



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

WALMIR RIBEIRO DE CARVALHO

**ESTOQUES DE CARBONO E NITROGÊNIO DO SOLO NA CULTURA DE PALMA
DE ÓLEO EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS ORGÂNICOS NA AMAZÔNIA
ORIENTAL**

BELÉM/PARÁ

2017



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

WALMIR RIBEIRO DE CARVALHO

**ESTOQUES DE CARBONO E NITROGÊNIO DO SOLO NA CULTURA DE PALMA
DE ÓLEO EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS ORGÂNICOS NA AMAZÔNIA
ORIENTAL**

Tese de doutorado apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, para obtenção do título de Doutor em Agronomia.

Orientador: Dr. Steel Silva Vasconcelos

BELÉM/PARÁ

2017

Carvalho, Walmir Ribeiro de

Estoque de carbono e nitrogênio no solo na cultura de palma de óleo em sistemas agroflorestais orgânicos na Amazônia Oriental/ Walmir Ribeiro de Carvalho. – Belém, 2017.
103 f.

Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal Rural da Amazônia/Embrapa Amazônia Oriental, 2017.

1. Sistema Agroflorestal. 2. Solo. 3. Carbono – Matéria orgânica. 4. Óleo 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
DOUTORADO EM AGRONOMIA**

WALMIR RIBEIRO DE CARVALHO

Tese apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte das exigências do Curso de Doutorado Agronomia: área de concentração Solos e Nutrição Mineral de Plantas, para obtenção do título de Doutor.

Aprovado em fevereiro 2017.

BANCA EXAMINADORA

Pesquisador Dr. Steel Silva Vasconcelos - Orientador
EMBRAPA AMAZÔNIA ORIENTAL

Pesquisador Dr. Osvaldo Ryohei Kato - 1º Examinador
EMBRAPA AMAZÔNIA ORIENTAL

Pesquisadora Dra. Debora Veiga Aragão – 2º Examinador
EMBRAPA AMAZÔNIA ORIENTAL

Prof. Dr. Gilson Sergio Bastos de Matos – 3º Examinador
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA

Prof^{ta}. Dra. Suzana Romeiro de Araújo - 4º Examinador
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA

*Aos meus pais Raimundo Uchôa de Carvalho e Maria Barbosa
Ribeiro de Carvalho (in memoriam), que me amaram
Incondicionalmente e dedicaram suas vidas a
Criar seus filhos, nos ensinando acima de
Tudo que a família é o maior bem que
Possuímos.*

*À minha esposa Erika Baker de Carvalho
Aos meus filhos Renata, Carolina e
Artur Baker de Carvalho
Pelo carinho.*

.....
DEDICO

*Aos meus irmãos Walter Ribeiro de Carvalho, Elisabete Ribeiro de Carvalho,
Walfredo Ribeiro de Carvalho, Elisete de Carvalho Sadalla,
Eliete de Carvalho Frade e Eliana Ribeiro de Carvalho
Pelos incentivos e respeito.*

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

A Deus que nunca nos abandona, mesmo nos momentos em que ficamos descrentes do seu imensurável amor.

Ao professor pesquisador Dr. Steel Silva Vasconcelos, pela orientação, amizade e paciência na condução deste trabalho.

A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa.

A Natura Inovação e Tecnologia de Produtos Ltda.

A Cooperativa Mista de Tomé-Açu – CAMTA.

A Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia dos Serviços Ambientais da Amazônia.

A equipe do Laboratório de Análise de Sistemas Sustentáveis da Embrapa Amazônia Oriental: Cléo Marcelo de Araújo Souza, Neusa Maria da Silva Ferreira, Everson Rocha Lima e Ivanildo Alves Trindade.

A Universidade Federal Rural da Amazônia e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, pela formação acadêmica e oportunidade de realização do curso de doutorado.

A Banca examinadora pelo aceite ao convite

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.

A Keila Christina Bernardes, Marcos Paulo Ferreira de Albuquerque, Augusto José Silva Pedroso e Sayme Carvalho pelo companheirismo e cumplicidade em todos os momentos.

