importante agente na formação e estabilização dos agregados, pois, com a adição de material orgânico ao solo, a atividade microbiana passa a ser intensificada e, conseqüentemente, há um aumento na produção de exsudados, que vão desempenhar a função de agentes cimentantes importantes na formação e estabilização dos agregados (SIX et al., 2000; ASSIS e LANÇA, 2010). Assim, os agregados do solo são partículas secundárias formadas a partir da interação da MO com os minerais presentes no solo, formando partículas de diferentes tamanhos e formas, variando desde os microagregados (< 250-53  $\mu\text{m}$ ) até os macroagregados (2.000-250  $\mu\text{m}$ ) (TISDALL e OADES, 1982; BRONICK e LAL, 2005).

Existem diversas teorias que abordam a formação dos agregados no solo, das quais a mais aceita entre os diversos estudos de agregação é a desenvolvida por Oades (1984), na qual ele afirma que a formação dos microagregados ocorre

dentro dos macroagregados. De acordo com esse autor, os macroagregados se formam a partir da ligação da MO com agentes ligantes temporários (raízes e hifas fúngicas), estabilizando o C no seu interior. Com o passar do tempo, esses agentes temporários são fragmentados e começam a ser decompostos, dando origem a fragmentos cobertos por mucilagens produzidas a partir desse processo de decomposição pelos microrganismos. Esse material passa a ficar incrustado com argilas, promovendo, então, a formação dos microagregados dentro dos macroagregados.

Baseados nessa teoria, Six et al. (2000) desenvolveram um modelo conceitual para explicar o processo de agregação do solo segundo o qual o processo de agregação é dividido em quatro fases. Na primeira ocorre a formação dos macroagregados em torno da MOS e esse material orgânico passa então a ficar retido dentro desses macroagregados dando origem à matéria orgânica intraparticulada (MOIP) grossa. Na segunda fase, ocorre a formação da MOIP fina dentro dos macroagregados derivada da decomposição da MOIP grossa. Na terceira fase essa MOIP fina vai aos poucos se ligando com partículas de argilas e produtos microbianos e, assim, formando os microagregados dentro dos macroagregados. E, na quarta e última fase, os agentes de ligação dos macroagregados começam a se degradar gradualmente, ocasionando uma perda de estabilidade dos macroagregados e a liberação de microagregados estáveis no solo, que são denominados de microagregados livres e que farão parte de um novo ciclo de formação de macroagregados.

Assim, a incorporação de C nesses microagregados livres é mais desejada para sua estabilização, uma vez que a decomposição desses agregados é mais lenta quando comparada com os macroagregados (JASTROW et al., 1996), permanecendo por mais tempo no solo. Logo, sistemas que proporcionem maior acúmulo e manutenção dos agregados no solo contribuirão de forma mais concreta para o sequestro e manutenção do C nos solos.

Dessa forma, dentre os diferentes mecanismos de estabilização do C no solo, a estabilização física, que consiste na proteção do C pelos agregados (SIX et al., 2004), promove a oclusão do material orgânico no interior dos agregados, formando uma barreira física entre os microrganismos e as enzimas, dificultando o processo

de decomposição deste material (SALTON, 2005). Assim, os agregados são estruturas conhecidas por promover a retenção do C no solo (SIX et al., 2004).

Six et al. (2000) afirmam que o revolvimento do solo interrompe o ciclo de formação dos agregados, causando maior degradação da MOS devido à redução de sua proteção física e, conseqüentemente, maior liberação de CO<sub>2</sub> para a atmosfera. Ou seja, haverá perda de macroagregados ricos em C e maior liberação de microagregados pobres em C. Para Tisdall e Oades (1982), nos sistemas que visam ao não revolvimento do solo, ocorre uma decomposição mais lenta e gradual dos resíduos orgânicos, que passam então a liberar compostos que estimulam a formação e a estabilização dos agregados, proporcionando, assim, proteção física à MO e ao C associado a ela.

De acordo com Salton (2005), a contribuição da manutenção da MO do solo na formação dos agregados e, conseqüentemente, no acúmulo de C resulta na melhoria de diversos atributos do solo, revelando assim a importância da agregação para a manutenção de sua qualidade e para a manutenção da sustentabilidade do sistema.

Muitos estudos têm mostrado que a substituição da agricultura convencional por SAF's pode reduzir as perdas de carbono através da manutenção e/ou aumento dos níveis de MOS (BARRETO et al., 2006). Assim, os SAF's têm sido amplamente promovidos como sistemas de produção sustentáveis devido aos diversos benefícios que desenvolvem no solo e à recuperação de inúmeras funções ecológicas. Além disso, apresentam um grande potencial para o sequestro de C atmosférico nos tecidos vegetais e na MOS (ALBRECHT e KANDJI, 2003). Desta forma, enquanto os sistemas de cultivo convencionais podem ser considerados emissores de C para a atmosfera, os SAF's funcionam como armazenadores desse C, fixando-o no solo por meio da manutenção dos resíduos orgânicos e minimizando, assim, as concentrações de CO<sub>2</sub> na atmosfera e, conseqüentemente, as mudanças climáticas (BARRETO, 2009).

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. Caracterização da área de estudo

As amostras de solo foram coletadas em áreas localizadas no município de Una, região Sul do Estado da Bahia, cujas coordenadas geográficas são 15° 16' 11" de latitude sul e 39° 4' 10" de longitude oeste, e em áreas de estudo da CEPEC/CEPLAC, localizada no município de Ilhéus (14° 47' 50" S e 39° 2' 8" W). De acordo com a classificação climática de Koppen, o clima da região é tropical chuvoso do tipo Af. Nessa região, a pluviosidade é significativa ao longo de todo o ano, mesmo nos meses mais secos, tendo uma precipitação média anual em torno de 1.647 mm e temperatura média anual em torno de 24,3° C.

O estudo foi composto por cinco sistemas de uso da terra, a saber:

(1) sistema agroflorestal de Cacau + seringueira com 12 anos de idade, no espaçamento de uma faixa de duas linhas de seringueira 3 x 3 m e uma faixa de quatro linhas de cacau 2,5 x 2 m;

(2) sistema agroflorestal de Cacau + eritrina com 35 anos de idade e espaçamento equivalente a 3 x 3 m do Cacau e 24 x 24 m da Eritrina em quincôncio;

(3) plantação de seringueira com 31 anos de idade e espaçamento equivalente a 7 x 4 m;

(4) pasto formado por *Brachiaria decumbens*, com 30 anos de idade;

(5) uma floresta natural, fragmento de Mata Atlântica.

Os solos das áreas são classificados como argissolo amarelo para a plantação de seringueira, pasto e floresta natural e nitossolo háplico eutrófico saprolítico (Typic Hapludalf) para os sistemas agroflorestais cacau + seringueira e cacau + eritrina.

#### 3.2. Amostragem do solo

Na parte central de cada sistema de uso da terra foram delimitadas quatro parcelas (30 x 30 m), uniformes (em termos de homogeneidade do solo, declividade, histórico do uso da terra, densidade e idade das árvores) e separadas entre si por

pelo menos 100 m de distância. Em cada parcela, foram abertas trincheiras (1 x 1 x 1,5 m) entre as linhas das plantas e o solo foi coletado em seis profundidades (0-10, 10-20, 20-40, 40-60, 60-80 e 80-100 cm), consistindo de 24 amostras por sistema de uso da terra.

As amostras de solo de cada profundidade foram secas ao ar e passadas em peneira de 2 mm e a análise granulométrica foi realizada pelo método da pipeta (Tabela 1) (EMBRAPA, 1997). Para a determinação da densidade do solo foi utilizado o método do anel volumétrico (EMBRAPA, 1997), que consistiu em coletar amostras de solo de cada profundidade com um anel de volume conhecido (100 cm<sup>3</sup>), secar essas amostras em estufa e posteriormente pesá-las.

O COS foi determinado por combustão seca em um sistema analisador elementar automatizado (CHNS/O analyser). E a densidade do solo de cada profundidade foi usada para calcular a quantidade de COS estocado a 1 m de profundidade, de acordo com a fórmula:

**Estoque de C = COS (g 100 g<sup>-1</sup>) x Ds x Ecs** e expressa em Mg ha<sup>-1</sup>.

Onde: Ds = densidade do solo (g cm<sup>-3</sup>); e Ecs = espessura da camada de solo (cm).

O estoque de COS foi posteriormente corrigido de acordo com a espessura de cada camada de solo, considerando como espessura da camada de solo de referência a Floresta Natural. Essa correção é recomendada devido à influência da camada do solo no cálculo desse estoque, que foi feito de acordo com a seguinte fórmula:

**Ead/sub = (Mref. – Mtrat.)/Ds/100.**

Onde: Ead/sub = Espessura da camada a ser adicionada ou subtraída no cálculo do estoque (cm); Mref. = Massa de solo na respectiva camada de referência (Mg ha<sup>-1</sup>); Mtrat. = Massa de solo na respectiva camada no tratamento (Mg ha<sup>-1</sup>); Ds = Densidade do solo (g/cm<sup>-3</sup>).

