



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA - UFRA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

WALMIR RIBEIRO DE CARVALHO

**ESTOQUE DE CARBONO E FRACIONAMENTO FÍSICO DA MATÉRIA
ORGÂNICA DO SOLO SOB CULTIVO DE PALMA DE OLÉO (*Elaeis guineensis*) EM
SISTEMAS AGROFLORESTAIS NA AMAZÔNIA ORIENTAL**

BELÉM
2011



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA - UFRA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

WALMIR RIBEIRO DE CARVALHO

**ESTOQUE DE CARBONO E FRACIONAMENTO FÍSICO DA MATÉRIA
ORGÂNICA DO SOLO SOB CULTIVO DE PALMA DE ÓLEO (*Elaeis guineensis*) EM
SISTEMAS AGROFLORESTAIS NA AMAZÔNIA ORIENTAL**

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia: área de concentração Agronomia, para obtenção do título de Mestre em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Steel Silva Vasconcelos

BELÉM
2011

Carvalho, Walmir Ribeiro de

Estoque de carbono e fracionamento físico da matéria orgânica do solo sob cultivo de palma de óleo (*Elaeis guineensis*) em sistemas agroflorestais na Amazônia Oriental./ Walmir Ribeiro de Carvalho. – Belém, 2011.
69 f.

Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal Rural da Amazônia, 2011.

1. Sistema Agroflorestal. 2. Solo. 3. Carbono – Matéria orgânica. 4. Oléo de palma. 5. *Elaeis guineensis*. 6. Amazônia Oriental – Brasil. I. Título.

CDD – 634.9909811



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA - UFRA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

WALMIR RIBEIRO DE CARVALHO

**ESTOQUE DE CARBONO E FRACIONAMENTO FÍSICO DA MATÉRIA
ORGÂNICA DO SOLO SOB CULTIVOS DE PALMA DE ÓLEO (*Elaeis guineensis*)
EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS NA AMAZÔNIA ORIENTAL**

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte das exigências do programa de pós-graduação em Agronomia: área de concentração Agronomia, para obtenção de título de Mestre.

Aprovado em 18 de novembro de 2011.

BANCA EXAMINADORA

Pesquisador Dr. Steel Silva Vasconcelos - Orientador
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA

Pesquisador Dr. Osvaldo Ryohei Kato - 1º Examinador
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA

Professor Dr. Mário Lopes da Silva Júnior - 2º Examinador
Universidade Federal Rural da Amazônia - UFRA

Pesquisadora Dra. Maria de Lourdes Pinheiro Ruivo - 3º Examinador
Museu Paraense Emílio Goeldi - MPEG

Dedico,
À Erika Baker, minha esposa.
Aos meus filhos Artur, Carol e Renata.
Que dispensaram os momentos de convívio para
a conquista deste curso.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA) e todo seu corpo docente e funcionários, pela oportunidade oferecida.

À coordenação do Programa de Pós-Graduação, pela confiança e oportunidade oferecida.

Ao orientador, professor Dr. Steel Silva Vasconcelos, pela forma de condução da pesquisa.

Aos participantes da Banca Examinadora, pelo aceite ao convite.

Aos financiadores do projeto: Natura Inovação e Tecnologia de Produtos Ltda., Cooperativa Mista de Tomé-Açú (CAMTA), Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT) e Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA).

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), pelo acesso aos laboratórios de pesquisa.

Aos professores Dra. Herdjania Veras de Lima, Dr. Marcos André Gama, pelo aceite como aluno especial nas disciplinas por eles ministradas.

Aos professores do Programa de Pós Graduação em Agronomia, especialmente ao professor Dr. Rodrigo Otávio Rodrigues de Melo pelo excelente estágio de docência.

Ao professor Mário Silva Lopes Junior, pelo material bibliográfico que muito contribuiu para dissertação.

Ao Eng^o. Químico Dr. Orivan Maria Marques Teixeira responsável pelo Laboratório de Solos da Embrapa Amazônia Oriental, por todo o apoio dado nas análises de solo e empréstimo de material.

Ao Eng^o. Agrônomo pesquisador da NATURA, Carlos José Capela Bispo, pelo apoio logístico e participação direta na coleta das amostras.

Aos amigos: Eng^o. Agrônomos Willen Ramos Santiago, Carolina Melo da Silva, Elaine Santos, Gerson Albuquerque e Saime Rodrigues e aos graduandos Izabela Santos e Michel Martins, pela maratona na coleta das amostras.

Aos colegas do Programa de Pós Graduação, pela excelente convivência.

Aos funcionários do Laboratório de Ecofisiologia Vegetal: Cléo Marcelo de Araújo Souza, Neusa Maria da Silva Ferreira, Everson Rocha Lima e Ivanildo Alves Trindade.

Muito Obrigado!

“É dever de todos proteger e conservar o maior patrimônio nacional, pois a nação que destrói o seu solo, destrói a si mesma”.

Franklin Delano Roosevelt.

SUMÁRIO

RESUMO	8
ABSTRACT	9
1 CONTEXTUALIZAÇÃO	10
REFERÊNCIAS	14
2 ESTOQUE DE CARBONO NO SOLO EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS ASSOCIADOS AO CORTE-E-TRITURAÇÃO DA VEGETAÇÃO SECUNDÁRIA NA AMAZÔNIA ORIENTAL	16
RESUMO	16
ABSTRACT	17
2.1 INTRODUÇÃO	18
2.2 MATERIAL E MÉTODOS	22
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
2.4 CONCLUSÕES	33
REFERÊNCIAS	33
3 ESTOQUE DE CARBONO EM FRAÇÕES LEVES E PESADAS DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS JOVENS ASSOCIADOS AO CORTE-E-TRITURAÇÃO DA VEGETAÇÃO SECUNDÁRIA NA AMAZÔNIA ORIENTAL	48
RESUMO	48
SUMMARY	49
3.1 INTRODUÇÃO	49
3.2 MATERIAL E MÉTODOS	50
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	54
3.4 CONCLUSÃO	58
LITERATURA CITADA	59
CONCLUSÕES GERAIS	68

RESUMO: Sistemas agroflorestais, com adição de resíduos orgânicos, vêm sendo indicado pela pesquisa, na Amazônia Oriental, como uma das formas de recuperar áreas degradadas e fixar o produtor no campo. O manejo do carbono nesses sistemas pode contribuir de maneira efetiva para diminuir a emissão dos gases de efeito estufa (GEE), favorecendo a ciclagem de nutrientes. O objetivo desta pesquisa foi quantificar o estoque de carbono total e nas frações leves e associadas a minerais da matéria orgânica do solo. O estudo foi realizado na Amazônia Oriental, Nordeste do Pará, município de Tomé-Açu, Latossolo Amarelo, em área de agricultor familiar. Três sistemas de cultivo de palma de óleo em sistema agroflorestal e um sistema agroflorestal tradicional local foram comparados com um sistema de referência representado por uma floresta sucessional. Utilizou-se a técnica de preparo de área de corte e trituração manual e mecanizado, baseado nos princípios de plantio direto, sem o revolvimento do solo, nos sistemas com palma de óleo. Em todos os tratamentos, foram coletadas amostras de solo nas profundidades 0-5, 5-10, 10-20, 20-30 e 30-50 cm em locais diferentes. Foram separadas as frações densimétricas (leve livre e leve oclusa) e granulométricas (areia e silte+argila) para a determinação de teores de carbono por combustão em analisador elementar LECO CNS 2000. A trituração na implantação dos sistemas causou aumento da densidade do solo. O aporte de material orgânico da floresta sucessional à superfície do solo pela trituração, associada ao manejo orgânico dos sistemas agroflorestais com palma de óleo, aumentou significativamente a concentração de carbono nas camadas superficiais. As camadas superficiais apresentaram os maiores valores nas frações lábeis. A fração areia, pela sua grande massa, foi a que mais contribuiu para o carbono total. Sistemas de cultivo de palma de óleo em sistemas agroflorestais, associados a técnicas conservacionistas de preparo do solo e aporte de resíduos orgânicos, aumentaram em curto prazo o estoque de carbono no solo.

Palavras-chaves: Ciclagem de nutrientes, palma de óleo, estoque de carbono, Amazônia.

ABSTRACT: Agroforestry with input of organic residues has been suggested as a strategy to recover degraded areas and keep smallholders in rural areas in the Amazon. The management of carbon stocks in these systems can contribute effectively to reduce the emission of greenhouse gases (GHGs), favoring nutrient cycling. The objective of this research was to quantify labile and non-labile organic matter carbon stocks. The study was conducted in the eastern Amazon, Northeast of Pará, in the city of Tome-Acu, in a smallholder farm. We compared three slash-and-mulch agroforestry systems with oil palm and a traditional local agroforestry system with a 13-years-old successional forest, considered as reference in this study. In all treatments, soil samples were collected at depths of 0-5, 5-10, 10-20, 20-30 and 30-50 cm in different locations. Carbon concentration were determined for densimetric and granulometric soil organic matter fractions with an elemental analyzer LECO CNS 2000. Soil density increased with the conversion of successional forest to slash-and-mulch agroforestry systems. Inputs of organic matter through land preparation and organic fertilization contributed to increase soil carbon concentration in the oil palm systems. Surface soil were layers are the largest pools of labile fractions. The sand fraction was the largest contributor to total soil carbon. Slash-and mulch, oil palm-based agroforestry systems resulted in short term increase in soil carbon.

Keywords: Nutrient cycling, palm oil, carbon storage, Amazon.

1 CONTEXTUALIZAÇÃO

A mudança no uso da terra na Amazônia Oriental é um dos responsáveis pela emissão dos principais gases de efeito estufa dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O). Desmatamento, queima e posterior uso indiscriminado do solo têm levado à diminuição dos estoques de matéria orgânica e conseqüentemente, dos estoques de carbono e nutrientes, o que reduz a sustentabilidade dos agroecossistemas. Com objetivo de mitigar as emissões desses gases o protocolo de Quioto de 1997 estabeleceu limites e prazos para os países participantes assumirem compromissos, responsabilizando-se por implantar programas de pesquisa em busca de inventariar e mitigar as emissões antrópicas (IPCC, 2007).

Segundo Guo & Gifford (2002) o solo constitui compartimento chave no processo de emissão, estoque e seqüestro de carbono; quando manejado adequadamente, funciona como sumidouro de carbono. Mudanças inadequadas no uso do solo afetam fortemente o armazenamento de carbono. A quantificação dos estoques de carbono e o fracionamento físico da matéria orgânica no solo são importantes, portanto, para mensurar a dinâmica do carbono em sistemas de uso da terra. O fracionamento físico da matéria orgânica é indicado para identificar, em curto prazo, processos que estejam causando degradação dos solos (ELLIOTT & CAMBARDELLA, 1991; GREGORICH & ELLERT, 1993; GOLCHIN et al., 1997; FELLER & BEARE, 1997).

Os solos da Amazônia Oriental foram utilizados intensamente nos últimos 100 anos como resultado da exploração e desmatamento da floresta primária, extração madeireira, avanço da fronteira agrícola, agricultura de corte-e-queima e, posteriormente, implantação de pastagens. O monocultivo do dendê ou palma de óleo (*Elaeis guineensis*) foi uma das formas agressivas de exploração da floresta primária, concentrando-se no estado do Pará. A expansão da cultura da palma de óleo na Amazônia aumentou consideravelmente nas décadas de 80 e 90, incentivada por recursos oriundos de incentivos fiscais e subsídios do Governo Federal.

Na última década, com a justificativa de reflorestamento das áreas degradadas por pastagens e da inserção dos biocombustíveis na matriz energética do país, novo impulso vem sendo dado ao cultivo da palma de óleo. Desta vez, o governo está buscando inserir o produtor rural como ator da integração da agricultura familiar com a agroindústria dos biocombustíveis. O programa atual de biodiesel tem um viés social voltado para a inclusão de pequenos produtores na cadeia produtiva; os tributos federais incidentes sobre o biodiesel têm uma redução de quase 70% quando sua produção é feita a partir de matérias primas adquiridas da agricultura familiar (CARBONO, 2010).

A palma de óleo como planta perene arbórea apresenta grande potencial para absorver dióxido de carbono da atmosfera, podendo contribuir com a redução de emissão de carbono por meio da fixação deste elemento na biomassa. Estima-se que um hectare de palma de óleo, aos quinze anos, tenha sequestrado 35,87 Mg de carbono, o equivalente a 90 Mg de matéria seca (CEPLAC, 2011). Além disso, a palma de óleo apresenta a vantagem de somente necessitar de renovação a cada 25 anos, o que ajuda a fixar o homem no campo, e, conseqüentemente, diminui a pressão de abertura de novas fronteiras agrícolas.

No Brasil, em 2009, do total de 66.115 hectares plantados com palma de óleo; 61.805 hectares eram plantados no Estado do Pará, isso graças às excelentes características edafoclimáticas para o cultivo de palma de óleo, com produção de 907.063 Mg de cachos ano⁻¹ abriga a maior empresa da América Latina de processamento de óleo de palma (AGRIANUAL, 2009). Devido à alta produtividade de matéria seca, a palma de óleo tem sido recomendada também para a recuperação de áreas degradadas, que na Amazônia Oriental estão concentradas no Nordeste do Pará.

As terras do Nordeste do Pará foram degradadas em consequência da pressão demográfica, diminuição do tempo de pousio da vegetação secundária e utilização intensiva do solo com baixo nível tecnológico de exploração agrícola por agricultura familiar com um progressivo decréscimo da produtividade. Esse cenário de degradação requer estratégias de gestão de uso e ocupação do solo com finalidade de restabelecer o equilíbrio natural por meio do desenvolvimento de sistemas alternativos que sejam semelhantes à dinâmica da floresta (METZGER, 2003).

Por outro lado, o tipo de agricultura predominantemente praticado pelo agricultor familiar na Amazônia Oriental ainda é o sistema tradicional conhecido como agricultura itinerante, migratória ou de corte-e-queima, caracterizado pela alternância entre um ou dois ciclos de produção (culturas alimentares) com um longo período de pousio (cerca de dez anos), seguido da derruba e queima da vegetação na etapa de preparo da área (KATO et al., 1999; KATO et al., 2004; DENICH et al., 2005).

O sistema de corte-e-queima inicialmente pode prover satisfatoriamente a produtividade agrícola em escala familiar, pois além de ser uma técnica de baixo custo e pouca complexidade, a queima da vegetação disponibiliza por meio das cinzas os nutrientes acumulados na biomassa durante a etapa de pousio, mantendo níveis adequados de fertilidade do solo, além de prover um rústico controle fitossanitário por meio da queima (JUO & MANU, 1996; KATO et al., 1999).

Porém, em longo prazo, a agricultura itinerante pode ocasionar perdas significativas da capacidade produtiva do solo, especialmente com a diminuição do tempo de pousio (KATO et al., 1999; SOMMER et al., 2004), normalmente motivada por uma maior demanda por alimentos, levando muitas vezes o produtor a desbravar novas áreas para continuar produzindo (METZGER, 2003). Os repetidos ciclos de corte e queima da vegetação podem ocasionar uma degradação acelerada da matéria orgânica do solo, bem como, perdas significativas de nutrientes, seja por lixiviação, erosão, escoamento superficial ou volatilização (JUO & MANU, 1996; HOLSCHEER et al., 1997; SOMMER et al., 2004).

O programa do Governo Federal de Produção Sustentável de Óleo de Palma criou o Protocolo Sócio Ambiental para a Produção de Óleo de Palma, cujas regras incluem: a proibição do plantio em áreas desmatadas após 2006, combate à monocultura e integração da agricultura familiar entre os pequenos, médios e grandes produtores. Uma das empresas que assinou esse Protocolo vai investir mais de R\$ 900 milhões no estado do Pará até 2018, para abastecer o comércio do óleo de palma na região Norte, sendo que o excedente será usado para produzir o “greendiesel” para abastecer à Europa (BIODIESEL, 2011). Além disso, visando implantar sistemas sustentáveis essa mesma empresa estuda a aplicação do sistema de corte-e-trituração desenvolvido pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) no preparo das áreas de cultivo da palma de óleo. O sistema de trituração evita a queima, fertiliza o solo com a decomposição dos resíduos vegetais e reduz em cerca de 80% a emissão de CO₂ no preparo do solo comparado ao método tradicional de corte-e-queima (PARÁ, 2011).

O sistema alternativo de Corte-e-Trituração da vegetação secundária foi desenvolvido pelo projeto de cooperação Brasil-Alemanha SHIFT (Studies of Human Impacts on Forest and Floodplains in the Tropics) atualmente conhecido como Projeto Tipitamba. No sistema de trituração a vegetação secundária (capoeira) é cortada e triturada por um trator adaptado (TRITUCAP). O material triturado é deixado como cobertura sobre o solo (KATO et al., 1999), contribuindo para manter a capacidade de armazenamento de água, diminuir a erosão, evitar a perda de nutrientes pela queima, criar um ambiente favorável para desenvolvimento de microrganismos envolvidos na ciclagem de nutrientes, e permitir à intensificação do ciclo de cultivo (SOMMER et al., 2004).

A cidade de Tomé-Açu, localizada no Nordeste do Pará, vivenciou problemas fitossanitários na década de 60 pelo monocultivo da pimenta-do-reino (*Piper nigrum*). Como alternativa ao monocultivo implementou os sistemas agroflorestais (SAFs). Hoje conhecida, regionalmente, como a capital brasileira do biodiesel. Projetos estão sendo implantados na

região, recebendo incentivos do governo para promover a inserção da agricultura familiar na cadeia produtiva da palma de óleo inseridas em SAFs (BIODIESEL, 2011). Os SAFs são sistema conservacionista, indicados pela pesquisa nos trópicos, utilizado em larga escala no município de Tomé-Açu e em toda a Amazônia brasileira, abrindo novas perspectivas de um desenvolvimento sustentável para a região (LUIZÃO et al., 2006).

Os SAFs resultam na oferta de serviços ambientais como seqüestro de carbono, conservação do solo, ciclagem de água e nutrientes, colaborando com a manutenção da diversidade biológica em níveis similares aos de ecossistemas naturais. Além disso, sistemas agroflorestais apresentam outras vantagens reconhecidas como: combinação de produtos de mercado e subsistência, geração de um número maior de produtos e/ou serviços a partir de uma mesma unidade de área, diminuição da emissão de gases de efeito estufa associados às queimadas e aumento das chances de fixação do homem no campo.

O estudo da matéria orgânica nesses sistemas conservacionistas torna-se necessário, uma vez que matéria orgânica do solo é o principal reservatório de C da biosfera continental. Logo a dinâmica da matéria orgânica do solo pode influenciar o balanço de C do ecossistema, definindo o seu papel como fonte ou dreno de C. Para identificar as mudanças na ciclagem de carbono exige-se uma profunda compreensão dos compartimentos da matéria orgânica interdependentes (NIEDER & BENBI, 2008).