Aos amigos do doutorado Gilson Sergio Bastos de Matos, Pedro Daniel de Oliveira, Katiane Raquel Bastos, Adriane da Rocha Costa, Danielle do Socorro Nunes Campinas, Antonia Kilma de Melo Lima, Helen Monique Nascimento Ramos, Christine da Silva Macedo e Priscilla Andrade Silva pelos momentos maravilhosos vividos.

A todos que possibilitaram que este trabalho se tornasse realidade.

Muito obrigado!

RESUMO

Nos últimos anos, a cultura da palma de óleo vem se expandindo com velocidade no nordeste do Estado do Pará. Estudar as modificações causadas pela introdução dessa cultura exógena, nos diferentes sistemas de uso do solo, torna-se fator preponderante, uma vez que os manejos inadequados dos mesmos proporcionam modificações na matéria orgânica, e essas alterações podem representar uma mudança no papel do solo como reservatório (estocagem ou armazenamento) de C, alterando as taxas de emissão de dióxido de carbono para a atmosfera, as quais são responsáveis pelo aumento da temperatura do planeta. Esses elementos dão subsídios para inferir sobre a qualidade do manejo do solo com essa cultura, sendo essas respostas identificadas ao analisarmos florestas sucessionais (secundárias) em comparação com os diferentes usos do solo nestas mesmas áreas. Assim, o objetivo desta pesquisa foi quantificar os estoques de Carbono e Nitrogênio em sistemas agroflorestais, comparando-os com palma de óleo em monocultivo, sistema agroflorestal tradicional formado pelo corte e queima, pastagem e floresta sucessional. Amostras de solo foram coletadas em cada sistema de uso em cinco parcelas nas profundidades: 0 – 5, 5 -10, 10 – 20 e 20 - 30 cm para determinar o teor de Carbono e Nitrogênio, bem como trincheiras foram abertas nas mesmas parcelas para a coleta de amostras indeformadas para os cálculos de densidade, e estoques de Carbono e Nitrogênio nos sistemas de uso. Em seguida, os dados foram submetidos à análise de variância com um, dois e três fatores e testes de médias múltiplas (Tukey). Os resultados mostram que, comparando os dois sistemas orgânicos (POSA e POSB), os maiores teores de Carbono (C) em relação à área de manejo foram encontrados na *linha da palma** em relação à *faixa dos SAFs* e maiores teores de Nitrogênio, *na coroa da palma* em relação à faixa dos SAFs na profundidade de 0 – 5 cm; os estoques de Carbono ponderado foram iguais estatisticamente. Comparando os locais dentro dos sistemas orgânicos entre si, o local *linha da palma* apresentou os maiores teores de¹ Carbono. Por sua vez, o local *coroa da palma*, apontou maior teor de Nitrogênio em relação à *faixa do SAFs*, e menores densidades aparentes em relação ao *carreador*. Entre os sistemas de uso, POSA apresentou maior densidade aparente do solo na primeira profundidade. Já os estoques de carbono foram semelhantes para os dois sistemas POSA (57,8 Mg ha⁻¹) e POSB (57,4 Mg ha⁻¹); POSA possui maior estoque de Nitrogênio (5,0 Mg ha⁻¹). Comparando os sistemas orgânicos com palma de óleo e o SAFs tradicional, o teor de Carbono e Nitrogênio, de maneira geral, é maior nos SAFs orgânicos até

*Palavras em itálico significam local de coleta ou área de manejo

20 cm de profundidade; SAFs tradicionais apresentam a menor densidade até 20 cm. Os sistemas orgânicos indicam maiores estoques de Carbono e Nitrogênio em relação ao sistema agroflorestal tradicional (SFTA). Entre todos os sistemas de uso em relação à floresta, os teores de C e N de 0 – 5 cm seguiu a sequência POSA > POSB > FLORESTA > SAFTA. Nos estoques de C e N entre todos os sistemas de uso do solo, os maiores estoques foram dos sistemas orgânicos; e o menor do sistema de uso SAFTA. No último capítulo, foi comparado palma de óleo em sistema agroflorestal e palma de óleo em monocultivo: Nos três locais de estudo (*linha da palma, coroa da palma e carreador*) da cultura, a linha da palma apresenta os maiores teores de Carbono. O sistema palma de óleo em SAF orgânico (POSAF) em comparação ao monocultivo (POMO) apresentou em todo o perfil do solo (0 – 30) os maiores teores e maiores estoques de Carbono e Nitrogênio. O sistema com palma de óleo (POSAF) estoca mais Carbono e Nitrogênio quando comparado aos outros sistemas de uso. Palma de óleo em sistema agroflorestal orgânico acumula mais Carbono do que palma de óleo em monocultivo. Em relação à distância do estipe da palma, os resultados indicaram maiores estoques de Carbono nos sistemas orgânicos à distância lateral de 60 cm em todas as profundidades, diminuindo conforme se distancia do estipe da palmeira. Sendo que o maior estoque por local foi encontrado no lugar denominado *coroa*, com as maiores densidades do solo encontradas no sistema convencional no local *carreador* até a profundidade de 20 cm, os sistemas conservacionistas orgânicos apresentaram os maiores estoques de Carbono no solo em relação ao monocultivo no total da profundidade da pesquisa.