**Tabela 1** – Composição granulométrica (areia, silte e argila, em %) e densidade do solo (g cm<sup>-3</sup>) até 100 cm, sob diferentes sistemas agroflorestais de cacau, plantio de seringueira, floresta natural e pasto no Sul da Bahia, Brasil.

| Profundidade<br>(cm) | Atributos<br>Físicos | Sistemas            |       |                        |                     |                           |
|----------------------|----------------------|---------------------|-------|------------------------|---------------------|---------------------------|
|                      |                      | Floresta<br>Natural | Pasto | Cacau +<br>seringueira | Cacau +<br>Eritrina | Plantio de<br>Seringueira |
| 0-10                 | Areia                | 88,95               | 93,26 | 24,71                  | 14,44               | 85,31                     |
|                      | Silte                | 0,81                | 2,41  | 25,32                  | 26,71               | 3,05                      |
|                      | Argila               | 10,25               | 4,33  | 49,97                  | 58,85               | 11,64                     |
|                      | Ds*                  | 1,31                | 1,31  | 1,06                   | 1,06                | 1,31                      |
| 10-20                | Areia                | 82,61               | 93,01 | 21,66                  | 14,50               | 80,18                     |
|                      | Silte                | 1,89                | 2,36  | 26,03                  | 23,68               | 4,04                      |
|                      | Argila               | 15,51               | 4,63  | 52,31                  | 61,82               | 15,78                     |
|                      | Ds                   | 1,49                | 1,49  | 1,01                   | 1,01                | 1,49                      |
| 20-40                | Areia                | 74,10               | 87,98 | 27,22                  | 10,59               | 73,95                     |
|                      | Silte                | 1,70                | 3,34  | 22,91                  | 23,89               | 4,45                      |
|                      | Argila               | 24,20               | 8,68  | 49,88                  | 65,52               | 21,60                     |
|                      | Ds                   | 1,50                | 1,50  | 1,10                   | 1,10                | 1,50                      |
| 40-60                | Areia                | 64,77               | 75,33 | 14,29                  | 8,20                | 70,15                     |
|                      | Silte                | 3,38                | 1,47  | 20,85                  | 17,08               | 3,83                      |
|                      | Argila               | 31,85               | 23,20 | 64,86                  | 74,72               | 26,01                     |
|                      | Ds                   | 1,47                | 1,47  | 0,90                   | 0,90                | 1,47                      |
| 60-80                | Areia                | 59,25               | 69,96 | 11,78                  | 8,03                | 70,73                     |
|                      | Silte                | 6,40                | 3,37  | 17,78                  | 17,34               | 4,02                      |
|                      | Argila               | 34,35               | 26,67 | 70,43                  | 74,62               | 25,26                     |
|                      | Ds                   | 1,48                | 1,48  | 1,02                   | 1,02                | 1,48                      |
| 80-100               | Areia                | 60,78               | 69,31 | 15,94                  | 7,72                | 69,29                     |
|                      | Silte                | 1,35                | 3,55  | 20,40                  | 32,12               | 3,83                      |
|                      | Argila               | 37,86               | 27,14 | 63,66                  | 60,16               | 26,88                     |
|                      | Ds                   | 1,40                | 1,40  | 1,02                   | 1,02                | 1,40                      |

\* Ds = Densidade do solo.

### 3.3. Separação em classes de agregados

O fracionamento em classes de agregados consistiu na pesagem de 100 g de solo seco, passado em peneira de 2.000 µm e submerso em um Becker de 500 mL com água destilada. Após cinco minutos de descanso, as amostras foram passadas

por uma peneira de 250  $\mu\text{m}$  em movimentos repetitivos de cima para baixo em aproximadamente 3 cm, 50 vezes, durante dois minutos. Toda a fração restante no topo da peneira de 250  $\mu\text{m}$  foi coletada em recipientes de plástico de aproximadamente 400 ml. A fração que ultrapassou pela peneira ( $< 250 \mu\text{m}$ ) foi passada em outra de 53  $\mu\text{m}$ , que separou esse material em duas novas frações, pelo mesmo procedimento de peneiramento anterior. Três classes de agregados foram obtidas pelo fracionamento: os macroagregados (2.000-250  $\mu\text{m}$ ), os microagregados (250-53  $\mu\text{m}$ ) e a fração silte + argila ( $< 53 \mu\text{m}$ ). Todas as frações foram secas em estufa de ar forçado a 60 °C, durante 72 horas, e, posteriormente, foi calculada a percentagem do peso de cada fração (ELLIOT, 1986; GAMA-RODRIGUES et al., 2010).

O COS das diferentes classes de agregados também foi determinado por combustão seca em um sistema analisador elementar automatizado (CHNS/O analyser). Da mesma forma que no solo, a densidade do solo de cada camada foi usada para calcular a quantidade de COS das frações até 1 m de profundidade, determinada pela seguinte fórmula:

**C estocado na fração ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) = concentração de COS ( $\text{g kg}^{-1}$ ) x Ds x Ecs x Pf**

Em que: Ds = densidade do solo ( $\text{Mg m}^{-3}$ ); Ecs = espessura da camada de solo (cm) e Pf = Peso da fração (%).

Todos os procedimentos e análises foram realizados no Laboratório de Solos da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF), no estado do Rio de Janeiro (RJ), Brasil.

### **3.4. Análises estatísticas**

Em cada sistema de uso da terra, as parcelas foram tratadas como pseudorepetições como em outros estudos em sistemas agroflorestais de cacau e sistemas florestais (LIMA et al., 2006; DAWOE et al., 2010; GAMA-RODRIGUES et al., 2010; RITA et al., 2011; FONTES et al., 2014; MONROE et al., 2016; VICENTE et al., 2016). Como cada parcela estava distante entre si por pelo menos 100 m,

considerou-se que a aleatoriedade e a independência foram asseguradas, validando a análise de variância (ANOVA) (LIMA et al., 2006).

Os dados foram analisados pelo programa StatSoft inc. (1974-2009) STATISTICA 8.0 para os testes de normalidade através dos métodos de Kolmogorov-Smirnov e Lilliefors. E os dados que não apresentaram normalidade foram transformados pelas equações  $\arcsen\sqrt{Xi}/100$  e log. O teste da ANOVA foi realizado através do método de comparação de médias Scott-Knott a 5% de probabilidade de erro, utilizando o programa SAEG 9.1; e o programa SIGMAPLOT 12.0 (Systat Software inc.) foi utilizado para construção dos gráficos.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1. Estoque de C orgânico do solo (COS) em profundidade

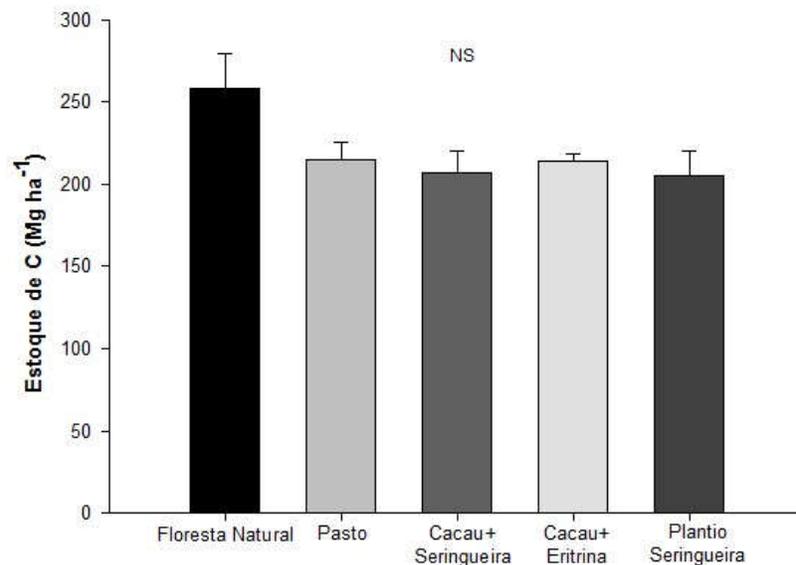
As médias do estoque de COS até 100 cm de profundidade dos cinco sistemas estudados não diferiram entre si estatisticamente (Figura 1), sendo esses valores equivalentes a 258,51 Mg ha<sup>-1</sup> de C na floresta natural; 214,67 Mg ha<sup>-1</sup> na pastagem; 206,58 Mg ha<sup>-1</sup> no SAF cacau + seringueira; 214,45 Mg ha<sup>-1</sup> no SAF cacau + eritrina; e 204,86 Mg ha<sup>-1</sup> no plantio de seringueira. Tal constatação demonstra que a conversão de florestas naturais em sistemas acumuladores de C, mesmo os mais jovens, não promoveu redução no estoque de C desses solos e reforça o papel dos SAF's como sistemas acumuladores de C, uma vez que esses foram os sistemas mais jovens estudados. Resultados semelhantes foram encontrados por Gama-Rodrigues et al. (2010), que, ao estudarem diferentes sistemas de uso da terra, dentre eles o cacau cabruca, o SAF de cacau com eritrina e a floresta natural, não encontraram diferenças no estoque de C no solo na profundidade de 0-100 cm. Também Monroe et al. (2016), ao estudar SAF's de cacau com eritrina, cacau com seringueira, sistema cabruca e floresta natural, encontraram valores médios em torno de 183 Mg ha<sup>-1</sup> de C.

Essa adição de C ao solo por parte de todos os sistemas estudados pode ser explicada pelo alto nível de depósito de matéria orgânica no solo e pela decomposição das raízes na superfície do solo e nas camadas mais profundas (MONROE et al., 2016).

De acordo com com Montagnini e Nair (2004), as florestas naturais apresentam uma taxa de crescimento mais lenta, com baixo acúmulo de matéria seca e sistemas radiculares estáveis, fatores que contribuem para que a conversão do C em COS aconteça de forma mais lenta nesses sistemas e para que os SAF's atinjam níveis similares de estoque de C aos apresentados na floresta natural. No entanto, SAF's mais jovens, que apresentam uma taxa de crescimento acelerada e altos índices de acúmulo de matéria seca, podem apresentar altas taxas de acúmulo de COS (ALBRECHT e KANDJI, 2003), chegando muitas vezes a acumular mais COS que a própria floresta natural. Somarriba et al. (2013) e Monroe et al. (2016) mostraram em seus estudos que os SAF's mais jovens (com menos de 10 anos)

obtiveram estoque de C maior que a floresta natural, sendo mais eficientes para acumular COS.