Mediante os assuntos em questão, esse estudo foi desenvolvido no Município de Tomé-Açu, nordeste do Pará, propondo responder a seguinte pergunta de pesquisa: O aporte de resíduos orgânicos, por diferentes tipos de preparo de área, contribui para o aumento do estoque de carbono do solo de cultivos de palma de óleo em sistemas agroflorestais? Para responder esta pergunta foram testadas as seguintes hipóteses: (a) diferentes forma de preparo de área influenciam no estoque de carbono e na densidade do solo em relação ao tratamento referência; (b) a fração silte + argila é a que mais contribui no estoque total de carbono no solo e, (c) o sistema de preparo mecanizado resultará maior estoque de carbono no solo em relação ao preparo manual.

O objetivo deste estudo foi quantificar o estoque de carbono total do solo e os associados às frações densimétricas e granulométricas da matéria orgânica do solo em cultivos da palma de óleo em sistemas agroflorestais.

REFERÊNCIAS

- AGRIANUAL, **Anuário da Agricultura Brasileira**, São Paulo: Instituto FNP, p. 308-310, 2009. 495p.
- BIODIESEL. **Agricultura Familiar, Emprego e o Lado Social do Biodiesel**. Disponível em: <<http://www.biodieselbr.com/biodiesel/social/aspectos-sociais.htm>> Acessado em: 21 ago. 2011.
- CARBONO BRASI, **Envolverde**, 2010. Disponível em: <<http://envolverde.com.br/index.php?s=CARBONO+BRASIL>> Acesso em: 23 mar. 2011.
- CEPLAC, Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira. **Dendê – Potencial para produção de energia renovável**, 2011. Disponível em: <http://www.ceplac.gov.br/radar/Artigos/artigo9.htm>. Acesso em: 05 mar. 2011.
- DENICH, M.; VLEK, P. L. G.; SÁ, T. D. de A.; VIELHAUER, K.; LÜCKE, W. A concept for the development of fire-free fallow management in the Eastern Amazon, Brazil. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 110, p. 43-58, 2005.
- ELLIOTT, E. T.; CAMBARDELLA, C. A. Physical separation of soil organic matter. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.34, p.407-419, 1991.
- FELLER, C.; BEARE, M. H. Physical control of soil organic matter dynamics in the tropics. **Geoderma**, v.79, p.69-116, 1997.
- GOLCHIN, A.; CLARKE, P.; BALDOCK, J.; HIGASHI, T.; SKJEMSTAD, J.; OADES, J. The effects of vegetation burning on the chemical composition of soil organic matter in a volcanic ash soil as shown by ¹³C NMR spectroscopy. II. Density fractions. **Geoderma**, v.76, p.155–174, 1997.
- GREGORICH, E. G.; ELLERT, B. H. Light fraction and macroorganic matter in mineral soils. In: CARTER, M. R. (Ed.). **Soil sampling and methods of analysis**. Boca Raton: Lewis, 1993. p. 397- 407.
- GUO, L. B.; GIFFORD, R. M. Soil carbon stocks and land use change: a meta analysis. **Global Change Biology**, v.8, p.345–360, 2002.
- HOLSCHER, D.; MOLLER, R. F.; DENICH, M.; FOLSTER, H. Nutrient input-output budget of shifting agriculture in Eastern Amazonia. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 47, p. 49-57, 1997.
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2007: The Physical Science Basis**, 2007 Disponível em: <http://www.ipcc.ch/scripts/_session_template.php?page=_33ipcc.htm.pdf>. Acesso em: 5 mar. 2011.

JUO, A. S. R.; MANU, A. Chemical dynamics in slash-and-burn agriculture. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.58, p. 49-60, 1996.

KATO, M. S. A.; KATO, O. R.; DENICH, M.; VLEK, P. L. G. Fire-free alternatives to slash-and-burn for shifting cultivation in the eastern Amazon region: the role of fertilizers. **Field Crops Research**, v. 62, p. 225-237, 1999.

KATO, O. R.; KATO, M. do S. A.; SÁ, T. D. de A.; FIGUEIREDO, R. D. O. Plantio direto na capoeira. **Ciência & Ambiente**. v. 29, p. 99-111, 2004.

LUIZÃO, F.J.; TAPIA-CORAL, S.; GALLARDO-ORDINOLA, J.; SILVA, G. C.; LUIZÃO, R. C. C.; TRUJILLO-CABRERA, L.; WANDELLI, E.; FERNANDES, E. C. M. Ciclos biogeoquímicos em agroflorestas na Amazônia. *IN: CBSAF.VI. 2006. Anais... Campos dos Goytacazes: UENF, 2006, p.87-98.*

METZGER, J. P. Effects of slash-and-burn fallow periods on landscape structure. **Environmental Conservation**, v. 30, p. 325-333, 2003.

NIEDER, R.; BENBI, D. K. **Carbon and nitrogen in the terrestrial environment**. Springer Science + Business Media B.V., 2008. 417p.

PARÁ. Agência Pará de Notícias. **A cultura do dendê**, 2011. Disponível em: <<http://agenciapara.com.br/>> Acessado em: 22 abr. 2011.

SOMMER, R.; VLEK, P. L. G.; SÁ, T. D. D.; VIELHAUER, K.; COELHO, R. D. R.; FOLSTER, H. Nutrient balance of shifting cultivation by burning or mulching in the eastern Amazon: evidence for subsoil nutrient accumulation. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v.68, n.3, p.257-271, 2004.

2. ESTOQUE DE CARBONO NO SOLO EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS ASSOCIADOS AO CORTE-E-TRITURAÇÃO DA VEGETAÇÃO SECUNDÁRIA NA AMAZÔNIA ORIENTAL

RESUMO: As mudanças de uso e a exploração desordenada da terra na Amazônia Oriental vêm causando alterações na qualidade do solo, demonstrado pelo decréscimo dos estoques de matéria orgânica. A adição de resíduos orgânicos ao solo, juntamente com sistemas agroflorestais, vem sendo indicado pela pesquisa como uma das formas de recuperar essas áreas degradadas e contribuir de maneira efetiva para diminuir a emissão dos gases de efeito estufa (GEE), favorecendo a ciclagem de nutrientes. O objetivo desta pesquisa foi quantificar o estoque de carbono total no solo associado ao corte e trituração da floresta secundária em sistemas agroflorestais, onde figura a palma de óleo (*Elaeis guineensis*) como espécie chave dos sistemas. O estudo foi realizado na Amazônia oriental, no nordeste do Estado do Pará, município de Tomé-Açu, Latossolo Amarelo distrófico em experimento conduzido desde 2007. O delineamento experimental foi inteiramente ao acaso, com cinco sistemas de uso do solo, sendo (a) três sistemas agroflorestais com palma de óleo utilizando técnica de preparo de área de corte e trituração manual e mecanizada, baseado nos princípios de plantio direto, (b) um SAF tradicional local oriundo do sistema de corte-queima e (c) uma área de referência representada por uma floresta sucessional de 13 anos. Em todos os sistemas foram coletadas amostras de solo nas profundidades 0-5, 5-10, 10-20, 20-30 e 30-50 cm para análise granulométrica e determinação da concentração de carbono por combustão em analisador elementar LECO CNS 2000. Os resultados mostraram que a conversão de floresta sucessional para sistemas agroflorestais com palma de óleo aumentou a densidade do solo, o acúmulo de material vegetal na superfície do solo pelo corte-e-trituração contribuiu para aumentar a concentração de carbono no solo nos primeiros 30 cm de profundidade e sistemas agroflorestais com palma de óleo apresentaram os maiores estoques de carbono no solo.

Palavras-chaves: estoque de carbono, palma de óleo, sistemas agroflorestais, Amazônia, Latossoloamarelo

SHORT-TERM SOIL CARBON STOCK CHANGES IN SLASH-AND-MULCH AGROFLORESTRY SYSTEMS IN EASTERN AMAZON

ABSTRACT: Land use changes have been altering soil quality in eastern Amazon, evidenced by the decrease of soil organic matter stocks. Input of organic residues and agroforestry systems have been shown by research as strategies of recovering degraded areas and contributing effectively to reduce the emission of greenhouse gases (GHGs), favoring nutrient cycling. The objective of this study was to quantify soil carbon stock in agroforestry systems that include oil palm (*Elaeis guineensis*) as keystone species. The study was carried out in the eastern Amazon region, north eastern Pará, in Tomé-Acú, in Yellow Oxisol, in an experiment conducted since 2007 by the Agricultural Research Corporation. The experiment were arranged in completely randomized design with five treatments: (a) three slash-and mulch, oil palm-based agroforestry systems, (b) one traditional local agroforestry system and (c) one reference area represented by a 13-year-old successional forest. In all treatments, soil samples were collected at depths 0-5, 5-10, 10-20, 20-30 and 30-50 cm for granulometric analysis and determination of soil carbon concentration with dry combustion using an LECO CNS 2000 elemental analyzer. Our results showed that: successional forest conversion to oil palm-based agroforestry systems increased soil density, slash-and-mulch systems contributed to increase soil carbon accumulation in superficial soil layers, and oil palm-based agroforestry systems increased soil carbon stock.

Keywords: palm oil, carbon storage, Amazon.

2.1 INTRODUÇÃO

Na Amazônia Oriental, existe atualmente uma expansão significativa de áreas cultivadas com a cultura do dendê (*Elaeis guineensis*) conhecida mundialmente como palma de óleo. O Brasil é o 11º produtor mundial de óleo de palma, com área plantada de 66.115 hectares (AGRIANUAL, 2009). O Estado do Pará se destaca como maior produtor nacional, com área plantada de 61.805 hectares e 50.206 ha em produção, representando mais de 90% da produção do país (PARÁ, 2011). Porém, a produção nacional não supre a demanda atual por óleo de palma.

O Governo Federal, em decorrência do crescimento interno e externo da demanda por biocombustíveis, está subsidiando o desenvolvimento sustentável das oleaginosas. Dessa forma, o Estado visa melhorar a distribuição de renda e inserir o pequeno produtor na cadeia produtiva do óleo de palma (BIODIESEL, 2011). O incentivo ao cultivo de palma de óleo está seguindo o novo modelo de exploração do Sudeste Asiático, apenas em áreas sem florestas ou áreas já desmatadas (OMONT, 2010).

No Pará, a expansão da palma de óleo objetiva recuperar áreas degradadas do Nordeste do Estado que há mais de um século sofre exploração de suas florestas, por meio da agricultura itinerante. Esse sistema agrícola se caracteriza por corte-e-queima da vegetação seguido de culturas alimentares por um período de 1-2 anos e pousio por 3-8 anos, caracterizando a paisagem com florestas sucessionais de várias idades, plantações e pastagens (SOMMER et al., 2000). A sustentabilidade do sistema de agricultura itinerante é mantido quando os períodos de pousio são suficientemente longos para repor os estoques de matéria orgânica e nutrientes (BRADY, 1996; NAIR et al., 2009).

O aumento da demanda por alimento tem levado a diminuição do tempo de pousio, causando a degradação do solo e conseqüentemente há perdas consideráveis de matéria orgânica por mineralização e erosão (ASSIS et al, 2006). Após a retirada da vegetação

natural, o solo tem mostrado alterações nas propriedades físicas, químicas e biológicas, dependentes das condições do solo, do clima, do tipo de cultura e das práticas culturais adotadas (MARCHIORI JR. & MELO, 2000). A matéria orgânica pode ser alterada com maior ou menor intensidade, dependendo do sistema de manejo, tornando-se o atributo mais sensível às transformações desencadeadas pelo mau uso do solo (PINHEIRO et al, 2004). A matéria orgânica é uma forte indicadora da qualidade do solo, estando diretamente relacionada com os atributos químicos, físicos e biológicos, pois além de ser uma importante fonte de nutrientes para as plantas, especialmente N, P e S, contribui para o aumento da capacidade de troca de cátions (CTC) e complexação de elementos tóxicos e micronutrientes; participa diretamente na formação e estabilização dos agregados do solo, favorecendo as demais propriedades físicas, como densidade, porosidade, aeração e capacidade de infiltração e retenção de água; também é uma fonte direta de carbono, energia e nutrientes para o crescimento e a atividade microbiana no solo. Dessa forma, é necessário o monitoramento da matéria orgânica, de forma que possam ser sugeridas modificações nos sistemas de manejo, a tempo de evitar sua degradação (MIELNICZUK, 2008).

Mudança de uso do solo, causam preocupações na comunidade científica, em ambientalistas e envolvem decisões políticas em nível nacional e internacional em busca da exploração sustentável de recursos naturais (CERRI et al, 2005). Sistemas de manejo que aumentem a adição de resíduos vegetais e a retenção de C no solo constituem-se em alternativas para aumentar a capacidade de dreno de carbono atmosférico e mitigação do aquecimento global (AMADO et al, 2001; BAYER et al, 2006, COSTA et al, 2008). Logo, a redução da fertilidade, devido à queima no preparo da área e exportação de nutrientes na colheita, está levando a degradação dos solos no nordeste do Pará, colocando o sistema itinerante de corte-e-queima sob pressão (DENICH et al, 2004).

Sendo assim, como solução sustentável no trópico úmido, foram implantados sistemas agroflorestais (SAFs) que surgiram como alternativa para evitar degradação ambiental pelo uso excessivo da terra, fixando o pequenos produtor no campo. Além do mais, podem seqüestrar carbono pela vegetação e solos dependendo da idade e sistema de uso (MUTUO et al., 2005).

No Brasil, muitos estudos mostram os benefícios dos SAFs: ciclagem de nutrientes; aumento da biodiversidade, favorecimento da fauna do solo; aporte de matéria orgânica (CARVALHO et al, 2004); aumento do estoque de carbono no solo (NEVES et al., 2004; OLIVEIRA, 2008) e aumento da capacidade de retenção de água no solo (SILVA, 2008). Sendo assim, a produção integrada de espécies florestais com cultivos agrícolas tem sido mostrada como alternativa potencial para regiões tropicais, sendo que a adoção de SAFs levará à formação de sistemas ecologicamente mais estáveis (YOUNG, 1990; GOODLAND, 1995).

O Painel Intergovernamental Sobre Mudança do Clima (IPCC 2000) estimou que 630 milhões de hectares no mundo, constituídos de lavouras, pastagens improdutivas e capoeiras, poderiam ser convertidos em sistemas agroflorestais com potencial para seqüestrar carbono e sugere que, globalmente, a maior área potencial para expandir as práticas agroflorestais e outras formas de intensificação do uso da terra está nas áreas consideradas degradadas nos trópicos úmidos.

Além dos SAFs, a pesquisa desenvolveu estudos sobre sistema alternativo para substituição da agricultura tradicional por sistemas de produção conservacionista. Baseado no sistema plantio direto (plantio na palha), surgiu a tecnologia da cobertura morta ou *mulch*, consistindo da trituração de biomassa da parte aérea de floresta sucessional em pousio e distribuição desse material sobre o solo (KATO, 1999; SOMMER et al., 2000; DENICH et al., 2004). A trituração apresenta as vantagens de proporcionar maior aproveitamento dos

nutrientes acumulados na biomassa aérea da capoeira; flexibilidade da época de preparo da área e plantio; maior retenção de umidade do solo; e proteção contra erosão, reduzindo o impacto das gotas de chuva e, conseqüentemente, o escoamento superficial (VIELHAUER et al., 1999). A palha também proporciona maior equilíbrio na temperatura do solo, evitando a incidência direta da luz solar.

Há bastante informação disponível sobre o efeito da técnica de corte-e-trituração (HÖLSCHER et al. 1997; KATO et al. 1999; KATO et al. 2004; KATO et al. 2006; BLOCH, 2006; DENICH et al. 2004; SOMMER, et al. 2000, SOMMER, 2000 SOMMER, 2004; SOMMER et al. 2004 ; WICKEL, 2004; SAMPAIO et al. 2008; LOPES et al. 2011). Porém, como se trata de tecnologia recente é necessário, portanto, monitorar os efeitos da manutenção dos resíduos triturados das florestas sucessionais sobre o solo a curto e longo prazo a fim de desenvolver técnicas de manejo mais adequadas sustentavelmente. Sabe-se que a maneira mais prática para aumentar a qualidade do solo é promover o melhor manejo da matéria orgânica com práticas baseadas no mínimo revolvimento do solo, como o plantio direto, e em sistemas de culturas com alto aporte de resíduos, empregando preferencialmente espécies diferentes (VEZZANI et al, 2008).

Com a crescente conscientização ambiental, mensurar os estoques de carbono vem sendo solicitado pela pesquisa. O solo constitui compartimento chave no processo de emissão e sequestro de carbono (KNORR et al., 2005). Para Lal (2004), o solo contém globalmente duas a três vezes mais carbono do que há estocado na vegetação e cerca de duas vezes o presente na atmosfera. Para se estimar o estoque de carbono globalmente é necessário conhecer seus quantitativos nos diferentes compartimentos. Considerando apenas a atmosfera e os ecossistemas terrestres, as estimativas elaboradas pelo IPCC evidenciam que há aproximadamente 750 Pg C na atmosfera ($1\text{Pg} = 10^{15}\text{g}$), 470 – 655 Pg C na vegetação e 1500 – 2000 Pg no solo até um metro de profundidade (CERRI et al., 2008).

Nesse contexto, o objetivo desta pesquisa é quantificar o estoque de carbono em Latossolo Amarelo, sob o manejo de corte-e-trituração em diferentes locais e profundidades figurando a palma de óleo em sistemas agroflorestais.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo - Este estudo foi realizado em uma das áreas experimentais do Projeto Dendê em Sistemas Agroflorestais na Agricultura Familiar, resultado da parceria entre Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), Natura Inovação e Cooperativa Agrícola Mista de Tomé-Açu (CAMTA). A área de estudo está situada em propriedade de agricultor familiar (02° 20' 59" de latitude sul e 48° 15' 36" de longitude a oeste de Greenwich), município de Tomé-Açu, no Pará, Amazônia oriental. O solo é classificado como Latossolo Amarelo (EMBRAPA, 1999), textura franco-arenosa nos primeiros 20 cm e franco argilo-arenosa entre 20 e 50 cm (Tabela 1). A caracterização química do solo está apresentada na Tabela 1.

O clima é classificado como tropical quente úmido (Am segundo a classificação de Köppen). Segundo dados obtidos no período de 1985 a 2010 pela Estação Climatológica da Embrapa Amazônia Oriental situada (Latitude: 02° 38' S, Longitude: 42° 28' W e Altitude: 45 m), a precipitação pluviométrica média anual de Tomé-Açu é 2.440 mm, sendo que 81% da precipitação anual concentra-se de dezembro a maio. A temperatura média anual é 26,3 °C, variando mensalmente entre 21,0°C e 33,8 °C, e o com brilho solar anual é 2.372,3 horas.

Histórico da área - Anteriormente à instalação do experimento, a respectiva área de estudo era coberta por floresta sucessional, com idade aproximada de 10 anos, formada após repetidos ciclos de corte e queima, para agricultura de subsistência (arroz – *Oryza sativa*, mandioca – *Manihot esculenta*, milho – *Zeamays* e feijão-caupi – *Vigna unguiculata*). Em setembro e outubro de 2007, houve corte e trituração da floresta sucessional em 6 ha

contíguos. Em 4 ha foi utilizada trituração mecânica com equipamento triturador tracionado por trator, enquanto que na área restante (2 hectares) a trituração foi manual, usando-se motosserra e facão. O material triturado foi depositado sobre o solo formando uma cobertura morta.