Palavras – chave: densidade, monocultivo, florestas sucessionais, carbono.

ABSTRACT

In recent years, oil palm cultivation has been expanding rapidly in the northeast of the State of Pará. Studying the changes caused by the introduction of this exogenous crop in different land use systems becomes a preponderant factor, since the Inadequate managements of the same give rise to changes in organic matter, and these changes may represent a change in the role of the soil as a reservoir (storage or storage) of C, changing the emission rates of carbon dioxide to the atmosphere, which are responsible for the increase of the planet's temperature. These

elements provide insights on the quality of soil management with this crop, and these responses are identified when analyzing successional (secondary) forests in comparison to different land uses in these same areas. Thus, the objective of this research was to quantify the carbon and nitrogen stocks in agroforestry systems, comparing them with oil palm in monoculture, traditional agroforestry system formed by cutting and burning, pasture and successional forest. Soil samples were collected in each system of use in five plots at depths: 0 - 5, 5 - 10, 10 - 20 and 20 - 30 cm to determine the Carbon and Nitrogen content, as well as trenches were opened in the same plots for the collection of in deformed samples for density calculations, and Carbon and Nitrogen stocks in the systems of use. Then, the data were submitted to one, two and three-way analysis of variance and multiple mean tests (Tukey). The results show that the highest levels of carbon (C) in relation to the management area were found in the palm line in relation to the range of SAFs and higher levels of (N), in relation to the two organic systems (POSA and POSB). Crown of the palm in relation to the range of SAFs in the depth of 0 - 5 cm; The weighted C stocks were statistically the same. Comparing the sites within the organic systems with each other, the local palm line presented the highest levels of carbon. In turn, the local crown of the palm pointed higher Nitrogen content in relation to the range of SAFs, and lower apparent densities in relation to the carrier. Among the systems of use, POSA showed higher bulk density in the first depth. Carbon stocks were similar for the two POSA systems (57.8 Mg ha⁻¹) and POSB (57.4 Mg ha⁻¹); POSA has a higher stock of Nitrogen (5.0 Mg ha⁻¹). Comparing the organic systems with oil palm and the traditional SAFs, the Carbon and Nitrogen content, in general, is higher in the organic SAFs up to 20 cm deep; Traditional SAFs have the lowest density up to 20 cm. The organic systems indicate higher stocks of Carbon and Nitrogen in relation to the traditional agroforestry system (SFTA). Among all the systems of use in relation to the forest, the contents of C and N of 0 - 5 cm followed the sequence POSA > POSB > FORESTRY > SAFTA. In the C and N stocks among all the land use systems, the largest stocks were of the organic systems; And the smallest of the SAFTA usage system. In the last chapter, oil palm was compared in an agroforestry system and oil palm in monoculture: In the three study sites (palm line, palm crown and carrier) of the crop, the palm line presents the highest levels of Carbon. The oil palm system in organic SAF (POSAF) in comparison to the monoculture (POMO) presented the highest levels of carbon and nitrogen in the whole soil profile (0 - 30). The oil palm system (POSAF) stores more Carbon and Nitrogen when compared to other systems of use. Oil palm in an organic agroforestry system accumulates more Carbon than oil palm in monoculture. In relation to the distance of the palm stipe, the results indicated higher carbon

stocks in the organic systems at the lateral distance of 60 cm in all the depths, decreasing as it distances from the palm stipe. As the largest stock per site was found in the place called crown, with the highest soil densities found in the conventional system in the carrier site up to the depth of 20 cm, the organic conservation systems presented the largest stocks of Carbon in the soil in relation to the monoculture in the depth of the survey.