Com relação aos resultados obtidos para a área de pasto, Loss et al. (2011) afirmam que a braquiária, espécie que compõe a área de pasto deste estudo, possui um sistema radicular bem desenvolvido, o que contribui para um maior aporte de MO no solo por parte desse sistema. As altas taxas de entrada de biomassa, proveniente das mortes das raízes, e a ausência de revolvimento do solo levam a um maior acúmulo de C no solo, evidenciando a importância de uma pastagem bem manejada, da MO e das raízes nesse processo de acumulação de C pelo solo. Contudo, apesar de essa conversão resultar em aumentos do estoque de COS, não devemos negligenciar a importância das florestas no sequestro de C dentro do sistema solo-planta-atmosfera e a possibilidade de liberação de C durante o processo de conversão da vegetação nativa em pastagem (CARVALHO et al., 2010), além do importante papel dos SAF's na redução do desmatamento das florestas naturais.



**Figura 1** – Estoque de COS, na camada de 0-100 cm, em diferentes sistemas agroflorestais de cacau, plantio de seringueira, floresta natural e pasto no Sul da Bahia, Brasil. As barras verticais representam  $\pm$  erro-padrão.

A transformação de ambientes naturais em sistemas de produção, a depender do manejo adotado, pode comprometer de forma expressiva a qualidade e as funções do solo (BORGES et al., 2015). Normalmente, a conversão de florestas em sistemas de produção agrícola causam desequilíbrio e redução do teor de COS. Com a retirada da vegetação natural, a MO é mineralizada, ocasionando a liberação de nutrientes no solo. No entanto, o balanço entre a entrada e a saída de nutrientes passa a ser negativo e o sistema não atinge um novo equilíbrio, causando a degradação do solo (BARRETO et al., 2006). De acordo com Cerri e Cerri (2007) e Torres et al. (2014), as principais fontes de emissão dos GEEs no Brasil são provenientes do desmatamento de florestas para as mudanças do uso da terra, principalmente em práticas agrícolas, chegando a compor aproximadamente 75% de todo o CO<sub>2</sub> emitido pelo país.

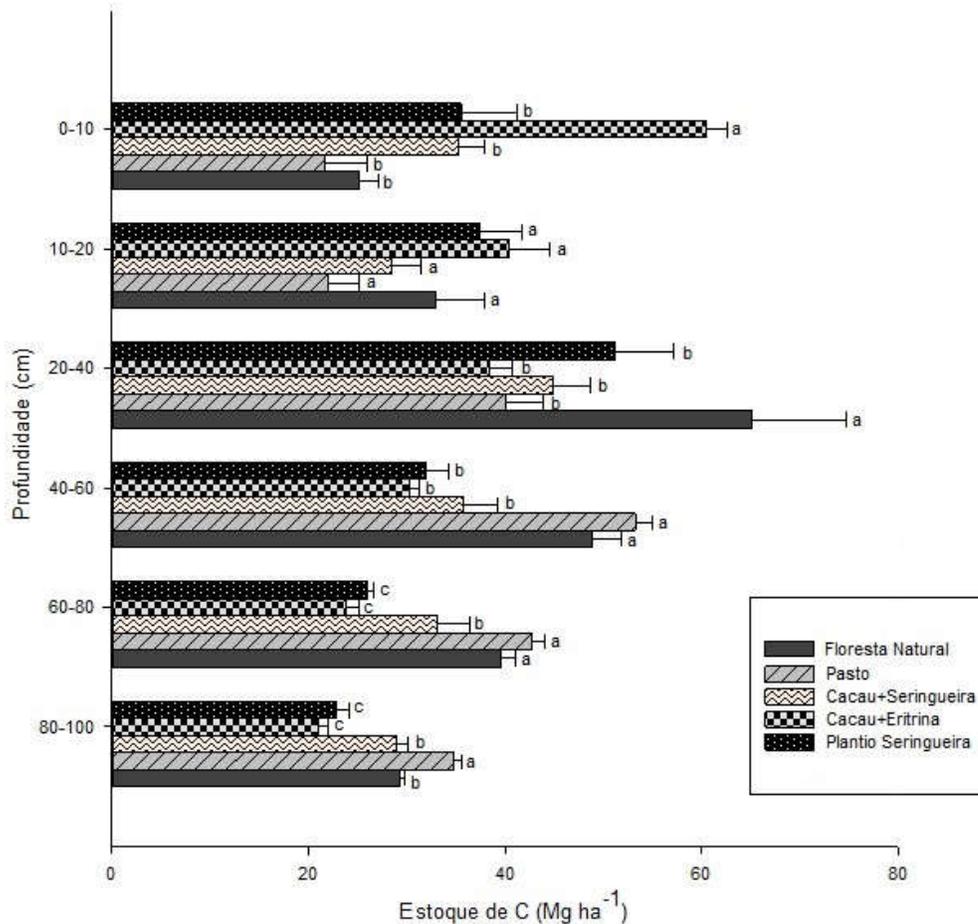
No entanto, quando essa conversão se dá para sistemas que introduzem espécies arbóreas, esse processo ocorre de forma menos impactante. Guo e Gifford (2002) compilaram diversos estudos disponíveis na literatura e mostraram que a conversão de áreas de cultivo em florestas aumentou o estoque total de C em 53%; Albrecht e Kandji (2003) relatam que os sistemas agrícolas nos quais são introduzidas espécies arbóreas e/ou animais, ou seja, os SAF's, possuem elevado potencial em armazenar C por longo período de tempo; Cerri et al. (2006) estimaram em seus estudos por meio de projeções que, de todo o potencial da floresta Amazônica em sequestrar C, cerca de 30% seriam acumulados pelo solo e os 70% restantes devido à biomassa aérea. Comprova-se, assim, a importância das árvores e do solo no processo de sequestro de C atmosférico. Carvalho et al. (2010) afirmam ainda que a preservação das vegetações nativas, assim como o reflorestamento em larga escala, são fundamentais, uma vez que as maiores quantidades de C no sistema solo-planta se encontram nesses ambientes.

Em estudos com SAF's de cacau no sul da Bahia, Gama-Rodrigues et al. (2010) encontraram um estoque de COS a 100 cm de profundidade equivalente a 302 Mg C ha<sup>-1</sup>; Cotta (2005), estudando SAF de cacau e seringueira, verificou um estoque de C equivalente a 91,54 Mg C ha<sup>-1</sup>; e Barreto et al. (2011), estudando SAF de cacau e eritrina, encontraram um estoque de CO equivalente a 93,79 Mg C ha<sup>-1</sup> na camada de 0-50 cm, ratificando o elevado potencial desses sistemas em armazenar C por longos períodos de tempo.

Ao analisar as profundidades separadamente, pode-se observar que na camada superficial (0-10 cm) houve diferença no estoque de COS entre o SAF cacau + eritrina e os demais sistemas estudados. No entanto, na camada abaixo (0-20 cm), os sistemas não apresentaram diferenças significativas entre si (Figura 2). Com isso, podemos inferir que todos os sistemas apresentam um acúmulo alto de matéria orgânica no solo nessa camada.

Os maiores valores de estoque de COS foram observados para a camada 20-40 cm, sendo que a floresta natural foi o sistema que mais estocou C nessa profundidade, o equivalente a uma média de 65 Mg ha<sup>-1</sup>, ao passo que os demais sistemas apresentaram estoques estatisticamente iguais. Na camada 40-60 cm, novamente a floresta natural e agora o pasto apresentaram estoque de COS no solo semelhantes, o equivalente a aproximadamente 53 Mg ha<sup>-1</sup> e 49 Mg ha<sup>-1</sup> respectivamente, não diferindo entre si e superiores aos demais sistemas estudados. Esses dados mostram que os solos sob pastagens bem manejadas podem estocar quantidades expressivas de C, assemelhando-se ao estoque da floresta natural.

De uma maneira geral, podemos observar que entre as profundidades de 20-60 cm houve uma tendência de aumento de C, principalmente na floresta natural e no pasto, o que podemos atribuir à ação das raízes finas, que também têm influência no acúmulo de CO no solo.



**Figura 2** – Estoque de COS em diferentes profundidades sob diferentes sistemas agroflorestais de cacau, plantio de seringueira, floresta natural e pasto no Sul da Bahia, Brasil. Letras iguais não diferem entre si estatisticamente pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade; as barras horizontais representam  $\pm$  erro-padrão.

De acordo com Montagnini e Nair (2004), as raízes representam uma parte importante do equilíbrio do C no solo, uma vez que parte do C assimilado pelas plantas é transferida para o solo através da decomposição das raízes e liberação de substâncias orgânicas (exsudatos radiculares). Para Moreira e Siqueira (2006), a decomposição das raízes representa a principal fonte de C para o solo em sistemas de vegetação rasteira, e, segundo Loss et al. (2011), a alta produção de palhada e

raízes por parte da braquiária pode levar a um aumento dos teores de C e melhorar as condições de aeração do solo.

Muñoz e Beer (2001) relatam em seus estudos estoque de biomassa de raízes finas equivalente a  $1,20 \text{ Mg ha}^{-1}$  em SAF de cacau com eritrina na Costa Rica. E, segundo Fontes et al. (2014), a biomassa de raízes finas nas camadas mais superficiais do solo nos sistemas de cacau pode chegar a atingir  $2,82 \text{ Mg C ha}^{-1}$ .

Assim como na camada anterior, na camada 60-80 cm a floresta natural e o pasto também apresentaram os maiores estoques de COS e não diferiram entre si. Em seguida, o maior estoque para essa profundidade foi observado no SAF cacau + seringueira, que se diferenciou dos demais sistemas. Já o SAF cacau + eritrina e a plantação de seringueira não apresentaram diferenças estatísticas entre si. Para a camada mais profunda, 80-100 cm, o pasto foi o sistema que apresentou maior acúmulo de COS no solo (média de  $34,83 \text{ Mg ha}^{-1}$ ), seguido da floresta natural ( $29,26 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) e do SAF cacau + seringueira ( $28,98 \text{ Mg ha}^{-1}$ ).