Sistema de uso e manejo da área – Em fevereiro de 2008, foram instalados três sistemas de cultivo de palma de óleo denominados de: (1) adubadeiras, com preparo mecanizado (ADUBAD); (2) sistema agroflorestal biodiverso, com preparo mecanizado (BIOMEK); e (3) sistema agroflorestal biodiverso, com preparo manual (BIOMAN). Nos três sistemas, foram plantadas linhas duplas de palma de óleo – *Elaeis guineensis* (espaçamento 7,5 m x 9 m) intercaladas por faixas (15 m) com nove linhas de plantio compostas de espécies herbáceas, arbustivas e arbóreas (Figura 1).

Em ADUBAD as faixas foram compostas de leguminosas: gliricídia (*Gliricidia sepium*), ingá (*Inga edulis*) e margaridão (*Tithonia diversifolia*). Nos sistemas biodiversos (BIOMEK e BIOMAN) houve plantio de feijão de porco (*Canavalia ensiformis*), feijão guandu (*Caján cajanus*), crotalária (*Crotalaria juncea*), mucuna cinza (*Mucuna cinereum*), margaridão, mandioca (*Manihot esculenta*), banana (*Musa spp*), cacau (*Theobroma cacao*), açai (*Euterpe oleracea*), gliricídia, ingá, tachi branco (*Sclerolobium paniculatum*), guanandi (*Calophyllum brasiliensis*), ipê (*Tabebuia spp.*) e bacaba (*Oenocarpus bacaba*). Outras espécies: patauí (*Oenocarpus bataua*), castanheira (*Bertholletia excelsa*), açai, cacau, jatobá – (*Hymenaea courbaril*), (ipê - *Tabebuia sp.*), mogno (*Swietenia macrophylla*), falso pau-brasil (*Adenantha pavonina*), andiroba (*Carapa guianensis*), feijão caupi (*Vigna unguiculata*), taperebá – *Spondias mombin L.*, bacaba (*Oenocarpus bacaba*), bacabi (*Oenocarpus mapora*) e fedegoso (*Cassia occidentalis*) foram incluídas em uma mistura de sementes em linhas de plantio espaçadas de 3 em 3 m nas faixas de BIOMEK e BIOMAN, com funções de adubação verde e atração de insetos predadores e polinizadores.

Baseado em análise do solo antes do plantio houve correção do solo com aplicação manual sobre a superfície de $1,3 \text{ Mg ha}^{-1}$ de calcário dolomítico. Na adubação de cova da palma de óleo foi utilizada uma combinação de fosfato natural (ARAD) com baixa reatividade no solo e moínha de carvão ($10 \text{ kg planta}^{-1}$); a adubação de manutenção foi feita em cobertura com 8 kg de composto orgânico por planta, constituído de resíduos orgânicos de agroindústria local de polpa de frutas (casca, sementes e resto de polpa). Em 2009, na adubação de manutenção em cobertura, foram utilizados por planta: 40 kg de composto orgânico, $1,0 \text{ kg}$ de farinha de osso e $1,0 \text{ kg}$ de torta de mamona. Na última adubação de 2010, antes da coleta das amostras neste estudo, foram aplicados por planta: $0,3 \text{ kg}$ de fosfato natural (ARAD), 1 kg de farinha de osso e 100 kg de cachos vazios de palma de óleo divididos em duas aplicações de 50 kg por planta.

Na faixa foi realizada adubação de cova semelhante aquela da palma de óleo. Em 2008, a adubação de manutenção constou de 10 kg de cama de frango e 20 kg de composto orgânico por planta. Nos demais anos não foi realizada adubação com compostos, a qual foi substituída pela adição de fitomassa oriunda do manejo da vegetação espontânea de poda das espécies adubadeiras.

O manejo da palma de óleo envolveu coroamento de 3 a 5 vezes ao ano e poda de limpeza (folhas velhas e danificadas) uma vez ao ano. Roçagem e poda geral dos sistemas foram realizadas de 3 a 4 vezes por ano e a vegetação espontânea na linha de plantio e nas entrelinhas foi roçada e distribuído na coroa da palma de óleo e na projeção da copa das mudas dos SAFs. A cada dois meses em 2009 e 2010, foi realizada de forma pontual a capina/roçada seletiva, que consistia em controlar determinadas espécies espontâneas agressivas, como, por exemplo, as gramíneas, deixando as espécies espontâneas de folhas largas.

Os sistemas de cultivo de palma de óleo foram comparados com um sistema agroflorestal tradicional de Tomé-Açu (SAFTA) e um fragmento remanescente da floresta sucessional (FLSUC) cortada e triturada no preparo da área, ambos adjacentes aos cultivos de palma de óleo. O SAFTA, formado em sequência à substituição do monocultivo de pimenta-do-reino (*Piper nigrum*) espaçamento 2 x 2 metros, após definhamento dessa cultura, implantada em 1997, após derruba e queima da floresta sucessional. Foi introduzido, em 2003, nessa área as culturas de cacau (*Theobroma cacao*) com espaçamento 4 x 4 metros com média de produção em 2010 de 5 Mg ha⁻¹, açaí (*Euterpe oleracea*) 4 x 5 m produzindo 3 Mg ha⁻¹ e mogno (*Swietenia macrophylla*) 16 x 16 m. Em 2007, a floresta sucessional, com aproximadamente 10 anos de idade, apresentava altura média do dossel de 15 m e densidade média de 520 árvores por hectare (árvores com diâmetro à altura do peito \geq 10cm) (Izildinha Sousa, comunicação pessoal). As espécies de maior ocorrência na floresta sucessional eram *Tapirira guianensis* Aubl., *Vismia guianensis* Aubl., *Inga alba* Willd. e *Apeiba burchelli* Sprague.

Coleta de amostras de solo- A coleta de amostras deformadas de solo foi realizada em agosto de 2010. Em cada tratamento com cultivo de palma de óleo, estabeleceram-se, ao acaso, 5 parcelas medindo 22,5 m x 18 m, de forma a incluir duas linhas de palma de óleo e uma faixa. Amostras de solo foram coletadas nas profundidades 0-5, 5-10, 10-20, 20-30 e 30-50 cm, utilizando-se trado tipo sonda, em diferentes locais: (a) projeção da copa de dendê, (b) entre plantas de dendê e (c) faixa (Figura 1). No SAFTA e no FLSUC a coleta de solo não seguiu um padrão espacial definido.

Em cada local de coleta por tratamento (ou sistema) foi coletada 1 amostra composta de 3 amostras simples cada. As amostras de solo foram conduzidas ao Laboratório de Ecofisiologia Vegetal da Embrapa Amazônia Oriental, onde foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneira de 2 mm para obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA). Cerca de 120 g

de TFSA de cada amostra foi usado para análises granulométrica e química (EMBRAPA, 1997) no Laboratório de Solos da Embrapa Amazônia Oriental.

Amostras indeformadas para determinação da densidade do solo foram coletadas em novembro de 2010. Em cada tratamento, escavaram-se 4 trincheiras medindo 120 cm de comprimento, 70 cm de largura e 70 cm de profundidade. Retiraram-se amostras indeformadas nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20, 20-30 e 30-50 cm de três faces internas da trincheira com auxílio de trado extrator e anéis de aço (Kopeck) de bordas cortantes com volume interno conhecido. A densidade do solo foi determinada pelo método do anel volumétrico (EMBRAPA, 1997), em que amostras indeformadas foram colocadas em estufa a 105°C até atingir peso constante. Os valores de densidade de solo foram utilizados no cálculo dos estoques de C no solo.

Estoque de C no solo - Para determinação da concentração de C total, cerca de 20 g de solo foram triturados em almofariz (pilão de porcelana) e tamisados em peneira de 0,25 mm (60 mesh), adquirindo características de pó. Em seguida, foi pesado aproximadamente 0,20 g com precisão de quatro casas decimais, para determinação da concentração de C por combustão a seco, com analisador elementar da marca LECO, modelo CNS 2000. O estoque de carbono total do solo foi calculado segundo Veldkamp (1994), em que: $EstC = (C_t \times D_s \times e)/10$, onde: EstC = estoque de carbono total em determinada profundidade ($Mg\ ha^{-1}$); C_t = teor de carbono orgânico total na profundidade amostrada ($g\ kg^{-1}$); D_s = densidade do solo na profundidade amostrada ($g\ cm^{-3}$); e = espessura da camada considerada (cm). Na comparação dos sistemas de cultivo de palma de óleo com a área de referência (FLSUC), os cálculos do estoque de C foram realizados por equivalência de massa da área de referência (SISTI et al., 2004). O acúmulo líquido de carbono do solo (ΔC) nos sistemas de plantio de palma de óleo foi estimado pela equação: $\Delta C = \text{Estoque C sistemas} - \text{Estoque C área de referência}$.

Análise estatística - Para avaliar o efeito de sistema de uso e local de coleta sobre o estoque de carbono do solo, nos sistemas somente com palma de óleo, foi usada análise de variância de 2 fatores (uso e local de coleta), enquanto que o efeito dos usos sobre o estoque de carbono do solo foi avaliado com análise de variância de 1 fator, tendo FLSUC como referência. Ambas análises foram feitas separadamente para cada profundidade. Para atender os pressupostos da análise paramétrica (PIMENTEL-GOMES & GARCIA, 2002), os dados foram transformados (logaritmo neperiano ou raiz quadrada) quando necessário. No entanto, são apresentados dados não-transformados em tabelas e figuras. Aplicou-se o teste de Tukey a 5 % para a comparação das médias dos diferentes sistemas de uso do solo.

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A concentração de carbono total do solo foi significativamente diferente entre tratamentos em todas as profundidades, exceto de 30-50 cm (Figura 2). De forma geral, a concentração de carbono foi menor no sistema agroflorestal (SAFTA) e na floresta sucessional do que nos sistemas com palma de óleo, embora sem diferença significativa em algumas profundidades (Figura 2).

Os sistemas com palma de óleo foram significativamente diferentes entre si somente nas profundidades 10-20 e 20-30 cm, com concentração de carbono significativamente maior no sistema ADUBAD em relação aos sistemas biodiversos. A partir de 30 cm de profundidade houve uma tendência de estabilidade na média dos teores de carbono ($8,3 \text{ g kg}^{-1}$) em todos os tratamentos, o que está de acordo com Pinheiro (2004), o qual afirmou que dependendo do tipo e uso do solo a concentração de carbono pode ser maior nos primeiros centímetros e mais uniforme em profundidade, assim como Cerri et al. (2004) relatou que devido aportes de material vegetal na superfície do solo há maior teor de carbono nas primeiras profundidades.

Em Latossolo Amarelo no nordeste do Pará, os teores de carbono total encontrados por Sampaio (2008), que variaram de 9,3 a 27,0 g kg⁻¹ (sistema de trituração), 9,1 a 16,5 g kg⁻¹ (corte-e-queima) e 8,6 a 19,4 g kg⁻¹ (floresta sucessional) nas profundidades de 20-30 a 0-10 cm respectivamente, são próximos aos encontrados neste experimento.

A densidade do solo diferiu significativamente entre sistemas em todas as profundidades (Figura 3). De forma geral, FLSUC e SAFTA apresentaram densidade menor do que os sistemas com palma de óleo, exceto de 0-20 cm, em que a densidade destes sistemas não diferiu significativamente de alguns sistemas de cultivo de palma de óleo.

Entre os sistemas com palma de óleo, não houve diferença significativa em relação à densidade do solo (Figura 3). Logo, embora tenha sido utilizado o maquinário na trituração mecanizada, esse manejo aparentemente causou o mesmo impacto que a trituração não mecanizada (manual). De forma geral, a densidade do solo variou de 0,90 ± 0,04 Mg m⁻³ (FLSUC) e 1,53 ± 0,02 Mg m⁻³ (BIOMECH) nas profundidades 0-5 e 30-50 cm respectivamente. Essa faixa de variação de densidade do solo está abaixo do limite acima do qual o crescimento radicular é restringido (REICHERT et al., 2003), isto é, 1,40 a 1,50 Mg m⁻³ para os franco-argilosos e 1,70 a 1,80 Mg m⁻³ para os franco-arenosos.

Diferenças significativas de densidade do solo nos sistemas de cultivo de palma de óleo em relação à FLSUC e SAFTA demonstram que houve ligeira alteração estrutural do solo nas maiores profundidades, intensificado pela mudança de textura em profundidade (solo mais argiloso) facilitando a compactação, causada possivelmente pela trituração desmatamento e mecanização no preparo de área. Castro Filho et al. (1998) e Hamza & Anderson (2005) afirmaram que o uso do solo com o movimento de máquinas, de implementos agrícolas, de pessoas, de animais e o cultivo intensivo promovem uma modificação na estrutura do solo em relação a condição original. No entanto, a densidade do solo no sistema de cultivo de palma de óleo sem mecanização (BIOMAN) não diferiu

significativamente dos sistemas com mecanização, provavelmente devido à maior porcentagem de areia na camada 0-10 cm do tratamento BIOMAN (Tabela 1). Por outro lado, o impacto da mecanização sobre o solo em ADUBAD e BIOMECA pode ter sido reduzido pela presença do material triturado sobre o solo. Segundo Braida et al. (2006) a alta quantidade de resíduos sobre a superfície do solo reduz o efeito negativo do tráfego de máquinas por absorverem parte da pressão exercida na superfície.

De forma geral, não foi possível identificar um padrão claro do efeito do tipo de sistema de cultivo de palma de óleo sobre o armazenamento de C do solo (Tabela 2), embora alguns resultados sugiram que o manejo dos sistemas afetou a variação espacial do estoque de C do solo. Houve efeito significativo de tratamento (camadas 10-20 e 20-30 cm) e da interação entre tratamentos e local de coleta (camadas 0-5 e 30-50 cm) sobre o estoque de C do solo. Na camada 0-5 cm, o estoque de C foi significativamente maior na projeção da copa e entre plantas de palma de óleo do que na faixa em ADUBAD, provavelmente devido à grande presença de raízes fasciculadas (finas) superficiais. Rasse et al. (2005) relataram que o crescimento das raízes da palma de óleo está diretamente relacionado com o aumento do estoque de carbono no solo. Possibilidade visível está relacionado à adubação de manutenção da palma de óleo que recebeu aporte de resíduos orgânicos equivalente a $151 \text{ kg planta}^{-1}$ ($14,95 \text{ Mg ha}^{-1}$) nos três anos anteriores à coleta das amostras de solo. Nos sistemas biodiversos o estoque de C foi significativamente maior na faixa, provavelmente devido ao aporte de matéria orgânica proveniente da adubação de manutenção das espécies dos SAFs que receberam nos três anos $30 \text{ kg planta}^{-1}$ de resíduos orgânicos, além do aporte de material vegetal proveniente das podas e capinas.

Na camada 30-50 cm, o estoque de carbono foi significativamente maior na projeção da copa de dendê em ADUBAD, possivelmente devido à decomposição e exsudatos do sistema radicular associado às renovações das raízes fasciculadas (velhas) mais grossas.

Kumar et al. (2006) afirmaram que a quebra de raízes e exsudados radiculares são depositados em sub-superfície, contribuindo para o aumento do carbono nessas camadas. O estoque de carbono na projeção da copa em ADUBAD foi significativamente maior do que nos sistemas biodiversos.

Nas camadas intermediárias 10-20 e 20-30 cm, o estoque de carbono foi significativamente maior em ADUBAD do que nos sistemas biodiversos, sendo que BIOMAN e BIOMECC não diferiram significativamente na camada 20-30 cm.

Comparando-se cada local de coleta entre sistemas de uso, observaram-se diferenças significativas no estoque de carbono nas profundidades 0-5 e 30-50 cm. Na primeira profundidade (0-5 cm), o estoque de carbono na faixa foi significativamente maior nos sistemas biodiversos do que no adubadeiras, possivelmente devido ao maior aporte de matéria orgânica na faixa dos sistemas biodiversos cujas espécies tinham maior biomassa. Na profundidade de 30-50 cm, o estoque de carbono na projeção da copa e entre plantas de dendê foi significativamente maior nos sistemas adubadeiras em relação aos sistemas biodiversos. Para Haron et al. (1998) comparações feitas entre sistemas de uso e locais fornecem tendência indicativa de variações quantitativas de matéria orgânica em diferentes lugares e a dinâmica do carbono é mais variável em espaço e tempo nas plantações de palma de óleo do que para a maioria das outras culturas arbóreas. De uma maneira geral observa-se que manejos em locais específicos do agroecossistemas podem ser utilizados como estratégia para aumentar os estoques de carbono no solo utilizando a cultura da palma de óleo (LAW et al. 2009).

Os estoques de C corrigido com base na massa do solo do sistema de referência (FLSUC) diferiram significativamente entre sistemas (ou entre tratamentos) em todas as profundidades (Tabela 3). Em relação à FLSUC, de maneira geral o estoque de carbono foi maior nos sistemas com dendê em todas as profundidades, porém sem diferença significativa na camada 0-5 cm e nas camadas 5-10, 20-30 e 30-50 cm para alguns sistemas (Tabela 3).

As diferenças de estoque de C seguiram geralmente um padrão: os sistemas com palma de óleo apresentaram médias mais altas do que FLSUC e SAFTA, com diferenças significativas ocorrendo principalmente nas camadas superiores (0-20 cm), com exceção de ADUBAD, cujo estoque de carbono foi significativamente maior do que de FLSUC entre 5 e 50 cm. Logo, a conversão da floresta sucessional em sistema de produção de palma de óleo resultou em aumento do estoque de C no solo. Mutuo et al. (2005) afirmaram que a reabilitação de solos agrícolas e pastos com SAFs em poucos anos aumentou os estoques de carbono na vegetação e no solo, como observado em experimentos de 25 anos em regiões tropicais (PALM et al., 2000; HAIRIAH et al., 2001), isso corrobora estudos de outros autores que constataram que a adoção de sistemas conservacionistas de manejo como plantio na palha resulta no aumento dos estoques de carbono total do solo, o qual é mais expressivo nas camadas superficiais do solo e é relacionado ao aporte anual de resíduos vegetais ao solo (BAYER et al., 2002; DIEKOW et al., 2005).

O estoque de C acumulado na camada de 0-10 cm não foi diferente entre os sistemas com palma de óleo (Tabela 3). Entre 10 e 30 cm de profundidade, o estoque de C foi maior em ADUBAD do que nos sistemas biodiversos. Essa diferença pode estar relacionada ao histórico da área distinto entre os sistemas.

No acumulado de todo o perfil do solo (0-50 cm) ADUBAD apresentou o maior estoque de C, seguido de BIOMECC, ambos com diferenças estatísticas significativas em relação a SAFTA e FLSUC. Dessa forma, a adição de resíduos vegetais provenientes da trituração da vegetação secundária e o manejo com adubação com resíduos orgânicos proporcionaram um aumento no estoque de carbono no solo.