Keywords: density, monoculture, successional forests, carbon.

SUMÁRIO

RESUMO	6
ABSTRACT	7
1 CONTEXTUALIZAÇÃO	18
REFERÊNCIAS	22
2 ESTOQUES DE CARBONO E NITROGÊNIO NO SOLO EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS ORGÂNICOS E TRADICIONAL NA AMAZÔNIA ORIENTAL	24
RESUMO	24
ABSTRACT	25
2.1 Introdução	26
2.2 Material e métodos	28
2.2.1 Área de estudo	29
2.2.2 Descrição do experimento	31
2.2.3 Amostragem do solo, preparo das amostras e métodos analíticos	34
2.2.4 Análise estatística	35
2.3 Resultados	35
2.3.1 Teores de Carbono e Nitrogênio, Densidade aparente nos Safs orgânicos (POSA e POSB)	35
2.3.2 Estoques de Carbono nos Safs orgânicos (POSA e POSB)	37
2.3.3 SAFs com palma de óleo X SAFs convencional (SAFTA)	38
2.3.4 Estoques de carbono e nitrogênio nos SAFs	40
2.3.5 Safs X Floresta	41
2.4 Discussão	45
2.5 Conclusão	47
AGRADECIMENTOS	48
REFERÊNCIAS	49

3 PALMA DE ÓLEO EM SISTEMAS AGROFLORESTAL ESTOCA MAIS CARBONO E NITROGÊNIO DO QUE PALMA EM MONOCULTIVO TRADICIONAL NA AMAZÔNIA ORIENTAL	52
RESUMO	52
ABSTRACT	53
3.1 Introdução	54
3.2 Material e Métodos	55
3.2.1 Localização das áreas de estudo	55
3.2.2 Descrição do experimento	57
3.2.3 Amostragem, preparo das amostras e métodos analíticos	60
3.2.4 Estoque de Carbono e Nitrogênio no solo	61
3.2.5 Análise estatística	61
3.3 Resultados	62
3.3.1 Teores de Carbono e Nitrogênio, densidade aparente do solo em plantio de palma de óleo em sistema agroflorestal orgânico e palma de óleo em monocultivo (POSAF e POMO)	62
3.3.2 Estoque de carbono e nitrogênio entre POSAF e POMO	64
3.3.3 Teor de carbono e nitrogênio, densidade e estoques de carbono nos diversos sistemas de uso do solo.	64
3.4 Discussão	68
3.5 Conclusão	71
AGRADECIMENTOS	71
REFERÊNCIAS	72
4 ESTOQUE DE CARBONO EM RELAÇÃO AO ESTIPE DA PALMA DE ÓLEO	76
RESUMO	76
ABSTRACT	77
4.1 Introdução	77
4.2 Material e métodos	79
4.2.1 Área de estudo	79
4.2.2 Descrição do experimento	82
4.2.3 Preparo de área dos sistemas orgânicos (POSA e POSB)	

	83
4.2.4 Preparo de área monocultivo (POMO)	84
4.2.5 Coleta das amostras de solo	85
4.2.6 Teor de carbono e densidade	86
4.2.7 Estoque de Carbono no solo	87
4.2.8 Analise estatística	87
4.3 Resultados	88
4.4 Discussão	94
4.5 Conclusão	97
Considerações finais	98
Agradecimentos	99
Referencia	100

LISTA DE TABELA

ESTOQUES DE CARBONO E NITROGÊNIO NO SOLO EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS ORGÂNICOS E TRADICIONAL NA AMAZÔNIA ORIENTAL