Monroe et al. (2016), estudando diferentes sistemas de uso da terra na mesma região desse estudo, comprovaram que o C encontrado no solo na área de pastagem sofria influência direta da gramínea apenas nas camadas até 40 cm do solo, ou seja, os autores detectaram forte influência nessas camadas do C-C<sub>4</sub>. Abaixo dessas camadas, as raízes das gramíneas, que são fasciculadas, ficam mais escassas e os autores observaram o predomínio de resíduos de plantas C<sub>3</sub> em comparação às camadas superficiais, provavelmente oriundo da vegetação nativa que existia antes da implantação do pasto. Ou seja, nas camadas mais profundas do solo, o C encontrado sofre influência da floresta nativa que ocupou a área anteriormente, explicando assim o alto acúmulo de C pela área de pasto nas camadas mais profundas do solo nesse estudo.

#### **4.2. Estoque de COS nas diferentes classes de agregados do solo até 1 metro de profundidade**

A floresta natural apresentou maior quantidade de macroagregados até os 100 cm de profundidade, sendo que entre 10-40 cm o pasto não diferiu da floresta natural (Tabela 2). Resultados semelhantes foram encontrados por Monroe (2015), pois, dentre os diversos sistemas de uso da terra estudados, tanto o pasto quanto a floresta natural apresentaram quantidades de macroagregados maiores na profundidade de 0-20 cm. Para a profundidade 40-60 cm, além destes dois sistemas, o plantio de seringueira também apresentou valor estatisticamente igual. Em geral, os SAF's apresentaram menor quantidade de macroagregado em todo perfil do solo (Tabela 2). Já no caso da floresta, o pasto e o plantio de seringueira apresentaram uma ligeira tendência de redução na quantidade de macroagregados com o aumento da profundidade.

De acordo com Junior et al. (2013), a predominância de macroagregados nos horizontes mais superficiais do solo e sua redução com o aumento da profundidade pode ser explicada pelo maior acúmulo de matéria orgânica nesses horizontes, fator de intensa participação na formação dessa classe de agregados e cujos teores vão reduzindo com o avanço da profundidade do solo.

Com relação aos microagregados, o plantio de seringueira apresentou maior quantidade em todo perfil. Os demais sistemas apresentaram uma tendência de aumento dos microagregados e também da fração silte + argila com o aumento da profundidade, de modo que a fração silte + argila apresentou uma variação de massa expressiva entre as coberturas em todas as profundidades, sendo mais significativa nos SAF's. Tanto para macro quanto para microagregados e fração silte + argila, estas tendências não foram tão definidas como, por exemplo, as observadas por Monroe (2015) e Vicente et al. (2016).

**Tabela 2** – Distribuição em profundidade da média das massas das diferentes classes de agregados de solos sob diferentes sistemas agroflorestais de cacau, plantio de seringueira, floresta natural e pasto no Sul da Bahia, Brasil. Letras iguais na linha não diferem entre si estatisticamente pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade.

| Profundidade (cm) | Classes ( $\mu\text{m}$ ) | Massa das frações (%) |                    |                     |                    |                        |
|-------------------|---------------------------|-----------------------|--------------------|---------------------|--------------------|------------------------|
|                   |                           | Floresta natural      | Pasto              | Cacau + seringueira | Cacau + eritrina   | Plantio de seringueira |
| 0-10              | 2000 – 250                | 77,46a                | 67,40b             | 16,11e              | 33,53d             | 57,19c                 |
|                   | 250 – 53                  | 15,65c                | 29,21b             | 27,92b              | 17,73c             | 36,75a                 |
|                   | $\leq 53$                 | 5,72b                 | 2,21b              | 51,41 <sup>a</sup>  | 42,02 <sup>a</sup> | 3,13b                  |
| 10-20             | 2000 – 250                | 73,16a                | 66,64 <sup>a</sup> | 9,07c               | 14,11c             | 52,95b                 |
|                   | 250 – 53                  | 19,15c                | 29,10b             | 28,15b              | 19,33c             | 40,21a                 |
|                   | $\leq 53$                 | 6,40b                 | 3,35c              | 53,96 <sup>a</sup>  | 56,60 <sup>a</sup> | 5,45b                  |
| 20-40             | 2000 – 250                | 59,67 <sup>a</sup>    | 55,70 <sup>a</sup> | 9,55c               | 10,02c             | 47,71b                 |
|                   | 250 – 53                  | 26,88b                | 35,49 <sup>a</sup> | 29,39b              | 15,63c             | 42,41a                 |
|                   | $\leq 53$                 | 10,75b                | 7,64c              | 51,60 <sup>a</sup>  | 59,65 <sup>a</sup> | 6,77c                  |
| 40-60             | 2000 – 250                | 51,97 <sup>a</sup>    | 43,42 <sup>a</sup> | 8,33b               | 6,45b              | 46,99a                 |
|                   | 250 – 53                  | 29,30b                | 38,92 <sup>a</sup> | 35,62 <sup>a</sup>  | 27,36b             | 41,06a                 |
|                   | $\leq 53$                 | 14,38b                | 14,52b             | 47,65 <sup>a</sup>  | 54,48a             | 9,08c                  |
| 60-80             | 2000 – 250                | 49,47 <sup>a</sup>    | 42,60b             | 7,10c               | 7,92c              | 39,86b                 |
|                   | 250 – 53                  | 29,91b                | 35,79b             | 32,14b              | 36,22b             | 46,53a                 |
|                   | $\leq 53$                 | 16,98b                | 18,90b             | 49,75 <sup>a</sup>  | 44,42a             | 10,76c                 |
| 80-100            | 2000 – 250                | 48,96 <sup>a</sup>    | 40,81b             | 6,64c               | 6,49c              | 41,36b                 |
|                   | 250 – 53                  | 29,82b                | 34,68b             | 40,56 <sup>a</sup>  | 37,37b             | 45,41a                 |
|                   | $\leq 53$                 | 18,05b                | 21,88b             | 44,48 <sup>a</sup>  | 43,63a             | 10,55c                 |

Analisando apenas as áreas de SAF's, pode-se observar que a distribuição dos macroagregados se deu de forma similar nas duas áreas e que a proporção dos microagregados no SAF cacau + seringueira foi maior do que no SAF cacau + eritrina, apesar de o SAF de cacau + seringueira ter menos da metade da idade do SAF cacau + eritrina (Tabela 2). Esses dados mostram que a seringueira promove maior agregação do solo.

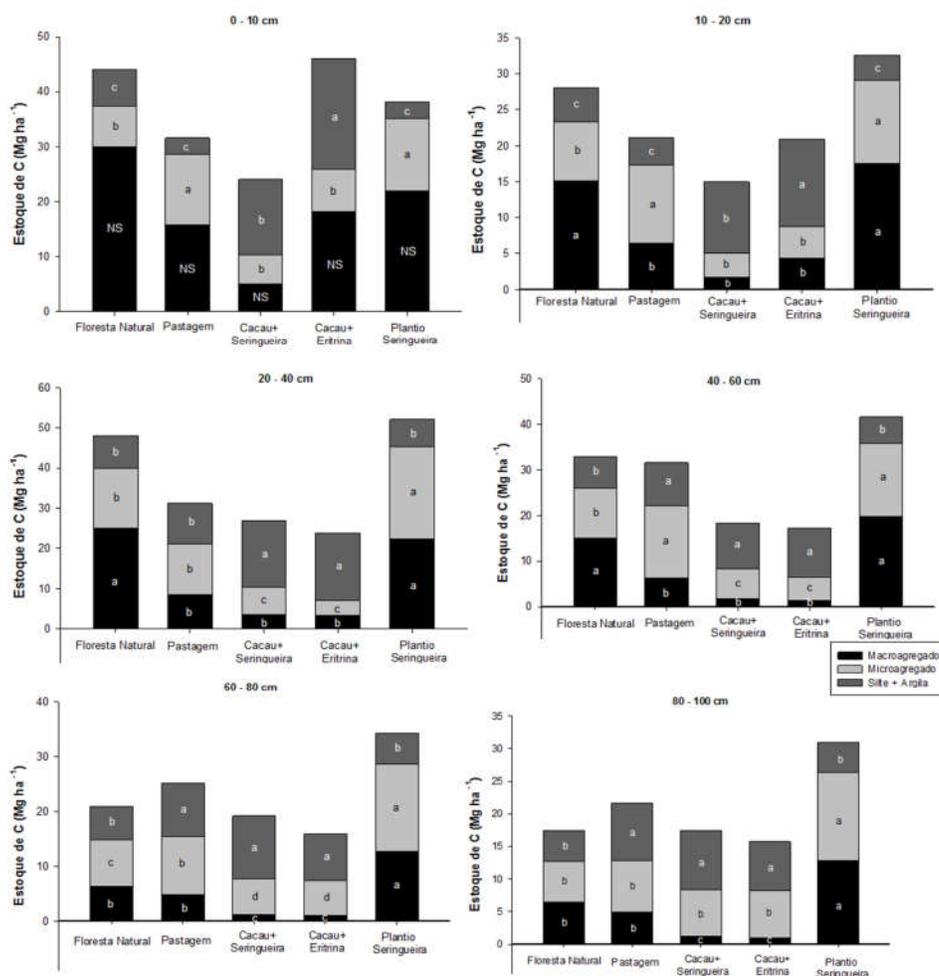
A fração silte + argila está intimamente relacionada com a granulometria do solo, sendo diretamente influenciada pelo percentual de argila de cada solo. Com isso, podemos observar que as áreas que apresentaram um percentual de argila

menor, como a floresta natural, o pasto e a plantio de seringueira (Tabela 1), foram também as que apresentaram o menor percentual de massa dessa fração. Já os sistemas agroflorestais cacau + seringueira e cacau + eritrina que apresentaram um alto teor de argila na granulometria foram os sistemas que apresentaram os maiores percentuais de massa para essa fração (Tabela 2).