O estoque de carbono do solo em florestas sucessionais na Amazônia Oriental está relacionado, na maioria dos estudos realizados na região, diretamente à sua textura, idade e tipo de solo. Na Amazonia Oriental, Silva Junior et al. (2009), estudando substituição de

floresta secundária de 8 a 10 anos por pastagens encontraram na floresta sucessional 34,5 Mg C ha⁻¹ de 0-10 cm em Latossolo argiloso. Esse valor elevado do estoque de carbono nessa profundidade no estudo de Silva Junior et al. (2009) provavelmente se deve à textura mais argilosa do solo, cujos mecanismos de adsorção e ligações químicas diversas na superfície das argilas (ex.: pontes catiônicas e de hidrogênio, interações eletrostáticas, forças de Van der Waals) tornam os resíduos orgânicos mais resistentes ao ataque microbiano, sendo apontados como uma das razões para o elevado acúmulo de carbono em solos argilosos (HASSINK & WHITMORE, 1997; SCHULTEN & LEINWEBER, 2000). Por outro lado, Bernoux et al. (1999) estudando uma cronossequência de solos em Paragominas (PA) em Latossolos argilosos em floresta sucessional com 10 anos, encontrou valores de 20,4 Mg C ha⁻¹ na camada de 0-10, próximo aos valores encontrados nesse estudo. Além da influência da textura do solo, a variação do estoque de carbono no solo em florestas sucessionais depende em grande parte do histórico de uso prévio do solo, que afeta o acúmulo de biomassa (ZARIN et al. 2005) e, conseqüentemente, a ciclagem de carbono.

Analisando-se as variações do estoque de carbono nos sistemas de uso (Figura 4) em relação à floresta sucessional (FLSUC), observa-se que os sistemas com palma de óleo sob trituração apresentaram, após três anos de plantio, valores positivos de acúmulo líquido de carbono no solo. Logo, os sistemas de corte-e-trituração foram eficientes em armazenar o carbono oriundo principalmente do elevado aporte de carbono ao solo decorrente do preparo de área, assim como do manejo da matéria orgânica nos sistemas. No entanto, deve-se avaliar as frações da matéria orgânica nas quais o acúmulo líquido de carbono ocorreu, visto que diferentes frações apresentam tempos de residência variados (DUXBURY et al., 1989; JANZEN et al., 1992).

Todavia, o SAFTA, formado há sete anos pelo sistema de corte-e-queima, apresentou um acúmulo líquido de carbono levemente negativo em relação à FLSUC. Logo, sistemas

agroflorestais tradicionais da região, baseados em queima no preparo de área e arranjo de espécies com cacau (*Theobroma cacao*), açai (*Euterpe oleracea*) e pimenta-do-reino (*Piper nigrum*), aparentemente tem limitado potencial em mitigar efeitos das mudanças climáticas. No entanto, SAFs mais antigos ou com arranjo de espécies diferentes aparentemente são capazes de restaurar os estoques de carbono do solo. Por exemplo, o estoque de carbono do solo até 50 cm de profundidade em SAFs de 9 e 14 anos (média = $85,19 \pm 4,12 \text{ Mg ha}^{-1}$), com arranjos de espécies diferentes, não diferiu significativamente daquele medido em floresta sucessional de aproximadamente 30 anos (média = $97,89 \pm 2,3 \text{ Mg ha}^{-1}$) em Tomé-Açu (BRANCHER, 2010).

2.4 CONCLUSÕES

1. O acúmulo de material vegetal na superfície do solo pelo corte-e-trituração aumenta a concentração de carbono no solo nos primeiros 30 cm de profundidade.
2. Sistemas agroflorestais com trituração, onde figura a palma de óleo, apresentam os maiores estoques de carbono.
3. Sistemas de uso e manejo do solo com corte-e-trituração funcionam como armazenadores de carbono no solo.

REFERÊNCIAS

AGRIANUAL, AGRIANUAL, *Anuário da Agricultura Brasileira*, São Paulo: Instituto FNP, p. 308-310, 2009. 495p..

AMADO, T.J.C.; BAYER, C.; ELTZ, F.L.; BRUM, A.C.R. Potencial de culturas cobertura em acumular carbono e nitrogênio no solo no plantio direto e a melhoria da qualidade ambiental. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.25, p.189-197, 2001.

ANDREUX, F. & CERRI, C.C. Current trends in the research on soil changes due to deforestation, burning and cultivation in the Brazilian tropics. *Toxicological and Environmental Chemistry*, v.20, p.275-283, 1989.

ASSIS, C.P.; JUCKSCH, I.; MENDONÇA, E. de S.; NEVES, J. C. L. O uso intensivo e o manejo inadequado do solo podem propiciar perdas consideráveis de matéria orgânica do solo, por mineralização e erosão hídrica. *Pesquisa agropecuária brasileira*, Brasília, v.41, n.10, p.1541-1550, 2006.

BAYER, C.; DICK, D.P.; RIBEIRO, G.M.; SCHEUERMANN, K.K. Carbon stocks in organic matter fractions as affected by land use and soil management, with emphasis on no-tillage effect. *Ciência Rural*, v.32, p.401-406, 2002.

BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A.; DIECKOW, J. Carbon sequestration in two Brazilian Cerrado soils under no-till. *Soil and Tillage Research*, v.86, p.237-245, 2006.

BERNOUX, M.; CERRI, C.C.; NEILL, C.; MORAES, J. L. The use of stable carbon isotopes for estimating soil organic matter turnover rates. *Geoderma*, v.82, p.43-58, 1998.

BIODIESEL. *Agricultura Familiar, Emprego e o Lado Social do Biodiesel*. Disponível em: <<http://www.biodieselbr.com/biodiesel/social/aspectos-sociais.htm>> Acessado em: 21 ago. 2011.

BLOCK, A. Göttinger Mähhäcksler Tritucap, und Forstmulcher – nicht brennend Flächenvorbereitung AM Beispiel der Zona Bragantina, Nor- Ost- Amazonien, Brasilien. In: COSTA, F. de A.; HURTIENNE, T.; KAWAGE, C. *Inovações e difusão tecnológica para a sustentabilidade da agricultura familiar na Amazônia*. Resultados e implicações do projeto SHIFT Socioeconomia. Belém: UFPA/Naea, 2006.

BRADY, N.C. Alternatives to slash-and-burn: a global imperative. *Agriculture Ecosystems Environment*, v.58, p.3-11, 1996.

BRAIDA, J. A.; REICHERT, J.; VEIGA, M.; REINERT, D. J. Resíduos vegetais na superfície e carbono orgânico do solo e suas relações com a densidade máxima obtida no ensaio de Procto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. v.30, p.605-614, 2006.

BRANCHER, T. *Estoque e ciclagem de carbono de sistemas agroflorestais em Tomé-Açu, Amazônia Oriental*. (Mestrado em Ciências Ambientais) - Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais – PPGCA, Universidade Federal do Pará – UFPA. Belém, 2010.

BRASIL. Biodiesel, Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel. Disponível em: <<http://www.biodiesel.gov.br/>>. Acesso em: 05 abr. 2011.

BURLE, M. L.; MIELNICZUK, J.; FOCCHI, S. Effect of cropping systems on soil chemical characteristics, with emphasis on soil acidification. *Plant and Soil*, v.190, p.309-316, 1997.

CARVALHO, R.; GOEDERT, W. J.; ARMANDO, M. S. Atributos físicos da qualidade de um solo sob sistema agroflorestal. *Pesquisa agropecuária brasileira*, Brasília, v. 39, n. 11, p.1153-1155,2004.

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

CERRI, C.C.; BERNOUX, M. C.E.P. e FELLER, C. Carbon cycling and sequestration opportunities in South America: the case of Brazil. *Soil Use and Management*, v.20, p.248-254, 2004.

CERRI, C.C.; MELILLO, J.M.; FEIGL, M.C.; PICCOLO, M.C.; NEILL, C.; STEUDLER, P.A.; CARVALHO, M. da C.S.; GODINHO, V.P.; CERRI, C.E.P.; BERNOUX, M. Prospects for sustainable development and a first look at the biogeochemical consequences of pasture reformation. *Agriculture*, v. 34, n4, p. 215-223, 2005.

CERRI, E. P. C.; CERRI, C. C.; FEIGL, B. J.; PICCOLO, M. de C.; BERNOUX, M. Agricultura e mudanças climática. IN: BUCKERIDGE, M.S.Org. *Biologia e mudanças climáticas no Brasil*. São Carlos: RIMA, 2008.

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

DENICH, M.; VIELHAUER, K.; KATO, M. S.de A.; BLOCK, A.; KATO, O. R.; SÁ, T. D. de A.; LUKE, W.; VLEK, P.L.G. Mechanized land preparation in forest-based fallow systems: The experience from Eastern Amazonia. *Agroforestry Systems*, v.61, p.91-106, 2004.

DIEKOW, J.; MIELNICZUK, J.; KNICKER, H.; BAYER, C.; DICK, D.P. & KÖGEL-KNABNER, I. Soil C and N stocks as affected by cropping systems and nitrogen fertilization in a southern Brazil Acrisol managed under no-tillage for 17 year. *Soil and Tillage Research*, v.81, p.87-95, 2005.

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

DENICH, M.; VIELHAUER, K.; KATO, M. S.de A.; BLOCK, A.; KATO, O. R.; SÁ, T. D. de A.; LUKE, W.; VLEK, P.L.G. Mechanized land preparation in forest-based fallow systems: The experience from Eastern Amazonia. *Agroforestry Systems*, v.61, p.91-106, 2004.

DIEKOW, J.; MIELNICZUK, J.; KNICKER, H.; BAYER, C.; DICK, D.P. & KÖGEL-KNABNER, I. Soil C and N stocks as affected by cropping systems and nitrogen fertilization in a southern Brazil Acrisol managed under no-tillage for 17 year. *Soil and Tillage Research*, v.81, p.87-95, 2005.

DUXBURY, J. M.; DORAN, J. W. Soil organic matter as source and sink of plant nutrients. In: COLEMAN, D. C. et al.(eds.) *Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems*. Honolulu: Niftal project, 1989. P.33-67.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Manual de métodos de análises de solo*. Rio de Janeiro, 1997. 212p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. Rio de Janeiro, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1999. 412p.

GIARDINA, P.C.; SANFORD Jr.R.L.; DOCKERSMITH, I.C e JARAMILLO, V. J.The effects of slash burning on ecosystem nutrients during the land preparation phase of shifting cultivation. *Plant and Soil*, v.220, p.247-260, 2000.

GOODLAND, R.G. The concept of environmental sustainability *Annual Review of Ecology and Systematics*, v.26, p.1-25, 1995.

HAIRIAH, K.; SITOMPUL, S.M.; VAN NOORDWIJK; M. AND PALM, C.A. *Carbon stocks of tropical land use systems as part of the global carbon balance: effects of forest conversion and options for clean development activities*. Alternatives to slash-and-burn (ASB) Lecture Note 4. ICRAF, Bogor, Indonesia, 2001.

HAMZA, M. A.; ANDERSON, W. K. Soil compaction in cropping systems: a review of the nature, causes and possible solutions. *Soil Tillage and Research*, v.82, p.121-145, 2005.

HARON, K.; BROOKES, P. C.; ANDERSON, J. M.; ZAKARIA, Z. Z. Microbial biomass and soil organic matter dynamics in oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) plantations, West Malaysia. *Soil Biology. Biochemistry*, v.30, p.547-552, 1998

HASSINK, J.; WHITMORE, A. P.A model of the physical protection of organic matter in soils. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v. 61, p.131-139, 1997.

HOLSCHER, D.; MOLLER, R. F.; DENICH, M.; FOLSTER, H. Nutrient input-output budget of shifting agriculture in Eastern Amazonia. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 47, p.49-57, 1997.

IPCC, 2000. *Land Use, Land-use Change, and Forestry*. A Special Report of the IPCC. Cambridge University Press, Cambridge, UK. 2000. Disponível em: <http://www.ipcc.ch/scripts/_session_template.php?page=_33ipcc.htm.pdf>. Acesso em: 5 mar. 2011.

JANZEN, H.H.; CAMPBELL, C.A.; BRANDT, S.A.; LAFOND, G.P.; TOWNLEY-SMITH, L. Light-fraction organic matter in soils from long-term crop rotations. *Soil Science Society of America Journal*, v.56, p.1799-1806, 1992.

KATO, M.S.A.; KATO, O.R.; DENICH, M. & VLEK, P.L.G. Fire-free alternatives to slash-and-burn for shifting cultivation in the eastern Amazon region: the role of fertilizers. *Field Crops Research*, v.62 p.225-237, 1999.

KATO, O. R.; KATO, M. S. A.; SÁ, T. D. de A.; FIGUEIREDO, R. Plantio direto na capoeira. *Ciência e Ambiente*, v.29, p.99-111, 2000.

KATO, M.S.A. & KATO, O.R. *Preparo de área sem queima, uma alternativa para a agricultura de derruba e queima da Amazônia Oriental: Aspectos agroecológicos*. IN: Seminário sobre Manejo da Vegetação Secundária para a Sustentabilidade da Agricultura Familiar da Amazônia Oriental, Belém, 1999. Anais. Belém: Embrapa Amazônia Oriental/CNPQ, 2000. 221p.

KATO, O. R.; KATO, M. D. S.; SÁ T DE A; FIGUEIREDO, R. Plantio direto na capoeira. *Ciência e Ambiente* v. 29, p. 99-111, 2004.

KATO, O.R.; KATO, M.S.A.; CARVALHO, C.J.R.; FIGUEIREDO, R. de O.; CAMARÃO, A.; Sá, T.D. de A.; DENICH, M.; VIELHAUER, K. *Uso de agroflorestas no manejo de florestas secundárias*. In: RODRIGUES, A.C.da.; BARROS,N.F.; GAMA-RODRIGUES, E.F. da.;FREITAS,M.S.M.; VIANA, A.P.;JASMIN,J.M.; MARCIANO,C.R.; CARNEIRO, J.G.de A. Eds. *Sistemas agroflorestais, Bases Científicas para o Desenvolvimento Sustentável*. Campos dos Goytacazes, RJ: Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, 2006, p.119-138.

KNORR, W.; PRENTICE, I.C.; HOLLAND, E.A. Long-term sensitivity of soil carbon turnover to warming. *Nature*, v.433, p.298-301. 2005.

KUMAR,S.; STOHLGREN, T. J.; CHONG, G. W. Spatial heterogeneity influences native and non native plant species richness. *Ecology*, v.87,p.3186-3199, 2006.

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

LAW, M. C.; BALASUNDRAM, S. K.; AHMED, O. H.; HARUN, M. H. Spatial variability of soil organic carbon in oil palm. *International Journal of Soil Science*, v.4, p.93-103, 2009.

LOPES, E. L. N.; FERNANDES, A. R.; RUIVO, M. L. P.; CATTANIO, J. H.; SOUZA, G. F. de. Microbial biomass and soil chemical properties under different land use systems in northeastern Pará. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.35, p.1127-1139, 2011.

MACHIORI JUNIOR, M. & MELO, W. J. Alterações na matéria orgânica e na biomassa microbiana em solo de mata natural submetido a diferentes manejo. *Pesquisa agropecuária brasileira*, v.35, p.1177-1182, 2000.

MIELNICZUK, J. Matéria orgânica e sustentabilidade de sistemas agrícolas. In: SANTOS,G.A.; SILVA, L.S.; CANELLAS,L.P.; CAMARGO, F.A.O.(Eds.). *Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais*. 2.ed. Rev. e atual. Porto Alegre: Metrópole, p. 01-05, 2008.

MUTUO, P.K.; CADISCH, G.; ALBRECHT, A.; PALM, C.A. and VERCHOT, L. Potential of agroforestry for carbon sequestration and mitigation of greenhouse gas emissions from soils in the tropics. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, v.71, p.43-54, 2005.

NAIR, P.K.R.; NAIR, V.D.; KUMAR, B. M.; HAILE, S. G. Soil carbon sequestration in tropical agroforestry systems: a feasibility appraisal. *Environmental science & policy*. v.12, p.1099-1111, 2009.

NEVES, C. M. N.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; MACEDO, R. L. G.; TOKURA, A. M. Estoque de carbono em sistemas agrossilvipastoril, pastagem e eucalipto sob cultivo convencional na região noroeste do estado de Minas Gerais. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v.28, p.1038-1046, 2004.

OLIVEIRA JÚNIOR, A. C.; SILVA, C. A.; CURI, N.; LIMA, J. M.; RANGEL, O. J. P. Formas e quantidades de carbono em lixiviados de Latossolos Vermelhos sob influência de calcário e fósforo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.32, p.1261-1271, 2008.

OMONT, Hubert. Contributions de laproduction d'huile de palme au développement durable. *Agronomie-environnement*. v. 17. n 6. p.362-367, 2010.

PARÁ. Secretaria de Agricultura do Estado do Pará. Disponível em: <http://www.sagri.pa.gov.br/estatística> da produção. Acesso em: 10 set. 2011.

PALM, C. A.; WOOMER, P.L.; ALEGRE J.; AREVALO, L.; CASTILLA, C.; CORDEIRO, D.AH, K.; FEIGL, B. HAIRI; KOTTO-SAME, J.; MENDEZ, A.; MOUKAM, A.; MURDIYARSO, R.; NJONGANG, W.; REISE, A.; RODRIGUES, V.; SITOMPUL, S.; NOORDWIJK, M. *Climate Change Working Group Final Report: Carbon Sequestration and Trace Gas Emissions in Slash-and-burn and alternative Land Uses in the Humid Tropics*. ASB-ICRAF, Nairobi, 2000.

PIMENTEL-GOMES, F. & GARCIA, C. H. *Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais: exposição com exemplos e orientações para uso de aplicativo*. Piracicaba: FEALQ, 2002. 309p.

PINHEIRO, E. F. M.; PEREIRA, M.G.; ANJOS, L. H. C. Aggregate distribution and soil organic matter under different tillage system for vegetable crops in a Red Latosol from Brasil. *Soil Tillage Research*, v.30, p.79-84, 2004.

RASSE, D. P.; RUMPEL, C.; DIGNAC, M. F. Is soil carbon mostly root carbon? Mechanisms for a specific stabilization. *Plant and Soil*, v.269, p.341-346, 2005.

REINERT, D. J.; ALBUQUERQUE, J. A.; RICHERT, J. M.; AITA, C.; ANDRADA, M. M. C. Limites críticos de densidade do solo para o crescimento de raízes de plantas de cobertura em Argissolo Vermelho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.32, p.1805-1816, 2008.

RICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BRADA, J. A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. *Ciências do Ambiente*, v.27, p.29-48, 2003.

SAMPAIO, C. A.; KATO, O. R.; NASCIMENTO-E-SIVA, D. Sistema de corte e trituração da capoeira sem queima como alternativa de uso da terra, rumo a sustentabilidade florestal no Nordeste paraense. *Revista de Gestão Social e Ambiental*, v.2, p.4-53, 2008.

SAMPAIO, I. C. *Biogeoquímica do Carbono em Solos de Parcelas Sob Trituração, Sob queima e Sob Capoeira*. (Mestrado em Ciências Ambientais) - Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais – PPGCA, Universidade Federal do Pará – UFPA. Belém, 2008.