- Tabela 1.** Caracterização física e química do solo em plantios de palma de óleo em sistemas agroflorestais e floresta. (Atributos físicos e químicos nos diferentes sistemas de uso do solo. 30
- Tabela 2.** Espécies plantadas nas faixas dentro dos sistemas agroflorestais com palma de óleo, POSA e POSB respectivamente com alta e baixa diversidades de espécies no município de Tomé-Açu, Amazônia Oriental, Brasil. 32
- Tabela 3.** Análise foliar de espécies adubadeiras utilizadas como fonte de nutrientes no cultivo de Palma de óleo (*Elaeis guineensis*) em SAFs, Tomé Açu (PA). 33
- Tabela 4.** Estoque de carbono e nitrogênio ponderado por área nos sistema de uso: POSA e POSB em diferentes profundidades. 38
- Tabela 5.** Estoques de carbono e nitrogênio nos sistemas de uso agroflorestais com palma de óleo (POSA e POSB) e sem palma de óleo – Sistemas agroflorestais tomé-açu (SAFTA) em diferentes profundidades do solo. 40
- ### **PALMA DE ÓLEO EM SISTEMAS AGROFLORESTAL ORGÂNICO ESTOCA MAIS CARBONO E NITROGÊNIO DO QUE PALMA EM MONOCULTIVO TRADICIONAL NA AMAZÔNIA ORIENTAL**
- Tabela 1.** Atributos físicos e químicos nos diferentes sistemas de uso do solo: Palma de óleo em sistemas agroflorestal orgânico, palma de óleo em monocultivo (POMO), pastagem (PASTO) e floresta sucessional (FLORESTA) nas profundidades de 0 – 5, 5 – 10, 10 – 20 e 20 – 30 cm, nordeste do Pará, Amazônia oriental, Brasil. 57
- Tabela 2.** Programa de adubação do plantio de palma de óleo em monocultivo 59
- Tabela 3.** Estoques de carbono e nitrogênio nos sistemas de uso do solo com palma de óleo em sistema agroflorestal orgânico (POSAF) e palma de óleo em monocultivo (POMO). 64
- Tabela 4.** . . Estoques de carbono e nitrogênio por profundidade nos sistemas de uso do solo: palma de Óleo em sistemas agroflorestais – POSAF, palma de óleo em monocultivo POMO, pastagem – PASTO, floresta secundária – FLORESTA - 66
- ### **ESTOQUE DE CARBONO EM RELAÇÃO AO ESTIPE DA PALMA DE ÓLEO**

SISTEMAS AGROFLORESTAIS E MONOCULTIVO NA AMAZÔNIA BRASILEIRA

- Tabela 1.** Caracterização física e química do solo em plantios de palma de óleo em sistemas agroflorestais e monocultivo. 81
- Tabela 2.** Espécies plantadas nas faixas dentro dos sistemas agroflorestais com palma de óleo, POSA e POSB respectivamente com alta e baixa diversidades de espécies no município de Tomé-Açu, Amazônia Oriental, Brasil. 82
- Tabela 3.** Análise foliar de espécies adubadeiras utilizadas como fonte de nutrientes no cultivo de Palma de óleo (*Elaeis guineensis*) em SAFs, Tomé Açu (PA). 83
- Tabela 4.** Programa de adubação do plantio de palma de óleo em monocultivo. 85
- Tabela 5.** Estoque de carbono nos sistemas de uso do solo: palma de óleo em Safs adubadeiras (POSA), palma de óleo em Safs biodiversos (POSB), palma de óleo em monocultivo (POMO) e local da coleta. 93

LISTA DE FIGURA

ESTOQUES DE CARBONO E NITROGÊNIO NO SOLO EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS ORGÂNICOS E TRADICIONAL NA AMAZÔNIA ORIENTAL

- Figura 01.** Mapa de localização da área de estudo em relação à linha do Equador, coordenadas geográficas, município de Tomé-Açu, Estado do Pará, Brasil 29
- Figura 02.** Média da precipitação e temperatura mensal de 29 anos (1985-2013) e precipitação mensal no ano de coleta das amostras (2012), município de Tomé-Açu, Estado do Pará, Brasil 29
- Figura 03.** Médias (N=10) dos teores de Carbono (A), Nitrogênio (B) e Densidade aparente do solo (C) por profundidade, 0 – 5, 5 – 10, 10 – 20 e 20 – 30 cm, entre locais de coleta de solo, coroa da palma, linha da palma, carreador e faixa do SAF nos sistemas de uso do solo: Palma de Óleo em SAFs Adubadeiras – POSA, Palma de Óleo em SAFs Biodiversos – POSB. Letras diferentes significam diferenças significativas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Barras nas profundidades representam erro padrão da média. 36
- Figura 04.** Média da Densidade aparente nos sistemas de uso em diferentes profundidades nos sistemas de uso do solo: Palma de Óleo em SAFs Adubadeiras – POSA, Palma de Óleo em SAFs Biodiversos – POSB. Letras diferentes significam diferenças significativas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Barras de erro representam erro padrão da média. 38
- Figura 05.** Médias dos teores de carbono (A) e nitrogênio (B), densidade aparente do solo (C) em diferentes sistemas agroflorestais com palma de óleo (POSA e POSB) e sem palma de óleo. 39
- Figura 06.** Estoques de carbono (A) e nitrogênio (B) nos sistemas de uso agroflorestais com palma de óleo (POSA e POSB) e sem palma de óleo – Sistemas agroflorestais Tomé-Açu (SAFTA) na profundidade de 0 – 30 cm do solo. 41
- Figura 07.** Médias dos teores de carbono (A) e nitrogênio (B), densidade aparente (C) do solo em diferentes sistemas agroflorestais em comparação à Floresta sucessional em diferentes profundidades do solo. 42