Zinn et al. (2007) concluíram que os efeitos texturais e mineralógicos são extremamente importantes na retenção de COS dos solos tropicais. Esses autores, ao determinarem o COS nas diferentes frações (silte, argila e areia), em diferentes solos, concluíram que o C associado à argila é diretamente proporcional ao teor de argila no solo.

Com relação ao estoque de C dos agregados, a camada 0-10 cm dos macroagregados não apresentou diferença significativa entre os sistemas para o estoque de C, evidenciando que todos os sistemas estão estocando C de forma similar nesta classe (Figura 3). Este C provém provavelmente do grande acúmulo de serapilheira e do sistema radicular abundante presentes nesses sistemas, que são fatores que promovem a formação de macroagregados (GAMA-RODRIGUES et al., 2011). Nas profundidades de 10-20 até a 40-60 cm, os sistemas apresentaram um estoque de C similar nos macroagregados, em que os sistemas de plantio de seringueira e floresta natural foram os que apresentaram os maiores estoques de C nessa fração e foram estatisticamente iguais, seguidos dos demais sistemas, que não diferiram entre si.

Nas camadas 60-80 e 80-100 cm, o sistema que mais acumulou C nos macroagregados foi o plantio de seringueira, com o equivalente a aproximadamente 13 Mg ha<sup>-1</sup>, seguido do pasto e floresta natural, que não diferiram entre si. Os SAF's foram os sistemas que menos acumularam C nesta fração (Figura 3).

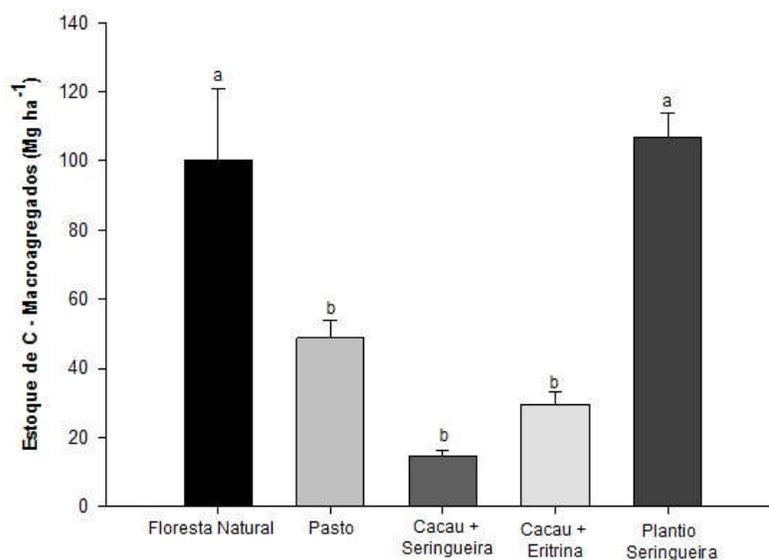


**Figura 3** – Distribuição do estoque de COS nas classes de agregados, em profundidade, nos diferentes sistemas agroflorestais de cacau, plantio de seringueira, floresta natural e pasto no Sul da Bahia, Brasil. Letras iguais não diferem entre si estatisticamente pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Apesar de as áreas de SAF's terem apresentado os valores mais baixos de estoque de C nos agregados neste estudo, a literatura comprova que esses sistemas são eficientes em estocar grandes quantidades de C. Gama-Rodrigues et al. (2010), estudando um SAF de cacau, observaram que os macroagregados eram a fração mais abundante no solo e que havia uma grande quantidade de C associada a essa fração na camada 0-100 cm, onde 70% desse C estavam ocluídos dentro dos macroagregados. De acordo com Six et al. (2004), sistemas conservacionistas, como os SAF's, apresentam uma ciclagem mais lenta, devido à

diminuição da quebra dos macroagregados e, conseqüentemente, do aumento da agregação do solo, levando a uma maior estabilização do C dentro dessas frações.

Observando o perfil como um todo (0-100 cm), os sistemas plantio de seringueira e a floresta natural foram os que mais acumularam C nos macroagregados (106,92 Mg ha<sup>-1</sup> e 100,20 Mg ha<sup>-1</sup> respectivamente) e não diferiram entre si (Figura 4). Esses valores representam 35,6% e 33,4% respectivamente. Ou seja, juntos esses dois sistemas estocaram 69% de todo o C estocado nos macroagregados até 100 cm aproximadamente. Os demais sistemas não diferiram entre si, sendo que o SAF cacau + seringueira foi o que apresentou o menor estoque para essa fração (14,79 Mg ha<sup>-1</sup>).



**Figura 4** – Estoque de COS nos macroagregados, na camada de 0-100 cm, em diferentes sistemas agroflorestais de cacau, plantio de seringueira, floresta natural e pasto no Sul da Bahia, Brasil. Letras iguais não diferem entre si estatisticamente pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade. As barras verticais representam  $\pm$  erro-padrão.

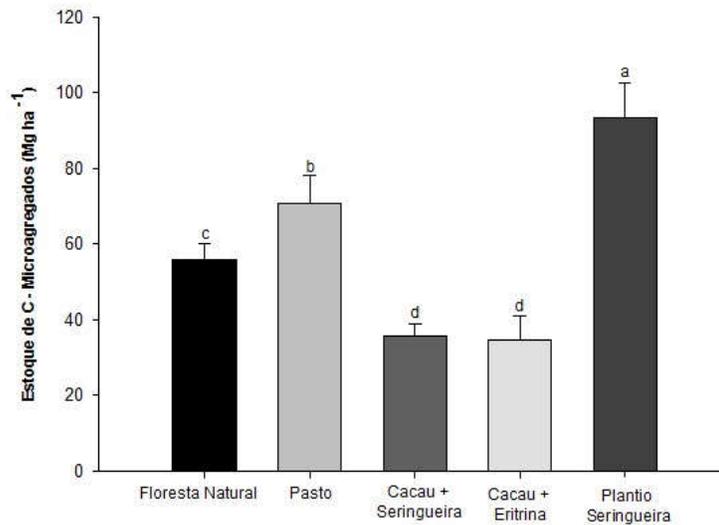
Devido ao SAF cacau + seringueira ser um sistema relativamente jovem, quando comparado aos demais sistemas estudados, é possível que os macroagregados que foram perdidos na implantação desse sistema ainda não tenham sido estabelecidos por completo, o que pode ter influenciado no baixo acúmulo de C nos macroagregados por parte desse sistema. De acordo com Six et al. (2000), com o revolvimento do solo os macroagregados ficam expostos,

resultando em uma perda de estabilidade e em um aumento no *turnover* desses agregados. Assim, o preparo do solo pode causar uma perda de macroagregados ricos em C e um ganho de microagregados empobrecidos em C.

Analisando o C dos microagregados, o plantio de seringueira foi o único sistema que apresentou estoque de C superior em todas as profundidades (Figura 3). Nos primeiros 20 cm, o plantio de seringueira e o pasto não diferiram entre si e foram os sistemas que mais acumularam C nessa fração (13,24 Mg ha<sup>-1</sup> e 12,94 Mg ha<sup>-1</sup> respectivamente), seguidos da floresta natural e dos SAF's cacau + seringueira e cacau + eritrina. Resultado semelhante foi observado na profundidade de 40-60 cm. Nas profundidades 20-40 e 60-80 cm, novamente o plantio de seringueira foi o sistema que mais estocou C, em média 23,06 Mg ha<sup>-1</sup>, seguido pelo pasto e floresta natural. Os SAF's foram os sistemas que menos estocaram C nestas profundidades. E, por fim, na camada de 80-100 cm, o plantio de seringueira apresentou estoque de C (13,51 Mg ha<sup>-1</sup>), superior aos demais sistemas que não diferiram entre si.

Six et al. (2004), afirmam que a matéria orgânica complexada dentro dos microagregados fica inacessível aos microrganismos e, conseqüentemente, protegida fisicamente. Assim, o C associado a essas frações fica estabilizado no solo em longo prazo. Logo, sistemas que conseguem estocar maiores quantidades de C nessa fração conseguem contribuir de forma significativa para maior fixação de C no solo e para a redução das taxas de lançamento desse C por parte das atividades agrícolas.

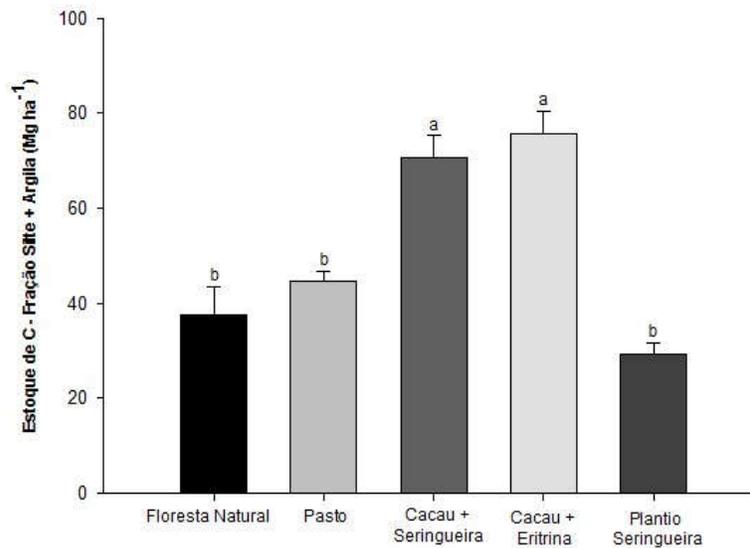
Ao observar o perfil como um todo na fração microagregado (0-100 cm), o plantio de seringueira, assim como nos macroagregados, foi o sistema que mais acumulou C, em torno de 94 Mg ha<sup>-1</sup>, seguido do pasto, que acumulou aproximadamente 71 Mg ha<sup>-1</sup> de C, representando em termos percentuais o equivalente a 32,1% e 24,4% do total acumulado, respectivamente. Ou seja, esses dois sistemas juntos acumularam em torno de 57% de todo o C acumulado na fração microagregado até 100 cm de profundidade. Já a floresta natural acumulou aproximadamente 56 Mg ha<sup>-1</sup>, representando 19,3% do total acumulado, e os SAF's de cacau + seringueira e cacau + eritrina não diferiram estatisticamente e foram os sistemas que menos acumularam C nessa fração (36 Mg ha<sup>-1</sup> e 35 Mg ha<sup>-1</sup> respectivamente), o equivalente a 12,3% e 11,9% em termos percentuais (Figura 5).