SCHULTEN, H. R.; LEINWEBER, P. New insights into organic-mineral particles: composition, properties and molecular structure. *Biology and Fertility of Soils*, v.30, p.399-432, 2000.

SILVA, G. L. *Qualidade física de um Luvissoleto cultivado com sistemas agroflorestais e convencional no semiárido cearense*. 2008. 69 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

SILVA JR., M. L. da; DESJARDINS, T.; SARRAZIN, M.; MELO, V. S. de.; SANTOS, E. R.; CARVALHO, J. R. de. Carbon content in Amazonian Oxisols after Forest conversion to pasture. *Revista brasileira de ciência do solo*, v.33, p.1603-1611, 2009.

SISTI, C. P. J.; SANTOS, H. P.; KOHHAN, R.; ALBES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; BODEY, R. M.. Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in southern Brazil. *Soil and Tillage Research*, v.76, p.39-58, 2004.

SOMMER, R.; DENICH, M.; VLEK, P. L. G. Carbon storage and root penetration in deep soils under small-farmer land-use systems in the Eastern Amazon region, Brazil. *Plant and Soil*. v.219, p. 231-241, 2000.

SOMMER, R. et al. Nutrient balance of shifting cultivation by burning or mulching in the eastern Amazon: evidence for subsoil nutrient accumulation. *Nutrient Cycle in Agroecosystem*, v.68, n.3, p.257-271, 2004.

SOMMER, R. *Water and nutrient balance in deep soils under shifting cultivation with an without burning in the Eastern Amazon*. Cuvillier, Gottingen, Germany, 2000. 240p.

VELDKAMP, E. Organic Carbon Turnover in Three Tropical Soils under Pasture after Deforestation. *Soil Science Society of America Journal*, v.58, p.175-180, 1994.

VEZZANI, F. M.; CONCEIÇÃO, P.C.; MELLO, N. A.; DIECKOW, J. Matéria Orgânica e Qualidade do solo. In: SANTOS, G.A.; SILVA, L.S.; CANELLAS, L.P.; CAMARGO, F.A.O.(Eds.). *Fundamentos da Matéria Orgânica do Solo: ecossistemas tropicais e subtropicais*. 2.ed. Rev. e atual. Porto Alegre: Metrópole, p. 01-05, 2008.

VIELHAUER, K.; KANASHIRO, M.; SÁ, T.D.A.; DENICH, M. Technology development of slash-and-mulch and of fallow enrichment in shifting cultivation systems of the Eastern Amazon. *Proceedings of the 3 Workshop on Studies on Human Impact on Forests and Flood plains in the Tropics*. Belém-Pa, p. 49-60, 1999.

WICKEL, B. *Water and nutrient dynamics of humid tropical watershed in Eastern Amazon*. Center of Development Research, University of Bonn, Ecology and Development Series, n.21. 2004. (Thesis of Doctor).

WOOMER, P.; PALM, C. An approach to Estimating System Carbon Stocks in Tropical Forests and associated Land Uses. *Common wealth Forestry Review*, v.77, p.181-190, 1998.

ZARIN, D. J.; DAVIDSON, E. B.; SÁ, T.; FELDPAUSCH, T.; SCHUUR, E. A. G.; MESQUITA, R.; MORAN, E.; DELAMONICA, P.; DUCEY, M. J.; HURTT, G. C.; SALIMON, C. e DENICH, M. Legacy of fire slows carbon accumulation in Amazonian forest regrowth. *Frontiers in Ecology and Environment*, v.3, p.365-369,2005.

Tabela 1. Caracterização física e química do solo nas cinco profundidades avaliadas em cada sistema de uso: Adubadeiras (ADUBAD), sistema agroflorestal Biodiverso mecanizado (BIOMECC), sistema agroflorestal Biodiverso manual (BIOMAN), sistema agroflorestal Tomé-açu (SAFTA) e Floresta sucessional (FLSUC).

Uso	Profundidade	Areia	Silte	Argila	pH _{água}	P	K	Na	Ca ²⁺	Mg ⁺²	Al ³⁺	C/N
	cm	g kg ⁻¹				mg dm ⁻³		cmol _c dm ⁻³				
ADUBAD	0 - 5	693	187	120	5,90	15,93	129,50	30,40	4,05	1,08	0,10	14,9
	5 - 10	704	97	200	5,88	11,67	105,10	26,07	3,21	0,93	0,13	14,8
	10 - 20	623	137	240	5,87	15,00	104,70	26,27	3,04	0,95	0,13	14,5
	20 - 30	535	145	320	5,84	3,67	67,10	19,20	1,82	0,83	0,22	14,9
	30 - 50	425	135	440	5,82	2,13	41,30	16,07	1,26	0,50	0,39	15,0
BIOMECC	0 - 5	724	136	140	5,51	17,20	63,40	27,20	4,48	1,39	0,10	14,7
	5 - 10	673	127	200	5,51	10,30	46,15	21,75	3,38	1,00	0,11	13,8
	10 - 20	573	148	280	5,51	6,00	39,95	18,60	2,64	0,78	0,17	13,8
	20 - 30	518	103	380	5,51	2,05	30,90	14,75	1,54	0,55	0,39	13,3
	30 - 50	444	77	480	5,50	1,50	25,15	12,55	1,13	0,49	0,63	14,5
BIOMAN	0 - 5	789	111	100	5,56	10,35	68,95	23,15	4,56	1,35	0,10	14,5
	5 - 10	726	114	160	5,56	7,60	44,75	17,60	3,45	1,14	0,11	13,5
	10 - 20	607	153	240	5,55	8,85	37,25	15,75	2,29	0,75	0,18	13,0
	20 - 30	461	159	380	5,40	4,95	27,60	12,40	1,45	0,57	0,43	12,4
	30 - 50	401	139	460	5,55	1,50	20,90	10,70	1,03	0,46	0,68	12,4
SAFTA	0 - 5	742	119	140	5,46	16,20	29,80	14,60	2,76	0,94	0,10	13,6
	5 - 10	665	135	200	5,47	6,00	21,00	11,40	1,86	0,60	0,18	11,9
	10 - 20	633	148	220	5,46	4,00	19,20	11,00	1,42	0,46	0,34	11,4
	20 - 30	555	146	300	5,45	1,00	17,20	9,20	1,20	0,48	0,48	12,0
	30 - 50	462	179	360	5,44	2,60	16,00	7,60	0,98	0,44	0,64	12,6
FLSUC	0 - 5	779	102	120	5,06	3,00	21,80	13,00	2,10	0,68	0,48	12,7
	5 - 10	719	122	160	5,07	2,00	19,20	12,00	1,64	0,58	0,40	11,7
	10 - 20	579	181	240	5,08	1,20	18,80	11,80	1,40	0,50	0,44	12,3
	20 - 30	461	159	380	5,10	1,00	19,40	11,60	1,08	0,46	0,58	11,5
	30 - 50	395	165	440	5,11	1,00	12,00	8,00	0,96	0,42	0,72	12,2

Tabela 2. Média do estoque de carbono no solo nas profundidades avaliadas, segundo uso: adubadeiras (ADUBAD), biomecaninado (BIOMECC), biomanual (BIOMAN), e local da coleta: projeção da copa do dendê (P C dendê) entre plantas de dendê (E dendê) e faixa das espécies (FAIXA).

USO	LOCAL	PROFUNDIDADE(cm)				
		(0 - 5)	(5 - 10)	(10 - 20)	(20 - 30)	(30 - 50)
(Mg ha ⁻¹)						
	P C dendê	15,3 (1,52) aA	12,9 (0,47)	25,3 (0,94)	20,3 (1,65)	32,1 (2,10) aA
ADUBAD	E dendê	15,4 (0,69) aA	14,2 (1,03)	29,4 (3,06) [A]	19,3 (1,31) [A]	24,4 (0,78) bA
	Faixa	9,6 (1,05) bA	11,6 (1,58)	25,3 (0,97)	16,5 (1,72)	24,1 (2,08) bA
	P C dendê	12,7 (2,29) aA	11,8 (0,61)	20,9 (1,32)	15,3 (1,52)	25,7 (2,50) aB
BIOMECC	E dendê	10,6 (0,48) aA	12,9 (0,80)	21,0 (2,80) [B]	14,6 (1,72) [B]	26,2 (2,48) aA
	Faixa	17,0 (1,38) bB	12,1 (1,38)	23,3 (1,90)	15,0 (0,79)	24,5 (0,73) aA
	P C dendê	14,9 (1,26) aA	12,3 (0,93)	18,1 (0,86)	12,7 (0,51)	24,5 (2,65) aB
BIOMAN	E dendê	11,0 (0,87) aA	12,2 (0,76)	16,4 (1,20) [C]	12,5 (1,06) [B]	20,7 (0,87) aA
	Faixa	17,4 (0,78) bB	14,1 (0,55)	18,7 (1,03)	14,5 (0,67)	25,2 (0,77) aA

Médias seguidas da mesma letra minúscula dentro do local da coleta na coluna e maiúscula na coluna entre os sistemas de uso, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey 0,05 de probabilidade de erro.

Tabela 3. Estoque de carbono total corrigido por massa equivalente dos sistemas de uso, adubadeiras (ADUBAD), biomecanizado (BIOMECC), biomanual (BIOMAN) e sistema agroflorestal Tomé-Açu (SAFTA) em relação ao sistema de uso floresta sucessional (FLSUC) em diferentes profundidades.

PROFUNDIDADE	SISTEMA DE USO DO SOLO				
	ADUBAD	BIOMECC	BIOMAN	SAFTA	FLSUC
— (cm) —	----- (Mg C ha ⁻¹) -----				
0-5	11,1 (0,78) ab	11,1 (0,83) ab	11,7 (0,61) a	7,2 (0,75) b	8,9 (0,46) ab
5-10	11,6 (0,56) a	10,7 (0,57) ab	11,8 (0,41) a	7,2 (0,66) c	8,1 (0,34) bc
10-20	21,7 (0,92) a	18,1 (0,89) b	17,2 (0,57) b	12,1 (0,91) c	12,4 (0,80) c
20-30	17,9 (0,61) a	15,0 (0,68) b	13,2 (0,40) b	12,2 (1,08) b	11,6 (0,79) b
30-50	24,2 (1,00) a	21,7 (0,73) ab	20,2 (0,60) ab	19,8 (1,49) ab	19,0 (1,08) b
	----- (ACUMULADO) -----				
0-10	22,7 (1,23) a	21,8 (1,29) ab	23,5 (0,98) a	14,4 (1,42) c	17,0 (0,78) bc
0-20	44,4 (1,84) a	39,9 (2,03) b	40,8 (1,42) a	26,5 (2,29) b	29,4 (0,76) b
0-30	62,2 (2,29) a	54,8 (2,58) a	53,9 (1,75) a	38,7 (3,29) b	41,0 (1,98) b
0-50	86,5 (2,77) a	76,5 (2,96) ab	74,2 (2,10) bc	58,5 (4,29) d	60,0 (1,23) cd

Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey à 0,05 de probabilidade de erro. Números entre parênteses significam erro padrão da média.

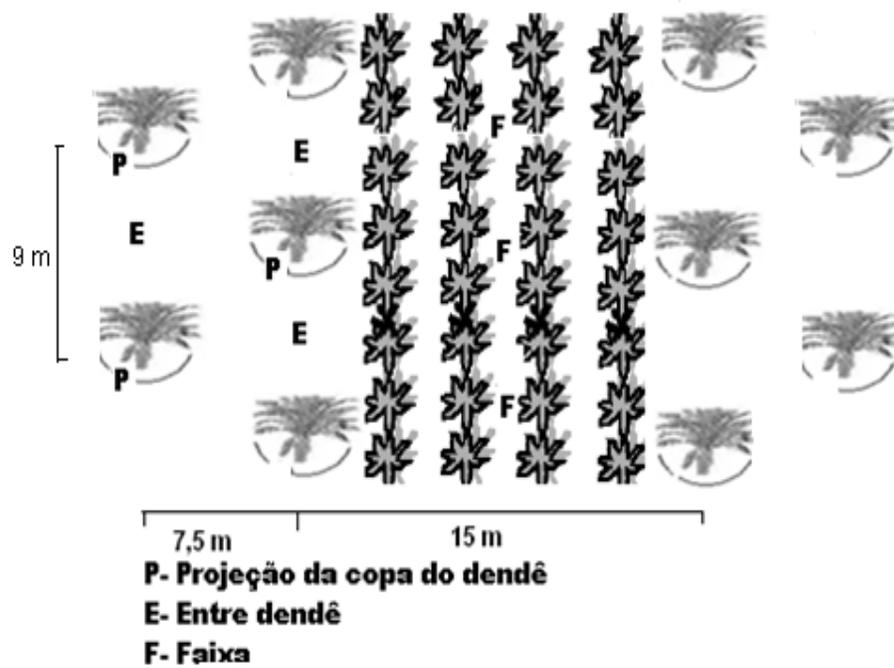


Figura 1. Esquema de localização dos pontos de coleta das amostras de solo e espaçamento nos sistemas de uso.

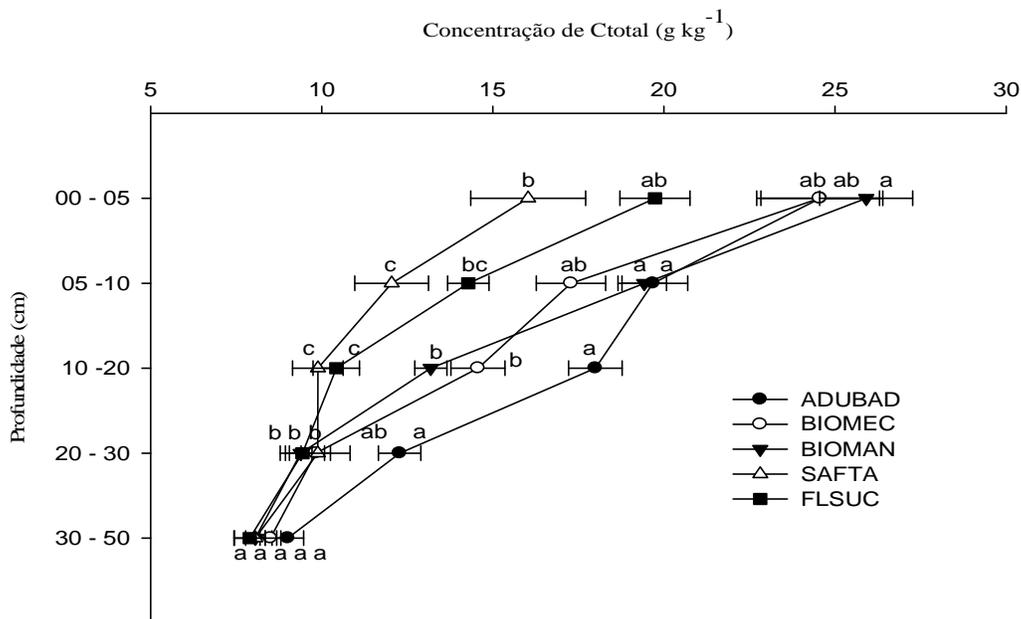


Figura 2. Concentração de carbono do solo em diferentes sistemas de uso e cobertura do solo na Amazônia oriental. Médias seguidas da mesma letra em cada profundidade não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Barras de erro representam erro padrão. ADUBAD = sistema adubadeiras, BIOMEK = sistema biodiverso mecanizado, BIOMAN = sistema biodiverso manual, SAFTA = sistema agroflorestal tradicional Tomé-Açu, FLSUC = floresta sucessional

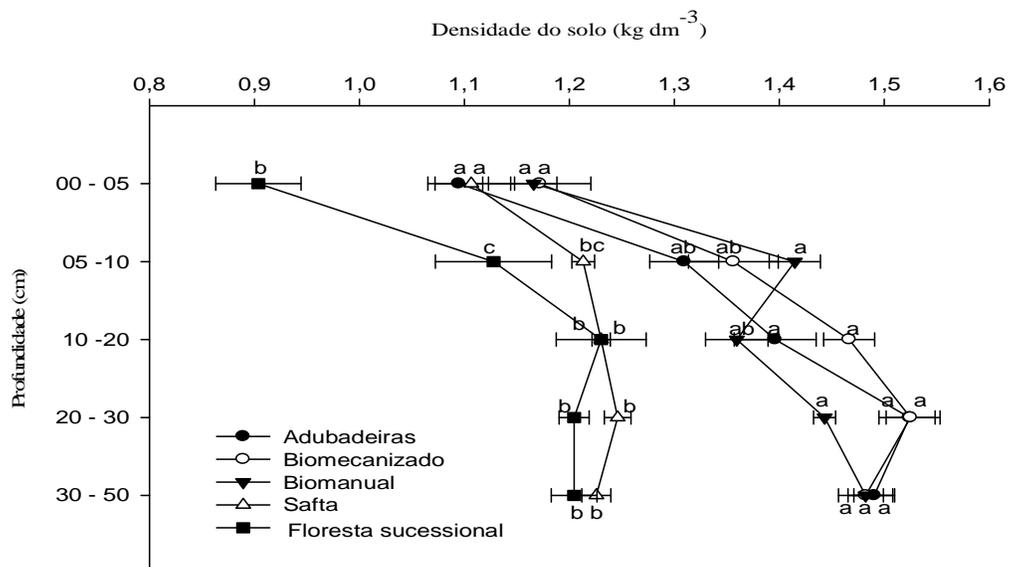


Figura 3. Densidade do solo geral em diferentes sistemas de uso e cobertura do solo na Amazônia oriental. Médias seguidas da mesma letra em cada profundidade não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Barras de erro representam erro padrão. ADUBAD = sistema adubadeiras, BIOMECA = sistema biodiverso mecanizado, BIOMAN = sistema biodiverso manual, SAFTA = sistema agroflorestal tradicional, FLSUC = floresta sucessional

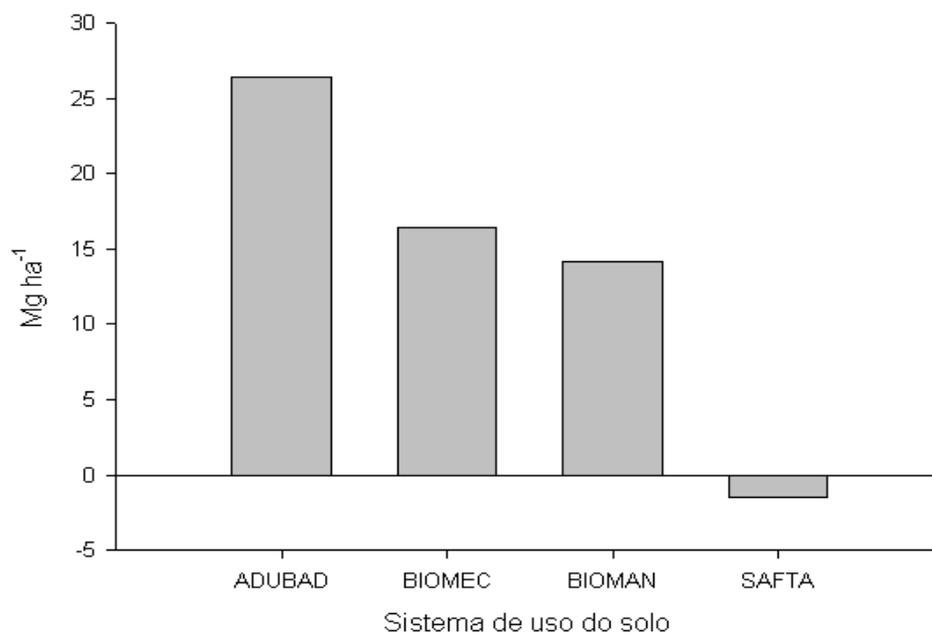


Figura 4. Acúmulo líquido de carbono nos sistemas de uso em relação à referência (FLSUC) na profundidade de 0-50 cm em Latossolo Amarelo distrófico.