Figura 08. Estoques de carbono (A) e nitrogênio (B) nos sistemas de uso agroflorestais (POSA, POSB e SAFTA) em relação à Floresta sucessional na profundidade de 0 – 30 cm do solo. 44

PALMA DE ÓLEO EM SISTEMA AGROFLORESTAL ESTOCA MAIS CARBONO E NITROGÊNIO DO QUE PALMA EM MONOCULTIVO TRADICIONAL NA AMAZÔNIA ORIENTAL

Figura 01. Mapa de localização da área de estudo em relação à linha do Equador, coordenadas geográficas, município de Tomé-Açu, Estado do Pará, Brasil 56

Figura 02. Média da precipitação e temperatura mensal de 29 anos (1985-2013) e precipitação mensal no ano de coleta das amostras (2012), município de Tomé-Açu, Estado do Pará, Brasil 56

Figura 03. Médias (N=10) dos teores de Carbono (A), Nitrogênio (B) e Densidade aparente do solo (C) por profundidade. 62

Figura 04. Teores de carbono e nitrogênio por profundidades nos sistemas de uso do solo 63

Figura 05. Médias (N=10) dos teores de Carbono (A), Nitrogênio (B) e Densidade aparente do solo (C) por profundidade, 0 – 5, 5 – 10, 10 – 20 e 20 – 30 cm, entre áreas de manejo 65

Figura 06. Estoques de carbono (A) e nitrogênio (B) em toda profundidade (0 – 30 cm) nos sistemas de uso do solo: 67

ESTOQUE DE CARBONO EM RELAÇÃO AO ESTIPE DA PALMA DE ÓLEO

Figura 01. Mapa de localização da área de estudo, município de Tomé-Açu, Estado do Pará, Brasil 80

Figura 02. Média da precipitação e temperatura do ar mensal de 1985 a 2013. Precipitação mensal no ano de coleta das amostras (2012), em Tomé-Açu, Pará. 81

Figura 03. Sistemas de produção de palma de óleo orgânica em sistemas agroflorestais e monocultivo. 86

Figura 04. Local da coleta de amostras de solo nas distâncias em relação ao estipe da palma (metros) com respectivas profundidades (cm). 86

Figura 05. Teor de carbono (A) e nitrogênio (B) na distância de 0,6 metros do estipe da palma nos diferentes sistemas de uso 88

Figura 06 Teor de carbono (A) e nitrogênio (B) na distância de 1,2 metros do 89

estipe da palma nos diferentes sistemas de uso.

Figura 07 Teor de carbono (**A**) e nitrogênio (**B**) na distância de 2 metros do estipe da palma nos diferentes sistemas de uso. 90

Figura 08. Teor de carbono (**A**) e nitrogênio (**B**) na distância de 4,5 metros do estipe da palma nos diferentes sistemas de uso 91

Figura 09. Teores de carbono e nitrogênio por profundidade em relação à distância do estipe da palma. 92

Figura 10 Estoques de carbono nos sistemas de uso do solo (**A**): palma de óleo em SAFs adubadeiras (POSA), palma de óleo em SAFs biodiversos (POSB), palma de óleo em monocultivo (POMO) e no local da coleta (**B**) 94