**Figura 5** – Estoque de COS dos microagregados, na camada de 0-100 cm, em diferentes sistemas agroflorestais de cacau, plantio de seringueira, floresta natural e pasto no Sul da Bahia, Brasil. Letras iguais não diferem entre si estatisticamente pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade. As barras verticais representam  $\pm$  erro-padrão.

Para a fração silte + argila, nos primeiros 20 cm de profundidade o SAF cacau + eritrina foi o que mais acumulou C nessa fração, seguido do SAF cacau + seringueira, enquanto os demais não diferiram entre si. A partir dos 20 cm, em geral, os SAF's e o pasto apresentaram os maiores estoques de C nesta fração e os demais sistemas apresentaram valores inferiores sem diferenças entre si (Figura 3).

Estudando o perfil do solo como um todo (0-100 cm), os SAF's cacau + eritrina e cacau + seringueira foram os sistemas que mais estocaram C na fração silte + argila, aproximadamente 76 Mg ha<sup>-1</sup> e 71 Mg ha<sup>-1</sup> respectivamente. Esses valores representam em termos percentuais 26,3% para cada sistema, ou seja, ambos acumularam o equivalente a 52,6% de todo o C estoque para a fração silte + argila a 100 cm de profundidade. Os demais sistemas não diferiram entre si (Figura 6).



**Figura 6** – Estoque de COS da fração silte + argila, na camada de 0-100 cm, em diferentes sistemas agroflorestais de cacau, plantio de seringueira, floresta natural e pasto no Sul da Bahia, Brasil. Letras iguais não diferem entre si estatisticamente pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade. As barras verticais representam  $\pm$  erro-padrão.

Com isso, percebe-se que a fração argila teve papel fundamental na acumulação de C nos microagregados e na fração site + argila nos solos de SAF's, uma vez que esses foram os solos que apresentaram os maiores teores de argila na granulometria (Tabela 1).

De uma maneira geral, o plantio de seringueira apresentou elevado potencial de sequestro de C nos agregados do solo, destacando-se dos demais sistemas estudados, o que ratifica o potencial dessa espécie como sequestradora de C e seus benefícios para o sistema climático global. Segundo Albrecht e Kandji (2003), o uso de espécies perenes nos sistemas de produção apresenta vantagens, pois, além de estocar o C por um período de tempo mais longo, a exploração dessas culturas possui outros fins, que não o corte, evitando assim emissões indesejadas de GEEs.

## 5. CONCLUSÕES

A conversão da floresta natural em sistemas sem revolvimento do solo e acumuladores de matéria orgânica não alteraram os níveis de estoque de CO dos solos.

Os percentuais de macroagregados, de uma maneira geral, diminuíram com a profundidade do solo e os de microagregados aumentaram, sendo que a classe de agregado mais dominante nos diferentes sistemas foi a dos macroagregados, responsáveis pelos maiores estoques de COS.

O plantio de seringueira foi o sistema que mais estocou C nos agregados, demonstrando a boa capacidade da espécie em acumular carbono e o seu potencial para utilização em serviços ambientais.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBRECHT, A.; KANDJI, S.T. Carbon sequestration in tropical agroforestry systems. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 99, 2003, p.15-27.
- ALVARADO, J. R.; VEIGA, J. B. da; SANTANA, A. C. Quantificação do carbono em sistemas de uso da terra no Distrito de José Crespo e Castillo, Peru. **Asociación Latinoamericana de Producción Animal**, v. 16, n. 3, 2008, p. 130-142.
- ALVES, R. T. Apresentação. In: ADUAN, R. E.; VILELA, M. de F.; KLINK, C. A. **Ciclagem de carbono em ecossistemas terrestres – o caso do cerrado brasileiro**. Embrapa, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento; Planaltina - DF, dez. 2003.
- ALVIM, R.; O cacauieiro (*Theobroma cacao* L.) em sistemas agrossilviculturais. **Agrotrópica**, Ilhéus, v. 1, n. 2, maio./ago. 1989, p. 89-103.
- ASSIS, R. L. de; LANÇAS, K. P. Agregação de um nitossolo vermelho distroférico sob sistemas de plantio direto, preparo convencional e mata nativa. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n.1, jan./fev. 2010, p. 58-66.
- BARRETO, A. C.; LIMA, F. H. S.; FREIRE, M. B. G. S.; ARAÚJO, Q. R.; FREIRE, F. J. Características químicas e físicas de um solo sob floresta, sistema agroflorestal e pastagem no Sul da Bahia. **Revista caatinga**, Mossoró, Brasil, v. 19, n. 4, 2006, p. 415-425.
- BARRETO, P. A. B. **Distribuição de frações orgânicas e conteúdo de C e N em solos sob Eucalipto de diferentes idades e Sistemas Agroflorestais de Cacau**. Campos dos Goytacazes – RJ: UENF, 2009, 96 p. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro.
- BARRETO, P. A. B.; GAMA-RODRIGUES, E. F.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; FONTES, A. G.; POLIDORO, J. C.; MOÇO, M. K. S.; MACHADO, R. C. R.; BALIGAR, V. C. Distribution of oxidizable organic C fractions in soils under cacao agroforestry systems in Southern Bahia, Brazil. **Agroforestry Systems**, v. 81, 2011, p. 213-220.
- BATISTA, I.; CORREIA, M. E. F.; PEREIRA, M. G.; BIELUCZYK, W.; SCHIAVO, J. A.; ROUWS, J. R. C. Frações oxidáveis do carbono orgânico total e macrofauna

edáfica em sistema de integração lavoura-pecuária. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 38, 2014, p. 797-809.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. (Ed.) **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2. ed. Porto Alegre: Cinco Continentes, 2008, p. 7-18.

BENACI, V. **Avaliação de métodos de análise para carbono orgânico em amostras de interesse agrônomo**. Campinas – SP, 2010. 63 p. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) – Instituto Agrônomo.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. São Paulo: Ícone, 1990.

BORGES, C. S.; RIBEIRO, B. T.; WENDLING, B.; CABRAL, D. A. Agregação do solo, carbono orgânico e emissão de CO<sub>2</sub> em áreas sob diferentes usos no Cerrado, região do Triângulo Mineiro. **Revista Ambiente e Água**, v. 10, n. 3, Taubaté – jul./sep., 2015.

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

CAMARGO, A. O. de; SANTOS, G. A. de; GUERRA, J. G. M. Macromoléculas e substâncias húmicas. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Ed. Genesis, 1999.

CARVALHO, J. L. N.; AVANZI, J. C.; SILVA, M. L. N.; MELLO, de C. R.; CERRI, C. E. P. Potencial de sequestro de carbono em diferentes biomas do Brasil. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 34, 2010, p. 277-289.

COMISSÃO EXECUTIVA DO PLANO DA LAVOURA CACAUEIRA – CEPLAC, 2010. Disponível em: <[http://www.ceplac.gov.br/radar/radar\\_cacau.htm](http://www.ceplac.gov.br/radar/radar_cacau.htm)>. Acesso em: 13 mar. 2015.

CERRI, C. E. P.; CERRI, C. C.; BERNOUX, M.; VOLKOFF, B.; RONDON, M. A. Potential of soil carbono sequestration in the Amazonian Tropical Rainforest. In: LAL, R.; CERRI, C. C.; BERNOUX, M.; ETCHEVERS, J.; CERRI, C. E. P. **Carbon sequestration in soils of Latin America**. New York: Haworth, 2006, p. 245-266.

CERRI, C. C.; CERRI, C. E. P. Agricultura e aquecimento global. **Boletim informativo Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, 2007, p. 40-44.

CORRÊA, F. L. de O. **Ciclagem de nutrientes em sistema agroflorestal com espécies frutíferas e florestais em Rondônia, Brasil**. Lavras – MG, 2005. 123 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras.

COSTA, F. de S.; BAYER, C.; ZANATTA, J. A.; MIELNICZUK, J. Estoque de carbono orgânico no solo e emissões de dióxido de carbono influenciadas por sistemas de manejo no Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 32, 2008, p. 323-332.

COSTA, P. M.; SILVA, N.; AUKLAND, L. Plantações e a mitigação de efeito estufa: análise resumida. [Rio de Janeiro]: 2000. Disponível em: <<http://www.ecosecurities.com/300publications.htm>>. Acesso em: 20 mar. 2015.

COSTA, E. M.; SILVA, H. F.; RIBEIRO, P. R. de A. Matéria orgânica do solo e o seu papel na manutenção e produtividade dos sistemas agrícolas. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer – Goiânia, v. 9, n. 17; p. 2013.