3 ESTOQUE DE CARBONO EM FRAÇÕES LEVES E PESADAS DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS JOVENS ASSOCIADOS AO CORTE-E-TRITURAÇÃO DA VEGETAÇÃO SECUNDÁRIA NA AMAZÔNIA ORIENTAL

RESUMO: O aporte de resíduos vegetais na superfície dos solos das regiões tropicais ajuda a manter e aumentar o teor de matéria orgânica, beneficiando as propriedades físicas, químicas e biológicas dos solos. O objetivo desta pesquisa foi quantificar o estoque de carbono nas frações lábeis e estáveis da matéria orgânica do solo. Foram avaliados diferentes tipos de preparo de área na implantação de sistemas agroflorestais, figurando a cultura da palma de óleo (*Elaeis guineensis*) como espécie-chave nos arranjos. O estudo foi realizado na Amazônia Oriental, Nordeste do Pará, município de Tomé-Açu (PA), sob Latossolo Amarelo distrófico, em experimento conduzido desde 2007, em delineamento experimental inteiramente ao acaso, com cinco sistemas de uso do solo. Utilizou-se a técnica de preparo de área de corte-e-trituração manual e mecanizado, baseado nos princípios de plantio direto, sem o revolvimento do solo, em três sistemas agroflorestais com palma de óleo: Adubadeiras (ADUBAD), Biodiverso mecanizado (BIOMECA), Biodiverso manual (BIOMAN) e um sistema agroflorestal Tomé-Açu tradicional local com preparo de área de corte-e-queima (SAFTA), que foram comparados com uma floresta sucessional de 13 anos (FLSUC). Em todos os tratamentos foram coletadas amostras de solo nas profundidades 0-5, 5-10, e 10-20 cm para determinação da concentração de carbono nas frações densimétricas e granulométricas da matéria orgânica do solo por combustão em analisador elementar LECO CNS 2000. Os resultados mostraram que os maiores estoques de C por fração foram observados nas frações areia ($21,9 \text{ Mg ha}^{-1}$), leve livre ($7,9 \text{ Mg ha}^{-1}$) e leve oclusa ($1,7 \text{ Mg ha}^{-1}$) no sistema de uso ADUBAD e na fração silte+argila ($13,1 \text{ Mg ha}^{-1}$) no sistema BIOMECA.

Termos de indexação: estoque de carbono, palma de óleo, fracionamento da matéria orgânica do solo, Amazônia.

SUMMARY: Organic residues input to tropical soils help to maintain or increase organic matter, benefiting soil physical, chemical and biological properties. Our objective was to quantify carbon stocks of labile and stable soil organic matter fractions. We evaluated different types of land preparation for the implementation of agroforestry systems which included oil palm (*Elaeis guineensis*) as keystone species. The study was conducted in the eastern Amazon, Northeast of Pará, in the city of Tome-Acu, in a smallholder farm. The experiment was arranged in completely randomized design with five treatments: (a) three slash-and mulch, oil palm-based agroforestry systems (Adubadeiras – ADUBAD, Biodiverso Mecanizado – BIOMEK and Biodiverso Manual – BIOMAN), (b) one traditional local agroforestry system and (c) one reference area represented by a 13-year-old successional forest. In all treatments, soil samples were collected at depths 0-5, 5-10, and 10-20 cm to determine soil carbon concentration in densimetric and granulometric soil organic matter fractions with dry combustion using an LECO CNS 2000 elemental analyzer. We showed that larger carbon stocks per fraction were observed in the sand fraction (21.9 Mg ha⁻¹), free-light (7.9 Mg ha⁻¹), occluded-light (1.71 Mg ha⁻¹) for ADUBAD, and silt+clay (13.1 Mg ha⁻¹) for BIOMEK.

Index terms: carbon stock, oil palm, soil organic matter fractionation, Amazon.

3.1 INTRODUÇÃO

Estudos realizados em diversas regiões tropicais, relatam que o manejo do solo por meio do corte e queimada vegetação, como técnica de preparo de área, causa perdas significativas de matéria orgânica do solo (MOS) e nutrientes (Juo e Manu, 1996; Holscher et al., 1997; Sommer et al., 2004) e, conseqüentemente, o depauperamento dos solos, uma vez que a matéria orgânica (MO) influencia processos físicos, químicos e biológicos responsáveis pela sustentabilidade do solo.

Na Amazônia Oriental, a conversão da floresta em sistemas agrícolas, especialmente pastagens, causa diminuição do carbono no solo, principalmente, devido à rápida mineralização da MO de reservatório lábil (Desjardins et al., 2004; Silva Jr. et al., 2009). Essa diminuição inicial do estoque de carbono no solo pode ser revertida, podendo haver recuperação total do carbono no solo (Moraes et al. 1995 e 1996; Bernoux et al. 1998).

O desenvolvimento dos sistemas agroflorestais (SAFs) associado à tecnologia de corte-e-trituração da vegetação (Kato, 1999; Denich et al., 2004; Denich et al., 2004; Sommer et al., 2004), representam práticas agrícolas mais sustentáveis e estão diretamente associadas à manutenção dos estoques de MOS. O sistema de corte-e-trituração consiste basicamente por preconizar o corte e a trituração da vegetação de pousio, em substituição à sua queima, além de não revolver o solo, evitando-se perdas significativas de nutrientes e no sistema. (Kato et al., 2004; Denich et al., 2005).

O carbono, como principal constituinte da MOS, pode se acumular em frações lábeis ou frações estáveis no solo (Bayer et al. 2004). O estudo da MOS em seus diversos compartimentos, bem como sua relação com o manejo do solo, pode gerar subsídios teóricos para adoção de estratégias sustentáveis de uso da terra (Pinheiro et al., 2004). A separação das frações da MOS pode ser realizada pelos métodos densimétrico (Golchin et al., 1994) ou granulométrico (Cambardella & Elliott, 1992), ou ainda pela combinação de ambos, ou seja, o método densimétrico-granulométrico (Six et al., 1998). Pelo método densimétrico, separam-se os resíduos vegetais de baixa densidade, que podem estar parcialmente decompostos ou resistentes à decomposição, do complexo organo-minerais do solo. Já no método granulométrico, os compostos organo-minerais encontrados nas frações mais finas dos solos podem ser isolados e fracionados por tamisagem, sedimentação e/ou centrifugação. A combinação do fracionamento densimétrico e granulométrico foi estudada por Sohi et al. (2001), em que são separadas a fração leve livre, a fração leve oclusa (intra-agregados), a fração areia e fração associada a silte mais argila.

Nesse contexto, o objetivo deste estudo foi quantificar o estoque de carbono das frações lábeis e estáveis da matéria orgânica do solo em sistemas agroflorestais na Amazônia Oriental.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização da área

Área de estudo - Este estudo foi realizado em área experimental do Projeto Dendê em Sistemas Agroflorestais na Agricultura Familiar, resultado da parceria entre Cooperativa Agrícola Mista de Tomé-Açu (CAMTA), Natura. A área de estudo está situada em propriedade de agricultor familiar (02° 20' 59" de latitude sul e 48° 15' 36" de longitude a oeste de Greenwich), no município de Tomé-Açu, no Pará, Amazônia oriental. O solo é

classificado como Latossolo Amarelo (Embrapa, 2006) com textura franco-arenosa, e a caracterização física e química do solo está apresentada no Quadro 1.

O clima é classificado como tropical quente úmido (Am), de acordo com a classificação de Köppen. Segundo dados da estação climatológica da Embrapa Amazônia Oriental de 1985 a 2010 (latitude: 02° 38' S, longitude: 42° 28' W e altitude: 45 m), a precipitação pluviométrica média anual de Tomé-Açu é 2.440 mm, sendo que 81% da precipitação anual concentram-se de dezembro a maio. A temperatura média anual é 26,3 °C, variando mensalmente entre 21,0 °C e 33,8 °C, e o brilho solar médio anual é 2.372 horas.

Histórico da área – Anteriormente à instalação do experimento, a área de estudo era coberta por floresta sucessional, com idade aproximada de 10 anos, formada após repetidos ciclos de corte e queima para agricultura de subsistência (arroz – *Oryza sativa*, mandioca – *Manihot esculenta*, milho – *Zea mays* e feijão-caupi – *Vigna unguiculata*). Em setembro e outubro de 2007, seis hectares (ha) contíguos de floresta sucessional foram cortados e triturados. Em quatro ha foi utilizada trituração mecânica com fresadora tracionada por trator, enquanto que na área restante (2 ha) a trituração foi manual, usando-se motosserra e facão. O material triturado foi depositado sobre o solo formando uma cobertura morta. Após o preparo da área, foi aplicado manualmente 1,3 Mg ha⁻¹ de calcário dolomítico sobre a superfície do solo.

Sistema de uso e manejo da área – Em fevereiro de 2008, foram instalados três sistemas de cultivo de palma de óleo denominados de: (1) adubadeiras, com preparo mecanizado (ADUBAD); (2) sistema agroflorestal biodiverso, com preparo mecanizado (BIOMEC); e (3) sistema agroflorestal biodiverso, com preparo manual (BIOMAN). Nos três sistemas, foram plantadas linhas duplas de palma de óleo – *Elaeis guineensis* (espaçamento 7,5 m x 9 m) intercaladas por faixas (15 m) com nove linhas de espécies herbáceas, arbustivas e arbóreas. Em ADUBAD as faixas foram compostas de leguminosas e asteráceas: gliricídia (*Gliricidia sepium*), ingá (*Inga edulis*) e margaridão (*Tithonia diversifolia*). Nos sistemas biodiversos (BIOMEC e BIOMAN) houve plantio de feijão de porco (*Canavalia ensiformis*), feijão guandu (*Cajanus cajanus*), crotalária (*Crotalaria juncea*), mucuna cinza (*Mucuna cinereum*), margaridão, mandioca (*Manihot esculenta*), banana (*Musa spp*), cacau (*Theobroma cacao*), açai (*Euterpe oleracea*), gliricídia, ingá, tachi branco (*Sclerolobium paniculatum*), guanandi (*Calophyllum brasiliensis*), ipê (*Tabebuia spp.*) e bacaba (*Oenocarpus bacaba*). Outras espécies (patauá – *Oenocarpus bataua*, castanheira – *Bertholletia excelsa*, açai, cacau, jatobá – *Hymenaea courbaril*, ipê - *Tabebuia sp.*, mogno – *Swietenia macrophylla*, falso pau-brasil – *Adenantha pavonina*, andiroba – *Carapa guianensis*, feijão caupi (*Vigna unguiculata*),

taperebá – *Spondias mombin* L., bacaba - *Oenocarpus bacaba* , bacabi – *Oenocarpus mapora* e fedegoso - *Cassia occidentalis*) foram incluídas em uma mistura de sementes em linhas de plantio espaçadas de 3 m em 3 m nas faixas de BIOMEC e BIOMAN, com funções de adubação verde e atração de insetos predadores e polinizadores.

Na adubação de cova da palma de óleo foi utilizada uma combinação de fosfato natural (ARAD) com baixa reatividade no solo e moinha de carvão (10 kg planta⁻¹); a adubação de manutenção foi realizada em cobertura com 8 kg de composto orgânico por planta, constituído de resíduos orgânicos de agroindústria local de polpa de frutas (casca, sementes e resto de polpa). Em 2009, na adubação de manutenção em cobertura, foram utilizados por planta: 40 kg de composto orgânico, 1,0 kg de farinha de osso e 1,0 kg de torta de mamona. Na última adubação de 2010, antes da coleta das amostras neste estudo, foram aplicados por planta: 0,3 kg de fosfato natural (ARAD), 1 kg de farinha de osso e 100 kg de cachos vazios de palma de óleo divididos em duas aplicações de 50 kg por planta.

Na faixa foi realizada adubação de cova semelhante àquela da palma de óleo. Em 2008, a adubação de manutenção constou de 10 kg de cama de frango e 20 kg de composto orgânico por planta. Nos demais anos não foi realizada adubação com compostos, a qual foi substituída pela adição de fitomassa oriunda do manejo da vegetação espontânea epoda das espécies adubadeiras (*Musa spp*, *G.sepium*, *I. edulis*, *T. diversifolia*, *M. esculenta*, *C. ensiformis*, *C. cajanus* e *C. juncea*).

O manejo da palma de óleo envolveu coroamento de 3 a 5 vezes ao ano, poda de limpeza das folhas velhas e danificadas, e roçagem nas entrelinhas de 3 a 4 vezes por ano. Os resíduos vegetais, provenientes do manejo, foram distribuídos na coroa da palma de óleo e na projeção da copa das mudas das outras espécies.

Os sistemas de cultivo de palma de óleo foram comparados com um sistema agroflorestal tradicional de Tomé-Açu (SAFTA) e um fragmento remanescente da floresta sucessional (FLSUC) cortada e triturada no preparo da área, ambos adjacentes aos cultivos de palma de óleo. O SAFTA foi implantado em 2003, em substituição a um monocultivo de pimenta-do-reino (*Piper nigrum*) de 6 anos, com *T. cacao* em espaçamento 4 m x 4 m, *E. oleracea* em espaçamento 4 m x 5 m e *S. macrophylla* em espaçamento 16 m x 16 m. Em 2008, a floresta sucessional, com aproximadamente 10 anos de idade, apresentava altura média do dossel de 15 m e densidade média de 520 árvores ha⁻¹ (árvores com diâmetro à altura do peito \geq 10cm) (Izildinha Sousa, comunicação pessoal). As espécies de maior ocorrência na floresta sucessional eram *Tapirira guianensis* Aubl., *Vismia guianensi* Aubl., *Inga alba* Willd. e *Apeiba burchelli* Sprague.

Amostragem, preparo das amostras e métodos analíticos

A coleta de amostras de solo foi realizada em agosto de 2010. Em cada tratamento com cultivo de palma de óleo, estabeleceram-se, ao acaso, cinco parcelas medindo 22,5 m x 18 m, de forma a incluir duas linhas de palma de óleo e uma faixa de espécies. Amostras de solo foram coletadas nas profundidades 0-5, 5-10 e 10-20 cm, utilizando-se trado tipo sonda. Em cada local de coleta por tratamento (ou sistema) foi coletada uma amostra composta de 3 amostras simples. As amostras de solo foram conduzidas ao Laboratório de Ecofisiologia Vegetal da Embrapa Amazônia Oriental, onde foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneira de 2 mm para obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA). Cerca de 120 g de TFSA de cada amostra foi usado para análises granulométrica e química (Embrapa, 1997) no Laboratório de Solos da Embrapa Amazônia Oriental.

Para a determinação da densidade escavaram-se, em cada tratamento, quatro trincheiras para retirada de amostras indeformadas, nas profundidades 0-5, 5-10 e 10-20 cm, de três faces internas da trincheira com auxílio de trado extrator e anéis de aço (Kopeck) de bordas cortantes com volume interno conhecido. A densidade do solo foi determinada pelo método do anel volumétrico (EMBRAPA, 1997), em que amostras indeformadas foram colocadas em estufa a 105°C até atingir peso constante.

Para o fracionamento físico da matéria orgânica do solo, foram utilizados, em sequência, os métodos densimétrico e granulométrico, segundo Cambardella & Elliott (1992; 1993), Mendonça & Matos (2005), Sohi et al. (2001) e Lima et al. (2008). Para obtenção da fração leve livre (FLL) pesaram-se aproximadamente 15 g de TFSA em tubo de centrífuga de 100 mL, ao qual foram adicionados em seguida 30 mL de solução de iodeto de sódio com densidade de 1,8 g cm⁻³. Para a determinação da fração leve oclusa (FLO), adicionou-se novamente a solução de iodeto de sódio ao solo remanescente no tubo de centrífuga, que foi agitado por 16 horas. Em seguida, a fração areia (FA) e a fração associada a silte + argila (FSA) foram obtidas a partir do solo remanescente no tubo de centrífuga, o qual foi transferido para recipiente de vidro (500 mL) contendo 200 mL de água destilada. Em seguida 0,5 g de hexametáfosfato de sódio foi adicionado ao recipiente, que foi agitado por 16 horas para dispersão do solo, que foi peneirado em malha de 53 µm de diâmetro para separar a fração areia da fração silte + argila ($F < 53 \mu\text{m}$). A massa seca de todas as frações foi determinada após secagem em estufa a 65 °C por 72 horas.

As amostras secas, após fracionamento, foram maceradas em almofariz (pilão de porcelana) e tamisadas em peneira de 0,25 mm (60 mesh). Em seguida foi pesado aproximadamente 0,200 g para determinação da concentração de C de FLL, FA e FSA de

cada amostra. A concentração de C de FLO foi determinada em uma amostra composta de cada tratamento por profundidade, pois a massa seca das amostras simples não atingiu 0,200 g. A determinação da concentração de C foi realizada por combustão a seco, com analisador elementar da marca LECO, modelo CNS 2000. O estoque de carbono total do solo nas frações em cada camada amostrada foi calculado segundo Veldkamp (1994):

$$\text{EstC} = (C \times D_s \times e) / 10;$$

onde: EstC= estoque de carbono da fração (Mg ha^{-1}), C= teor de C da fração (g kg^{-1}); D_s = densidade do solo da profundidade (camada) amostrada (kg dm^{-3}); e = espessura da camada (cm).

O estoque total de carbono foi calculado pela soma dos estoques de cada fração. Na comparação dos estoques com a área de referência (FLSUC) os cálculos foram realizados por equivalência de massa da área de referência (Sisti et al., 2004). O acúmulo líquido de carbono nas frações de carbono do solo (ΔC) nos sistemas agrofloretais foi estimado pela equação: $\Delta C = \text{Estoque C das frações dos sistemas} - \text{Estoque C das frações da área de referência}$.

Análise estatística

O efeito dos tratamentos sobre as frações da matéria orgânica do solo foi testado com análise de variância de 1 fator, separadamente para cada profundidade, considerando um delineamento inteiramente casualizado. Não foi testado o efeito dos tratamentos sobre a concentração de C de FLO devido à ausência de repetição para essa variável. Quando necessário, os dados foram transformados (logaritmo neperiano) para atender aos requisitos de normalidade dos erros e homogeneidade das variâncias. Tabelas e figuras apresentam médias e erro padrão dos dados não-transformados. Foi aplicado teste de Tukey para a comparação das médias, a 5 % de probabilidade. Os dados foram analisados com o programa Sigma Plot versão 11.0.