COTTA, M. K.; JACOVINE, L. A. G.; VALVERDE, S. R.; PAIVA, H. N.; VIRGENS FILHO, A. de C.; SILVA, M. L.; Análise econômica do consórcio seringueira-cacau para geração de certificados de emissões reduzidas. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 30, n. 6, 2006, p. 969-979.

COTTA, M. K. **Quantificação de biomassa e análise econômica do consórcio seringueira-cacau para geração de créditos de carbono**. Viçosa – MG, 2005. 101 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Viçosa.

DAWOE, E. K.; ISSAC, M. E.; QUASHIE-SAM, J. Litterfall and litter nutrient dynamics under cocoa ecosystems in lowland humid Ghana. **Plant and Soil**, v. 330, 2010, p. 55-64.

DELABIE, J. H. C.; ARGOLO, A. J. S.; JAHYNY, B.; CASSANO, C. R.; JARED, C.; MARIANO, C. S. F.; FARIA, D. M. de; SCHROTH, G.; OLIVEIRA, L. C.; LUCIO, C. B.; MOURA, R. T.; LACAU, S.; ROCHA, W. D. da. Paisagem cacauzeira no Sudeste da Bahia: desafios e oportunidades para a conservação da diversidade animal no século XXI. **Agrotrópica**, v. 23, n. 23, 2011, p. 107-114.

DIAS, L. A. S. Origem e dispersão de *Theobroma cacao* L.: um novo cenário. In: DIAS, L. A. S. (Ed.). **Melhoramento genético do cacaueteiro**. Viçosa: Funape, 2001, p. 81-127.

ELLIOT, E. T. Aggregate structure and carbon, nitrogen and phosphorus in native and cultivated soils. **Soil Science Society of America**, v. 50, 1986, p. 627–633.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Manual de métodos de análises de solo**. 2 Ed. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1997.

FEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DE MATO GROSSO DO SUL – FAMASUL. 2012. Disponível em: <<http://www.famasul.com.br>>. Acesso em: 15 mar. 2015.

FANCELLI, A. L. Culturas intercalares e coberturas vegetais em seringais. In: Simpósio sobre a cultura da seringueira no Estado de São Paulo, 1, 1986, Piracicaba. **Anais...** Campinas: Fundação Cargill, 1986, p. 229-243.

FERNANDES, T. J. G. **Contribuição dos Certificados de Emissões Reduzidas (CERs) na viabilidade econômica da heveicultura**. Viçosa – MG, 2003. 82 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Viçosa.

FERREIRA, F. A. **Patologia florestal: principais doenças florestais no Brasil**. Viçosa – MG: SIF, 1989.

FONTES, A.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; GAMA-RODRIGUES, E. F.; SALES, M. V. S.; COSTA, M. G.; MACHADO, R. C. R. Nutrient stocks in litterfall and litter in cocoa agroforests in Brazil. **Plant and Soil**, v. 383, 2014, p. 313-335.

GAMA-RODRIGUES, E. F.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; NAIR, P. K. R. Soil carbon sequestration in cacao agroforestry systems: a case study from Bahia, Brazil. In: **Carbon Sequestration Potential of Agroforestry Systems**. Advances in Agroforestry, v. 8, p. 85-99, 2011.

GAMA-RODRIGUES, E. F.; NAIR, P. K. R.; NAIR, V. D.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; BALIGAR, V.; MACHADO, R. C. R. Carbon storage in soil size fractions under two

cacao agroforestry systems in Bahia, Brazil. **Environmental Management**, v. 45, 2010, p. 274-283.

GARAY, I.; KINDEL, A.; CARNEIRO, R.; FRANCO, A. A.; BARROS, E.; ABBADIE, L. Comparação da matéria orgânica e de outros atributos do solo entre plantações de *Acácia madium* e *Eucalyptus grandis*. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 27, 2003, p. 705-712.

GATTO, A. **Estoques de carbono no solo e na biomassa de plantações de eucalipto na região centro-leste do estado de minas gerais**. Viçosa – MG, 2005. 88 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa.

GUO, L. B.; GIFFORD, R. M. Soil carbon stocks and land use change: a meta analysis. **Global Change Biology**, n. 8, 2002, p. 345-360.

INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS – IAC. 2014. Disponível em: <<http://www.iac.sp.gov.br/areasdepesquisa/seringueira/index.php>>. Acesso em: 15 mar. 2015.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC. **Climate change 2001: The scientific basis**. Cambridge: Cambridge University Press, 2001.

JACOVINE, L. A. G.; NISHI, M. H.; SILVA, M. L.; VALVERDE, S. R.; ALVARENGA, A. P. A seringueira no contexto das negociações sobre mudanças climáticas globais. In: ALVARENGA, A. P.; CARMO, C. A. F. S. (Ed). **Seqüestro de carbono: quantificação em seringais de cultivo e na vegetação natural**. Viçosa – MG, 2006.

JASTROW, J. D.; BOUTTON, T. W.; MILLER, R. M. Carbon dynamics of aggregate-associated organic matter estimated by carbono-13 natural abundance. **Soil Science Society of America**, v. 60, 1996, p. 801-807.

JUNIOR, R. C. de O.; SILVA, da A. D.; GALLO, J. OLIVEIRA, de D. R.; MARTINS, I. C. T.; TANABE, C. S. Estabilidade de agregados e superfície específica de solos do nordeste paraense. **Revista Espaço Científico**, v.14, n. 2, 2013.

LAL, R. Forest soils and carbon sequestration. **Forest Ecology and Management**. v. 220, 2005, p. 242-258.

LAL, R. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. **Geoderma**, v. 123, 2004a, p. 1-22.

LAL, R. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. **Science**, v. 304, 2004b, p. 1623-1627.

LAL, R. The potential of soil carbon sequestration in forest ecosystems to mitigate the greenhouse effect. **Soil Science Society of America Journal**, Special Publication, v. 57, 2001, p. 137-154.

LIMA, P. H. S. **O circuito espacial da produção de seringueira: a tecnologia e a Michelin como principal agente do circuito**. Salvador – BA, 2011. 108 p. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências da Universidade Federal da Bahia.

LIMA, A. M. N.; SILVA, I. R.; NEVES, J. C. L.; NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; MENDONÇA, E. S.; SMYTH, T. J.; MOREIRA, M. S.; LEITE, F. P. Soil organic carbon dynamics following afforestation of degraded pastures with eucalyptus in Southeastern Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 235, 2006, p. 219-231.

LOBÃO, D. E.; SETENTA, W. C.; VALLE, R. R. Sistema agrossilvicultural cacauero – modelo de agricultura sustentável. **Agrossilvicultura**, v. 1, n. 2, 2004, p. 163-173.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras – manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas do Brasil**. Nova Odessa: Ed. Plantarum, v. 1, 1998.

LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; GIÁCOMO, S. G.; PERIN, A.; ANJOS, L. H. C. dos. Agregação, carbono e nitrogênio em agregados do solo sob plantio direto com integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília – DF, v. 46, n. 10, 2011, p. 1269-1276.

MACEDO, R. L. G.; RONDON NETO, R. M.; TSUKAMOTO FILHO, A. A.; GRAVILANES, M. L. **Sistemas agrofloretais: arborização de pastagens**. Lavras – MG. (Boletim Agropecuário-35), 2000.

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

MARQUES, J. R. B.; MONTEIRO, W. R. **Adoção do sistema agroflorestal cacau x seringa - melhoria de concisões de cultivo e agregação de valores.** In: Semana do Fazendeiro, 28<sup>a</sup>. Uruçuca, BA, 2006, p. 9-14.

MARQUES, J. R. B.; MONTEIRO, W. R.; LOPES, U. V.; VALLE, R. R. O cultivo do cacau em sistemas agroflorestais com a seringueira. In: VALLE, R. R. (Ed.). **Ciência, tecnologia e manejo do cacau.** Brasília – DF, 2012, p. 437-465.

MARQUES, J. R. B.; MONTEIRO, W. R. **Novo enfoque sobre o cultivo da seringueira no estado da Bahia.** In: 22<sup>o</sup> Semana do Fazendeiro em Uruçuca – Ba, Agenda, Ilhéus-Ba, CEPLAC, 1997.

MARQUES, J. R. B.; MONTEIRO, W. R.; LOPES, U. V. Seringueira: uma opção econômica e ecológica para sombreamento de cacauzeiros. In: Congresso Brasileiro sobre sistemas agroflorestais, 4, 2002, Ilhéus. **Anais...** Ilhéus: CEPLAC/CEPEC, 2002.

MARQUES, J. R. B.; MONTEIRO, W. R. **Substituição da eritrina por outras espécies arbóreas de valor econômico – um enfoque sustentável de modernização agrícola,** 25<sup>a</sup> Semana do Fazendeiro. EMARC – Uruçuca – BA, 2003. Agenda Técnica - Produzir, Alimentar, Vender e Conservar. CEPLAC/EMARC, 2003, p. 143 – 147.

MARTINS, S. V.; RODRIGUES, R. R. Produção de serapilheira em clareiras de uma floresta estacional semidecidual no Município de Campinas, SP. **Revista Brasileira de Botânica,** São Paulo, v. 22, n. 3, 1999, p. 405-412.

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

MONROE, P. H. M.; GAMA-RODRIGUES, E. F.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; MARQUES, J. R. B. Soil carbon stocks and origin under different cacao agroforestry systems in Southern Bahia, Brazil. **Agriculture, Ecosystems and Environment,** v. 221, 2016, p. 99-108.