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Concentração de C nas frações e participação do C das frações em relação ao C total

A concentração de carbono, de maneira geral, foi maior na fração leve livre (FLL: 21,5 a 26,1%) e na fração leve oclusa (FLO: 17,2 a 25,2%) em relação às frações associada aos minerais do solo, cuja concentração de C variou de 2,0 a 3,0% na fração silte+argila (FSA) e de 0,7 a 1,3% na fração areia (FA). Estes resultados estão de acordo com aqueles

relatados por Roscoe & Machado (2002), que variaram de 21 a 35% de C na FLL e 12 a 46 % na FLO. As frações leves da matéria orgânica representam apenas uma pequena parte da massa total dos solos minerais, mas podem armazenar parte significativa de carbono total e o seu teor pode ser influenciado pelo tipo, quantidade e qualidade da vegetação (Roscoe & Machado, 2002). Portanto, as diferenças estatísticas na concentração de C das frações da matéria orgânica do solo dos diferentes tratamentos (Figura 1 A) devem-se provavelmente ao grau e tempo de decomposição dessas frações.

A floresta sucessional (FLSUC) e o sistema agroflorestal Tomé-Açu (SAFTA) apresentaram o maior percentual de carbono na FLL com diferenças estatisticamente significativas em relação aos demais sistemas de uso (Figura 1A). Possivelmente esses valores percentuais maiores nos sistemas mais antigos (SAFTA e FLSUC) deve-se ao fato de serem sistemas menos perturbados os quais não receberam manejo de trituração, portanto, o aporte de resíduos ao solo se deu de maneira natural estando relacionado a maior estabilidade na concentração de carbono nessas frações.

Considerando-se a soma da concentração de C das frações associadas aos minerais (FSA + FA), a contribuição à concentração total de C do solo atingiu 84,4% (FSA: 34,0% e FA:50,4%). A FA contribuiu com 55,1% C em BIOMAN e 53,6% C em ADUBAD para a concentração total de C do solo em BIOMAN e ADUBAD, respectivamente (Figura 1B); estes valores foram significativamente maiores em relação a BIOMECA (44,1%). Possivelmente BIOMAN apresentou a maior colaboração na fração areia por apresentar este sistema um maior percentual de areia (Tabela 1). A contribuição da FSA para a concentração total de C foi significativamente maior em SAFTA, FLSUC e BIOMECA do que em BIOMAN e ADUBAD. Segundo Christensen (2000) e Roscoe et al. (2002; 2003) as frações granulométricas, associadas aos minerais do solo, concentram a maior parte do carbono total do solo, sendo responsáveis, na maioria das vezes, por mais de 90% do C_{total}. Freixo et al. (2002), em Latossolo no Cerrado, constataram também que de 60 a 90% do C_{total} está presente nas frações granulométricas mais finas. Porém, essas frações apresentam concentração de carbono por massa de fração relativamente baixas (Piccolo & Conte, 1998).

Fracionamento densimétrico e granulométrico nas camadas em profundidade

A quantidade de C nas frações leves por massa de solo tendeu a diminuir com o aumento da profundidade no perfil de solo (Figura 2A, B), como relatado em outros estudos (Roscoe et al. 2001; Freixo et al. 2002; Neves et al. 2004; Bayer et al. 2004). Na FLL, a

quantidade de C por massa de solo nos sistemas agroflorestais com palma de óleo (ADUBAD, BIOMECA e BIOMAN) foi significativamente maior do que a área de referência (FLSUC) em todas as profundidades. Dessa forma, manejo desses sistemas aumentou o potencial de ciclagem de nutrientes, pois a FLL é mais suscetível à decomposição por apresentar somente a recalcitrância como mecanismo de proteção da matéria orgânica (Roscoe & Machado, 2002).

Na fração areia (FA), de 0-10 cm, o SAFTA apresentou quantidade de C por massa de solo média significativamente menor em relação aos demais sistemas, com exceção de FLSUC de 5-10 cm (Figura 2C). Na fração silte + argila (FSA), a quantidade de C por massa de solo varia pouco de acordo com a profundidade do solo em todos os tratamentos e o efeito dos tratamentos não é evidente quando comparados com a área de referência (FLSCU). As frações associadas a minerais (FA e FSA) são as mais estáveis, sendo caracterizadas por uma baixa taxa de reciclagem (Gregorich & Ellert, 1993, Christensen, 1992, Feller & Beare, 1997).

Concentração de carbono total e densidade do solo nos sistemas de uso

De maneira geral, a concentração de carbono total (soma da concentração das frações densimétricas e granulométricas) diminuiu com o aumento da profundidade do solo (Figura 3A), como comumente observado em outros estudos. Por exemplo, em floresta primária em Latossolo Amarelo na Amazônia Oriental, Desjardins et al. (2004) relataram que a concentração de C do solo foi 14,4, 10,9 e 9,6 g kg⁻¹ nas profundidades 0-5, 5-10 e 10-20 cm, respectivamente. Os sistemas com palma de óleo apresentaram a maior média de concentração de carbono de 0-5 e 5-10 cm, exceto BIOMECA, que não diferiu significativamente de FLSUC e SAFTA (Figura 3A). Tal diferença estatística entre os sistemas com palma de óleo e os demais sistemas provavelmente se deve é devida ao elevado aporte de material vegetal por meio da trituração no preparo de área e do manejo dos sistemas (poda e roçagem), assim como a adubação orgânica de cobertura. Já na profundidade 10-20 cm, ADUBAD apresentou a maior média estatística, diferindo significativamente em relação aos demais sistemas (Figura 3A), possivelmente devido ao histórico de uso da área.

Os sistemas com palma de óleo e o SAFTA, na profundidade 0-5 cm, apresentaram densidade do solo significativamente maior do que FLSUC (Figura 3B). A retirada da floresta para implantação dos sistemas com palma de óleo jovens aumentou a densidade do solo independentemente do tipo de preparo de área (mecanizando ou manual), não havendo diferença significativa entre os sistemas (Figura 3B). Apesar do preparo de área manual, em

BIOMAN, assim como em BIOMECA e ADUBAD, no plantio e nos tratos culturais houve trânsito de veículos na área. Por outro lado, o impacto da mecanização sobre a densidade do solo em BIOMECA e ADUBAD pode ter sido minimizada pela manutenção da cobertura do solo durante o preparo de área, por absorver parte da pressão exercida sobre a superfície (Braida et al., 2006).

Estoque de carbono nas frações da matéria orgânica do solo

O estoque de C na FLL foi significativamente maior em ADUBAD do que nos outros sistemas, com exceção da profundidade de 0-5 cm, na qual ADUBAD diferiu estatisticamente somente de FLSUC (Quadro 2). Na fração areia BIOMAN apresentou a maior média de estoque de C, que foi diferente estatisticamente de SAFTA 0-20 cm e de BIOMAN e FLSUC de 5-10 cm. Na profundidade 10-20 cm a maior média de estoque de C foi alcançada por ADUBAD, com diferenças significativas em relação ao demais sistemas (Quadro 2). A elevação do estoque de C em ADUBAD nessa profundidade vem corroborar as informações de manejo anteriores a formação da capoeira com a utilização intensiva do monocultivo de *Piper nigrum*. O estoque de C associado à fração silte+argila foi afetado pelos sistemas de manejo nas camadas de 0-5 e 5-10 cm de profundidade do solo. Logo, apesar do pequeno intervalo de tempo (29 meses) entre o aporte pela trituração e a coleta das amostras, foi possível verificar diferenças no estoque dessa fração em relação a referência (FLSUC). No entanto, geralmente as alterações no estoque de C na FSA não ocorre em curto prazo. Por exemplo, Bayer et al. (2004) não observaram efeito significativo dos sistemas de manejo sobre a fração da matéria orgânica do solo associada a minerais em sistemas jovens de plantio direto (6 anos), provavelmente devido ao impacto do manejo sobre a formação de agregados.

Nas frações associadas a minerais não foi claro o efeito dos sistemas com palma de óleo sobre o estoque de C. De modo geral, o estoque de C em FA e FSA não aumentou significativamente nos sistemas com palma de óleo em relação à referência (FLSUC). As diferenças significativas não seguiram um padrão claro entre sistemas e profundidade do solo (Quadro 2). Dessa forma, o aumento observado no estoque de C com a implantação de sistemas agroflorestais com palma de óleo ocorreu principalmente na fração leve da matéria orgânica, o que está de acordo com a maior sensibilidade dessa fração, em relação a fração associada a minerais, como indicador sensível de alteração no carbono do solo com o cultivo (Sixe et al., 2002).

Acúmulo líquido de carbono no solo

Analisando-se as variações do estoque das frações de carbono nos sistemas de uso (Figura 4) em relação à floresta sucessional (FLSUC), observou-se que os sistemas biodiversos sob trituração manual (BIOMAN) e mecanizado (BIOMECA) apresentaram, após 29 meses de implantados, valores positivos de acúmulo líquido de carbono no solo. Logo, os sistemas biodiversos foram eficientes em armazenar o carbono oriundo principalmente do elevado aporte de carbono ao solo decorrente do preparo de área, assim como do manejo da matéria orgânica nos sistemas. Todavia, ADUBAD apresentou balanço negativo na FSA, o que pode estar associado a efeito de manejos do solo anteriores ao experimento, pois o tempo de cultivo é muito curto para alterar de forma significativa o estoque de C em FSA, que é uma fração altamente estável da matéria orgânica do solo (Bayer et al.,2004).

O SAFTA apresentou um acúmulo líquido de carbono levemente negativo em relação à FLSUC nas frações associadas a minerais do solo, porém nas frações leves densimétricas (FLL e FLO) o acúmulo foi positivo. Esses resultados sugerem que nas frações densimétricas, por serem mais lábeis, há recuperação do estoque de C de maneira mais acelerada, embora ainda abaixo dos sistemas com palma de óleo. Logo, sistemas agroflorestais tradicionais da região, similares ao avaliado no presente estudo apresentam potencial limitado como estratégia de mitigação de mudanças climáticas.

3.4 CONCLUSÃO

1. Frações densimétricas (FLL e FLO) apresentam maiores concentrações de C por fração e a fração areia é a que mais contribui para o estoque de carbono em Latossolo Amarelo nesta área.

2. Os sistemas de uso biodiversos (BIOMAN e BIOMECA) apresentam maiores estoques de carbono.

3. A trituração da parte aérea da vegetação de pousio afeta a densidade do solo.

4. Sistemas agroflorestais de 7 anos formados na sucessão de corte-e-queima e monocultivo, aparentemente perdem carbono das frações associadas aos minerais do solo (areia e silte+argila).

5. Todos os sistemas estudados apresentam valores positivos no balanço do carbono das frações lábeis do solo.

LITERATURA CITADA

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

BERNOUX, M.; CERRI, C.C.; NEILL, C. & MORAES, J. L. The use of stable carbon isotopes for estimating soil organic matter turnover rates. *Geoderma*, 82:43-58, 1998.

BRAIDA, J. A.; REICHERT, J.; VEIGA, M. & REINERT, D. J. Resíduos vegetais na superfície e carbono orgânico do solo e suas relações com a densidade máxima obtida no ensaio de Procto. *R. Bras. Ci. Solo*. 30:605-614, 2006.

CAMBARDELLA, C.A. & ELLIOTT, E.T. Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 56:777-783, 1992.

CAMBARDELLA, C.A. & ELLIOTT, E.T. Methods for Physical Separation and Characterization of Soil Organic-Matter Fractions. *Geoderma*, 56:449-457, 1993.

CERRI, C.C. Dinâmica da matéria orgânica do solo no agroecossistema cana-de-açúcar. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio grande do Sul, 1986. (Tese de Doutorado)

CHRISTENSEN, B. T. Organic matter in soil - structure, function and turnover. Copenhagen, 2000. 95 p.

CHRISTENSEN, B. T. Physical fractionation of soil and organic matter in primary particle size and density separates. *Adv. Soil Sci.*, 20:1-90, 1992.

DENICH, M.; VIELHAUER, K.; KATO, M. S. D. A.; BLOCK, A.; KATO, O. R.; SÁ, T. D. D. A.; LUCKE, W. & VLEK, P. L. G. Mechanized land preparation in forest-based fallow systems: The experience from Eastern Amazonia. *Agrofor. Syst.*, 61:91-106, 2004.

DENICH, M.; VLEK, P. L. G.; SÁ, T. D. D.; VIELHAUER, K. & LUCKE, W. G. A. Concept for the development of fire-free fallow management in the Eastern Amazon, Brazil. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 110:43-58, 2005.

DESJARDINS, T.; BARROS, E.; SARRAZIN, M.; GIRARDIN, C. & MARIOTTI, A. Effects of forest conversion to pasture on soil carbon content and dynamics in Brazilian Amazonia. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 103:365-373, 2004.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. 2. ed. rev. atual. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. Rio de Janeiro, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1999. 412p.

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

FREIXO, A. A.; CANELLAS, L. P. & MACHADO, P. L. O. de A. Propriedades espectrais da matéria orgânica leve-livre e intra-agregados de dois Latossolos sob plantio direto e preparo convencional. *R. Bras. Ci. Solo*, 26:445-453, 2002.

GOLCHIN, A.; OADES, J.M.; SKJEMSTAD, J.O & CLARKE, P. Study of free and occluded particulate organic matter in soil by solid state ¹³C CP/MAS NMR spectroscopy and scanning electron microscopy. *Aust. J. Soil Res.*, 32:285-309, 1994.

GREGORICH, E. G. & ELLERT, B. H. Light fraction and macroorganic matter in mineral soils. In: CARTER, M. R. (Ed.). *Soil sampling and methods of analysis*. Boca Raton: Lewis, 1993. p. 397- 407.

GUERRA, J. G. M.; SANTOS, G. A; SILVA, L. S. & CAMARGO, F.A.O. Métodos Químicos e Físicos. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P. & CAMARGO, F.A.O. (Eds.). *Fundamentos da Matéria Orgânica do Solo: ecossistemas tropicais e subtropicais*. 2.ed. Rev.e atual. Porto Alegre, Metrópole, 2008. p.01-05.

JOHN B.; YAMASHITA, T;LUDWIG, B & FLESSA, H. Organic carbon storage in aggregate and density fractions of silty soils under different types of land use. *Geoderma*, 128:63-79, 2005.

KATO, M. S. A.; KATO, O. R.; DENICH, M. & VLEK, P. L. G. Fire free alternatives to slash-and-burn for shifting cultivation in the eastern Amazon region: the role of fertilizers. *Field Crop. Res.*, 62:225-237, 1999.

KATO, O. R.; KATO, M. D. S. A.; SÁ, T. D. D. A.; FIGUEIREDO, R. D. O. Plantio direto na capoeira. *Ciênc. e Amb.* 29:99-111, 2004.

MENDONÇA, E. de S. & MATOS, E. da S. *Matéria orgânica do solo: métodos de análise*. Viçosa: UFV, 2005. 107p.

METZGER, J. P. Effects of slash-and-burn fallow periods on landscape structure. *Environ. Conserv.*, 30:325-333, 2003.

MORAES, J. L.; CERRI,C.C.; MELILLO J. M; KICKLIGHTER, D.; Neill,C; SKOLE, D. L. & STEUDLER, P. A.Soil carbon stocks of the Brazilian Amazon basin. *Soil Sci. Am. J.*, 59:244-247, 1995.

NEVES, C. M. N. das.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; MACEDO, R. L. G. & TOKURA, A. M. Estoque de carbono em sistema agrossilvopastoril, pastagem e eucalipto sob cultivo convencional na região Noroeste do Estado de Minas Gerais. *Ciênc. Agrotec.*, 28:1038-1046, 2004.

PICCOLO, A. & CONTE, P. Advances in nuclear magnetic resonance and infrared spectroscopies of soil organic particles. In: HUANG, P. M.; SENESI, N.; BUFFLE, J. (Ed.). *Structure and surface reactions of soil particles*, New York: J. Wiley, 1998. p. 184-250.

- PINHEIRO, E.F.M.; PEREIRA, M. G. & ANJOS, L.H.C. Aggregate distribution and soil organic matter under different tillage systems for vegetable crops in Red Latosol from Brazil. *Soil Till. Res.*, 30:1-6, 2004.
- ROSCOE R.; BUURMAN, P.; VELTHORST, E. J. & VASCONCELLOS, C. A. Soil organic matter dynamics in density and particle-size fractions as revealed by the $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ isotopic ratio in a Cerrado's Oxisol. *Geoderma*, Amsterdam, 104:185-202, 2001.
- ROSCOE, R. & MACHADO, P.L.O.A. Fracionamento físico do solo em estudo da matéria orgânica. Dourados: Embrapa agropecuária Oeste, 2002. 86p.
- ROSCOE, R.; & BUURMAN, P. Tillage effect on soil organic matter in density fractions of a Cerrado Oxisol. *Soil Till. Res.* 0:107-119, 2003.
- SCHLESINGER, W. H. Carbon sequestration in soils. *Science*, 284:20-45, 1999.
- SCHOLES, M.C.; POWSON, D. & TIAN, G. Input control of organic matter dynamics. In: ELIOT, J.M. etEds.) *Management of carbon in tropical soils under global changer: science, practice and policy*. *Geoderma*, 79:25-47, 1977.
- SHANG, C. & TIESSEN, H. Organic matter lability in a tropical oxisol: evidence from shifting cultivation, chemical oxidation, particle size, density, and magnetic fractionations. *Soil Sci.* 162:795-807, 1997.
- SILVA JR., M. L. da; DESJARDINS, T.; SARRAZIN, M.; MELO, V. S.de.; SANTOS, E.R. & CARVALHO, J. R. de. Carbon content in Amazonian Oxisols after Forest conversion to pasture. *R. Bras. Ci. Solo*, 33:1603-1611, 2009.
- SISTI, C. P. J.; SANTOS, H. P.; KOHHAN, R.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S. & BODEY, R. M. Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in southern Brazil. *Soil Till. Res.*, 76:39-58, 2004.
- SIX, J.; CONANT, R. T.; PAUL, E. A. & PAUSTIAN, K. Stabilization mechanisms of soil organic matter: Implications for C-saturation of soils. *Plant Soil*, 241:155–176, 2002.
- SIX, J.; ELLIOT, E. T.; PAUSTIAN, K. & DORAN, J. W. Aggregation and soil organic matter accumulation in cultivated and native grassland soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 62:1367-1377, 1998.
- SOHI, S. P.; MAHIEU, N.; ARAH, J. R. M.; POWLSON, D. S.; MADARI, B. & GAUNT, J. L. A procedure for isolating soil organic matter fractions suitable for modeling. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 65:1121-1128, 2001.
- SOMMER, R.; VLEK, P. L. G.; SÁ, T. D. D.; VIELHAUER, K.; COELHO, R. D. R. & FOLSTER, H. Nutrient balance of shifting cultivation by burning or mulching in the Eastern Amazon – evidence for subsoil nutrient accumulation. *Nutr. Cycl. Agroecosys.*, v. 68, p. 257-271, 2004.
- VELDKAMP, E. Organic Carbon Turnover in Three Tropical Soils under Pasture after Deforestation. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 58:175-180, 1994.