- MONTAGNINI, F.; NAIR, P. K. R.; Carbon sequestration: an underexploited environmental benedit of agroforestry systems. **Agroforestry Systems**, v. 61, 2004, p. 281-295.
- MORCELI, P. Borracha natural: perspectiva para a safra de 2004/05. **Revista de Política Agrícola**, ano XIII, n. 2, abr./maio/jun. 2004, p. 56-67.
- MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2 ed. Lavras – MG, Universidade Federal de Lavras, 2006.
- MULLER, M. W.; GAMA-RODRIGUES, A. C. Sistemas Agroflorestais com Cacaueiro. In: VALLE, R. R. (Ed.). **Ciência, tecnologia e manejo do cacaueiro**. Brasília – DF, 2012, p. 407-435.
- MULLER, M. W.; VIEIRA D. R.; MARQUES, J. R. B. Comportamento de clones de seringueira (*Hevea brasiliensis* M. Arg.) em sistema agroflorestal zonal com cacaueiro (*Theobroma cacao* L.) adensado em vertissolo no Recôncavo da Bahia. In: Congresso Brasileiro sobre sistemas agroflorestais, 4, 2002, Ilhéus. **Anais...** Ilhéus: CEPLAC/CEPEC, 2002.
- MUÑOZ, F.; BEER, J. Fine root dynamics of shaded cacao plantations in Costa Rica. **Agroforestry Systems**, n. 51, 2001, p. 119–130.
- OADES, J.M. Soil organic matter and structural stability: mechanisms and implications for management. **Plant and Soil**, v. 76, 1984, p. 319-337.
- PAUL, B.K.; VANLAUWE, B.; AYUKE, F.; GASSNER, A.; HOOGMOED, M.; HURISSO, T. T.; KOALA, S.; LELEI, D.; NDABAMENYE, T.; SIX, J.; PULLEMAN, M. M. Medium-term impact of tillage and residue management on soil aggregate stability, soil carbon and crop productivity. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 164, 2013, p.14-22.
- PAIXÃO, F. A. **Quantificação do estoque de carbono e avaliação econômica de alternativas de uso de um povoamento de eucalipto**. Viçosa – MG, 2004. 62 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Viçosa.
- PEREIRA, J. L.; ALMEIDA, L. C. C.; SANTOS, S. Witches' broom disease of cocoa in Bahia: attempts at eradication and containmennt. **Crop Protection**, v. 15, n. 8, 1996a, p. 743-752.

- PEREIRA, J. P.; DORETTO, M.; LEAL, A. C.; CASTRO, A. M. G.; BUCKER, N. A. **Cadeia produtiva da borracha natural: análise diagnóstica e demandas atuais no Paraná**. Londrina: IAPAR, (Documento 23), 2000.
- PEREIRA, M. F. S.; JÚNIOR, J. N.; SÁ, J. R. de; LINHARES, P. C. F.; NETO, F. B.; PINTO, J. R. de S. Ciclagem do carbono do solo nos sistemas de plantio direto e convencional. **Revista Agropecuária Científica no Semiárido (ACSA)**, v. 9, n. 2, , abr./ jun., 2013, p. 743-752.
- PEREIRA, A. V.; PEREIRA, E. B. C.; FIALHO, J. de F; JUNQUEIRA, N. T. V.; Seringueira em Sistemas Agroflorestais. Planaltina, DF. **Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados - CPAC; EMBRAPA**, n. 63, nov. 1996b.
- PIASENTIN, F. B.; SAITO, C. H. Os diferentes métodos de cultivo de cacau no sudeste da Bahia, Brasil: aspectos históricos e percepções. Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. **Ciências Humanas**, Belém, v. 9, n. 1, jan./abr. 2014, p. 61-78.
- REICOSKY, D.C.; LINDSTROM, M.J. Fall tillage method: effect on short-term carbon dioxide flux from soil. **Agronomy Journal**, v. 85, 1998, p. 1237-1243.
- REZENDE, M. B. **Matéria orgânica no solo**. Instituto Federal Goiano, Iporá – GO, 2012.
- RITA, J. C. O.; GAMA-RODRIGUES, E. F.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; POLIDORO, J. C.; MACHADO, R. C. R.; BALIGAR, V. C. C and N content in density fractions of whole soil and soil size fraction under cacao agroforestry systems and natural forest in Bahia, Brazil. **Environmental Management**, v. 48, 2011, p. 134-141.
- ROOS, J.; HOPKINS, R.; KVARNHEDEN, A.; DIXELIUS, C. The impact of global warming on plant diseases and insect vectors in Sweden. **European Journal of Plant Pathology**, v. 129, n. 1, 2011, p. 9-19.
- RUFINO, D. T. C. **Zoneamento Ecológico para o cultivo da seringueira no estado de Minas Gerais**. Viçosa – MG, 1986. 83 p. Tese (Doutorado em Meteorologia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa.

SÁ, T. D. A. Aspectos climáticos da heveicultura no Brasil. In: VIÉGAS, I. J. M.; CARVALHO, J. G. (Ed.). **Seringueira: nutrição e adubação no Brasil**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2000, p. 17-34.

SALATI, E. Sumário executivo. In: Seminário emissão x “seqüestro” de CO<sub>2</sub>: uma oportunidade de negócios para o Brasil. Rio de Janeiro - RJ, 1994. **Anais...** Rio de Janeiro: CVRD, 1994, p. 13-37.

SALES, K. R. do R. N. **Qualidade do carbono em frações da matéria orgânica e classes de agregados de solos sob sistemas agroflorestais de cacau por espectroscopia na região do infravermelho**. Campos dos Goytacazes – RJ: UENF, 2012, 89 p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro.

SALTON, J. C. **Matéria orgânica e agregação do solo na rotação lavoura-pastagem em ambiente tropical**. Porto Alegre – RS, 2005. 178 p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

SANTANA, M. A. E. Tratamento químico, propriedades físicas e mecânicas da madeira de seringueira e sua utilização em manufaturados. In: Ciclo de palestras sobre a heveicultura paulista, 1, Barretos, 1998. **Anais...** Brasília: LPF/IBAMA, 1998.

SANTI, A.; IMAGO, G. A.; DENARDIN, J. E. **Potencial de sequestro de carbono pela agricultura brasileira e a mitigação do efeito estufa**. Documento Embrapa, n. 78, 2007.

SANTOS, M. J. C. dos. **Avaliação econômica de quatro modelos agroflorestais em áreas degradadas por pastagem na Amazônia Ocidental**. Piracicaba – SP, 2000. 88 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

SENATORE, G.; MUÑOZ, A. I. Produção de cacau, panorama da cultura. Mercado & Negócios, **Agroanalysis**. p. 26, jan. 2013.

SILVA, J.E.; LEMAINSKI, J.; RESCK, D. V. S. Perdas de matéria orgânica e suas relações com a capacidade de troca catiônica em solos da região de Cerrados do oeste baiano. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 18, 1994, p. 541-547.

SILVA NETO, P. J. da. Classificação Botânica. In: SILVA NETO, P. J. da; MATOS, P. G. G.; MARTINS, A. C. S. de; SILVA, A. P. de (Org.). **Sistema de produção de**

**cacau para a Amazônia brasileira.** Ed. Ministério da Agricultura e do Abastecimento, Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira. 2001.

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

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

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

SOMARRIBA, E.; CERDA, R.; OROZCO, L.; CIFUENTES, M.; DÁVILA, H.; ESPIN, T.; MAVISOY, H.; ÁVILA, G.; ALVARADO, E.; POVEDA, V.; ASTORGA, C.; SAY, E.; DEHEUVELS, O. Carbon stocks and cocoa yields in agroforestry systems of Central America. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 173, 2013, p. 46-57.

SOUZA, C. A. S.; DIAS, L. A. dos S. Melhoramento ambiental e socioeconomia. In: **Melhoramento genético do cacaueiro.** Viçosa: FUNAPE, UFG, cap. 1, 2001, p. 1-47.

SCHROTH, G.; FONSECA, da G. A. B.; HARVEY, C. A.; GASCON, C.; VASCONCELOS, H. L.; IZAC, A.M N. **Agroforestry and Biodiversity Conservation in Tropical Landscapes.** Washington, DC. Island Press, 2004.

TAVARES, M. F. de F. **Agregação de valor no cacau: O caso da Cacau Show.** ESPM, jul., 2014.

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

TORRES, C. M. M. E.; JACOVINE, L. A. G.; NETO, S. N. de O.; BRIANEZI, D., ALVES, E. B. B. M. Sistemas agroflorestais no Brasil: uma abordagem sobre a estocagem de carbono. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 34, n. 79, jul./set., 2014, p. 235-244.

VICENTE, L. C.; GAMA-RODRIGUES, E. F.; GAMA-RODRIGUES, A. C. Soil carbono stocks of ultisols under different land use in the Atlantic rainforest zone of Brazil. **Geoderma Regional**, v. 7, 2016, p. 330-337.

VIRGENS FILHO, A. de C.; ALVIM R.; ARAÚJO, A. C. Plantio de cacauzeiros sob seringueiras adultas na região sul da Bahia. In: Conferência Internacional de pesquisas em cacau, 10, 1988, Santo Domingo. **Anais...** Santo Domingo, República Dominicana, 1988, p. 33-41.

VIRGENS FILHO, A. de C. Heveicultura como alternativa ao desenvolvimento sustentável. In: II Encontro Brasileiro de Heveicultura, Ilhéus-BA. **Anais...** Ilhéus-BA, MAPA/CEPLAC/CEPEC, 2010.

WOLF, R. Sistemas agroflorestais: potencial para sequestro de carbono e produção de outros serviços ambientais. In: Seminário de Agroecologia de Mato Grosso do Sul, 4., 2012, Glória de Dourados. **Anais...** Glória de Dourados: seminário de agroecologia de Mato Grosso do Sul, 2012, p. 1-5.

ZINN, Y. L.; LAL, R.; BIGHAM, J. M.; RESCK, D. V. S. Edaphic controls on soil organic carbon retention in the Brazilian Cerrado: Soil structure. **Forest, Range and wildland soils**, SSSAJ, v. 71, n. 4, July–August, 2007.