Quadro 1. Caracterização física e química do solo nas três profundidades avaliadas em cada sistema de uso: adubadeiras (ADUBAD), sistema agroflorestal biodiverso mecanizado (BIOMECC), sistema agroflorestal biodiverso manual (BIOMAN), sistema agroflorestal Tomé-açu (SAFTA) e floresta sucessional (FLSUC).

Uso	Camada (cm)	Areia	Silte	Argila	pH _{água}	P	K	Na ⁺²	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	C/N
ADUBAD	0-5	693	187	120	5,90	15,93	129,50	30,40	4,05	1,08	0,10	14,9
	5-10	704	97	200	5,88	11,67	105,10	26,07	3,21	0,93	0,13	14,8
	10-20	623	137	240	5,87	15,00	104,70	26,27	3,04	0,95	0,13	14,5
BIOMECC	0-5	724	136	140	5,51	17,20	63,40	27,20	4,48	1,39	0,10	14,7
	5-10	673	127	200	5,51	10,30	46,15	21,75	3,38	1,00	0,11	13,8
	10-20	573	148	280	5,51	6,00	39,95	18,60	2,64	0,78	0,17	13,8
BIOMAN	0-5	789	111	100	5,56	10,35	68,95	23,15	4,56	1,35	0,10	14,5
	5-10	726	114	160	5,56	7,60	44,75	17,60	3,45	1,14	0,11	13,5
	10-20	607	153	240	5,55	8,85	37,25	15,75	2,29	0,75	0,18	13,0
SAFTA	0-5	742	119	140	5,46	16,20	29,80	14,60	2,76	0,94	0,10	13,6
	5-10	665	135	200	5,47	6,00	21,00	11,40	1,86	0,60	0,18	11,9
	10-20	633	148	220	5,46	4,00	19,20	11,00	1,42	0,46	0,34	11,4
FLSUC	0-5	779	102	120	5,06	3,00	21,80	13,00	2,10	0,68	0,48	12,7
	5-10	719	122	160	5,07	2,00	19,20	12,00	1,64	0,58	0,40	11,7
	10-20	579	181	240	5,08	1,20	18,80	11,80	1,40	0,50	0,44	12,3

Quadro 2. Estoque de carbono corrigido nas frações: leve livre (FLL), leve oclusa (FLO), areia (F AREIA), fração silte + argila (FS+A) em diferentes sistemas de uso de Latossolo Amarelo nas profundidades: 0-5, 5 - 10 e 10 - 20 cm.

USO DO SOLO	FLL	FLO	F AREIA	F (S+A)
Mg ha ⁻¹ de C				
(0 - 5 cm)				
ADUBAD	2,56 (0,38) ⁽¹⁾ a ⁽²⁾	0,62	5,75 (0,48) ab	1,98 (0,14) bc
BIOMECA	2,15 (0,20) ab	0,21	5,00 (0,41) ab	2,81 (0,18) a
BIOMAN	2,10 (0,28) ab	0,29	6,40 (0,48) a	2,45 (0,10) ab
SAFTA	1,30 (0,26) abc	0,20	3,47 (0,40) b	2,05 (0,33) abc
FLSUC	0,76 (0,15) c	0,19	4,78 (0,68) ab	1,48 (0,11) c
(5 - 10 cm)				
ADUBAD	2,19 (0,24) a	0,42	5,76 (0,21) a	2,39 (0,11) c
BIOMECA	1,55 (0,16) b	0,20	4,44 (0,25) b	3,48 (0,14) a
BIOMAN	1,32 (0,13) bc	0,23	6,26 (0,31) a	2,95 (0,09) b
SAFTA	1,00 (0,19) bc	0,13	2,65 (0,17) c	2,48 (0,07) c
FLSUC	0,42 (0,03) c	0,07	3,20 (0,22) bc	2,98 (0,26) bc
(10 - 20 cm)				
ADUBAD	3,15 (0,34) a	0,67	10,42 (0,51) a	5,13 (0,25) "NS"
BIOMECA	2,00 (0,23) b	0,31	6,58 (0,52) b	6,76 (0,30)
BIOMAN	1,31 (0,13) c	0,29	8,48 (0,48) b	5,74 (0,17)
SAFTA	0,73 (0,09) c	0,15	5,94 (1,03) b	4,95 (0,42)
FLSUC	0,60 (0,06) c	0,08	4,76 (0,53) b	5,79 (0,62)

⁽¹⁾ Número entre parentêses ao lado direito das médias significa o erro padrão da média. ⁽²⁾ Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. "NS" não significativo dentro da mesma profundidade.

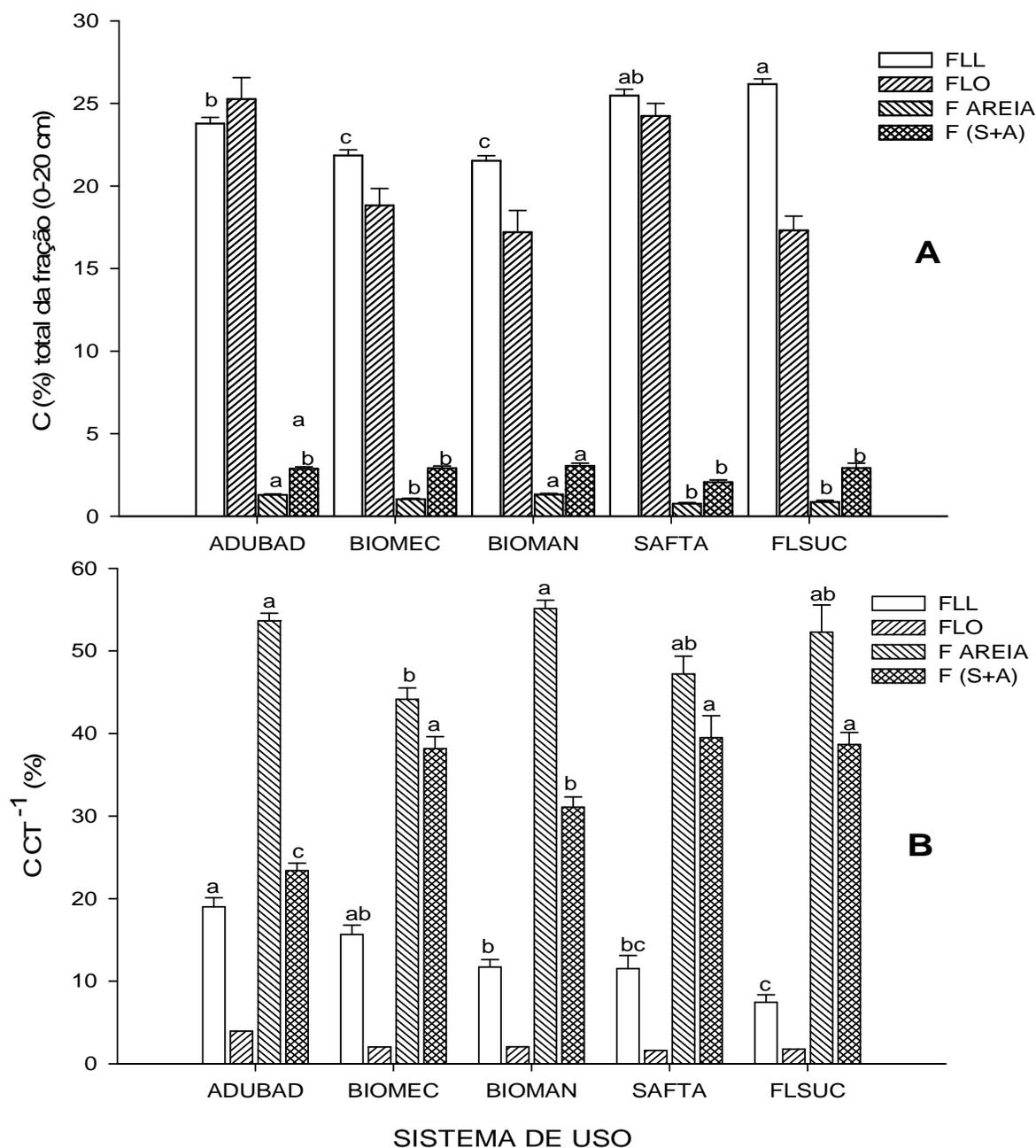


Figura 1. Percentagem do teor de carbono total nas frações (A) e Carbono das frações em relação ao carbono total do solo em percentagem (B) em cada sistema de uso: Adubadeiras (ADUBAD), sistema agroflorestal biodiverso mecanizado (BIOMECC), sistema agroflorestal biodiverso manual (BIOMAN), sistema agroflorestal Tomé-açu (SAFTA) e Floresta sucessional (FLSUC) na profundidade de 0-20 cm.

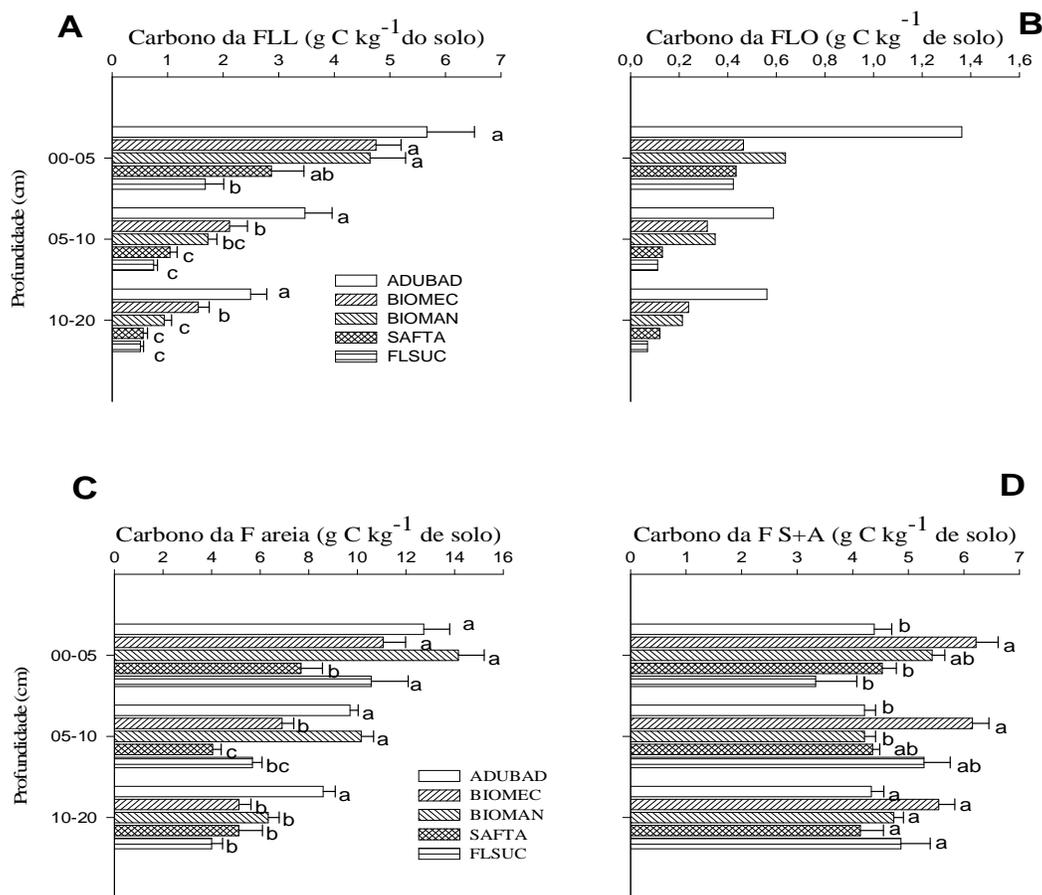


Figura 2. Fracionamento densimétrico das frações leve livre (FLL) (A) e leve oclusa (FLO) (B) e Fracionamento granulométrico das frações areia (FA), (C) e silte + argila (FS+A) (D) nas diferentes profundidades nos sistemas de uso: Adubadeiras(ADUBAD), sistema agroflorestal Biodiverso mecanizado (BIOMECC), sistema agroflorestal Biodiverso manual (BIOMAN), sistema agroflorestal Tomé-açu (SAFTA) e Floresta sucessional (FLSUC). Médias seguidas da mesma letra em cada profundidade não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade. Barras de erro representam erro padrão da média.

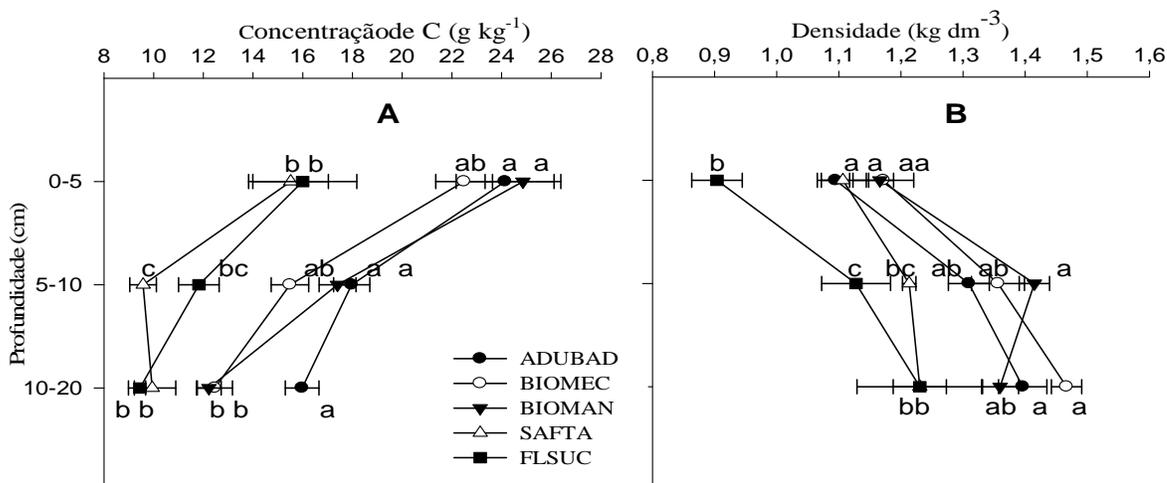


Figura 3. Concentração de carbono total do solo (A) (soma das FLL, FLO, FA e F S+A) e densidade do solo (B) nos sistemas de uso: Adubadeiras (ADUBAD), sistema agroflorestal Biodiverso mecanizado (BIOMECH), sistema agroflorestal Biodiverso manual (BIOMAN), sistema agroflorestal Tomé-açu (SAFTA) e Floresta sucessional (FLSUC) nas diferentes profundidades.

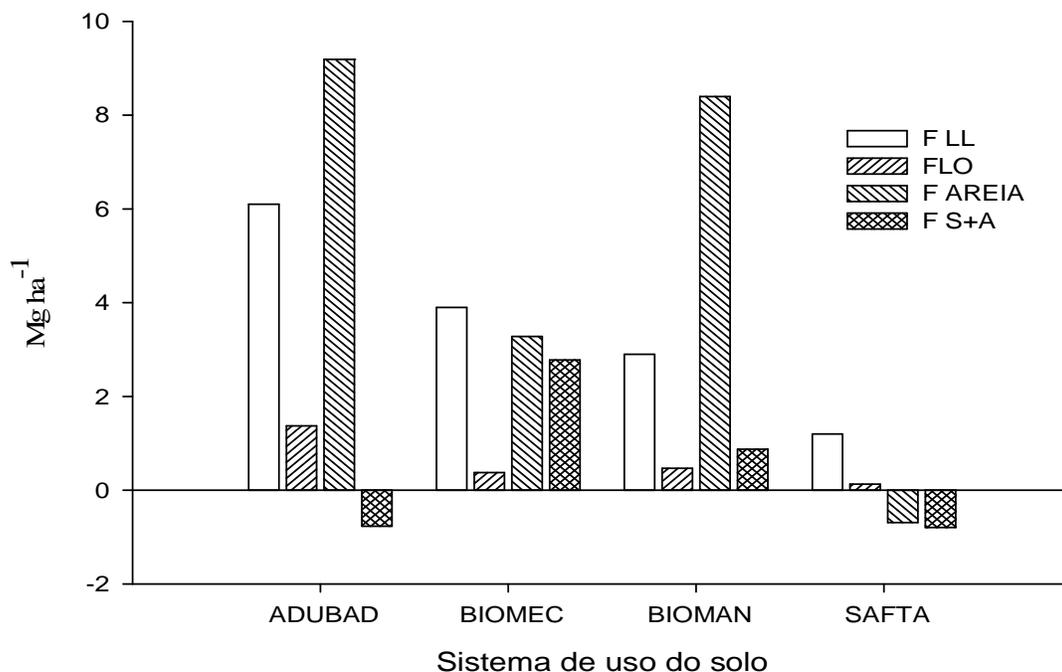


Figura 4. Balanço do estoque de carbono das frações leve livre (FLL), leve oclusa (FLO), areia (FA) e fração silte+argila (F S+A) dos sistemas de uso do solo Adubadeiras (ADUBAD), sistema agroflorestal Biodiverso mecanizado (BIOMECC), sistema agroflorestal Biodiverso manual (BIOMAN), sistema agroflorestal Tomé-açu (SAFTA) em relação a referência floresta sucessional (FLSUC) na profundidade de 0-20 cm.

CONCLUSÕES GERAIS

A pesquisa aqui definida mostrou que é perfeitamente possível manter e até mesmo elevar os estoques de carbono através do aporte de material orgânico da floresta sucessional à superfície do solo pela trituração mais o manejo. Os sistemas de uso com trituração associado à palma de óleo aumentaram significativamente a concentração de carbono nas camadas superficiais tendendo ao equilíbrio à medida que se aprofunda no perfil do solo. Em consequência há aumento do estoque de carbono total em comparação com floresta sucessional. Porém, ao utilizarmos esses dados devemos ter cautela, pois são sistemas muito diferentes.

O desmatamento para implantação dos sistemas alterou a estrutura do solo, evidenciado pelo aumento na densidade, possivelmente o manejo com SAFs leva à recuperação das condições físicas originais.

As camadas superficiais são as que apresentam os maiores valores de teor (frações labeis) e estoque de carbono (fração areia). A fração areia, pela elevada massa, foi a que mais contribuiu para o carbono total nos Latossolo Amarelo distrófico na Amazônia Oriental. Porém, é a fração granulométrica que apresenta o menor teor de carbono de fração, o que nos leva a concluir que a uma correlação direta entre concentração de carbono e textura do solo.

Os Latossolos Amarelos distrófico com Sistemas agroflorestais, originados do manejo de corte-e-queima, quando mal conduzidos estão servindo de fonte de carbono para a atmosfera. No entanto, o manejo adequado dos SAFs com grande aporte de material orgânico, como nos sistemas em estudo podem ser a solução para esse desequilíbrio ambiental.

Há necessidade da continuação do monitoramento desses sistemas de uso e manejo do solo, uma vez que o curto período de observação (3 anos) não é suficiente para conclusões de sistemas com palma de óleo que possuem uma vida útil de 25 anos. Com efeito, nesse particular, para futuros trabalhos sugere-se a aplicação da metodologia desta pesquisa viabilizando as comparações e conclusões.