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ADJ: adjacente

Al⁺³: Alumínio

ANP: Agência Nacional de Petróleo

%: Percentagem

C: Carbono

°C: Grau (s) Celsius

cm: Centímetros

Ca⁺²: Cálcio

C/N: relação carbono nitrogênio

CTC: Capacidade de Troca de Cátions

EMBRAPA: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

g: Grama

H+Al: Acidez potencial

IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

K⁺: Potássio

m: Metro

m %: Saturação por alumínio

Mg⁺²: Magnésio

mL: Mililitros

mm: Milímetro

MO: Matéria Orgânica

N: Nitrogênio

Na: sódio

PNPB: Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel

POSA: Palma de óleo em sistemas agroflorestais adubadeiras

POSB: Palma de óleo em sistemas agroflorestais biodiversos

P: Fósforo

pH: Potencial hidrogeniônico

SAFTA: Sistema agroflorestal Tomé-Açu

ZAE: Zoneamento agroecológico **Sistema** agroflorestal Tomé-Açu

ZAE-Dendê: Zoneamento agroecológico do dendê

1 CONTEXTUALIZAÇÃO

De origem africana, a palma de óleo (*Elaeis guineensis* Jacq) é uma Monocotiledônea, pertencente à família Arecaceae. No Brasil, é conhecida popularmente como dendê e é a oleaginosa que mais produz óleo no mundo, com produção mundial de óleo estimada em 65,50 milhões de toneladas na safra 2016/2017, (USDA, 2017). Esta palma de óleo apresenta como maior produtor mundial a Indonésia, com 35 milhões de toneladas, seguida pela Malásia, com 21 milhões de toneladas; esses países controlam, portanto, 86% da produção global de óleo dessa cultura (USDA, 2017). Segundo o Anuário Estatístico de Agroenergia (2014) o Brasil, com uma produção de óleo de 335 mil toneladas de óleo de palma produzidos em 122.000 ha, não é autossustentável nessa cultura, de modo que demanda, ainda, mais da metade dessa produção para seu suplemento completo (BRASIL, 2014).

Nos últimos anos, na Amazônia Oriental, há uma grande expansão do monocultivo da cultura de palma de óleo, em particular no nordeste do Estado do Pará, onde há mudança no uso do solo com substituição de florestas secundárias, pastagens e outros tipos de vegetação visando à implantação de projetos com essa cultura. Essas mudanças no uso do solo acarretam desequilíbrio no armazenamento de Carbono (C) e nas propriedades físico-químicas do solo, o que vem sendo avaliado pela pesquisa (FRAZÃO et al. 2012; RANGEL-VASCONCELOS et al. 2012; SANTIAGO et al. 2013; CARVALHO et al. 2014).

Segundo o Anuário Agropecuário de 2004, o Brasil possuía 59.301 hectares (ha) plantados de palma de óleo Agriannual (2005), de 2004 a 2013, o “Relatório da expansão do dendê na Amazônia brasileira” aponta um aumento percentual de 178% chegando a 166.000 ha, sendo o Estado do Pará responsável por mais de 90% de área plantada (REPÓRTER BRASIL, 2013).

Anteriormente, a palma de óleo era cultivada apenas para atender a indústria alimentícia. Com a crescente demanda por oleaginosas produtoras de biocombustível e o aumento populacional, a procura pelo óleo de palma foi ampliada, tanto no mercado de alimentos quanto no mercado de biocombustíveis, principalmente por ser a oleaginosa que mais produz óleo por área plantada com produção regular o ano inteiro (EMBRAPA, 2013).

Essa expansão, a partir de 2005, deve-se a criação do Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB) o qual se fundamenta na introdução de percentagens de óleos vegetais na matriz energética do diesel com princípios orientadores de inclusão social e redução das disparidades regionais (ANP, 2015).

Dando continuidade ao PNPB, em 2010, dois acontecimentos foram preponderantes para a expansão da palma de óleo: a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) apresentou Zoneamento Agroecológico e Econômico da Palma de Óleo (ZAE-Dendê) que se transforma no instrumento de ordenamento territorial utilizado pelo governo federal para que o País garanta a expansão do cultivo da palma de óleo em bases sustentáveis; e, na cidade de Tomé-Açu-Pa, o Governo lançou o Programa de Produção Sustentável da Palma de Óleo, que proíbe a derrubada de floresta nativa para produção de palma e estabelece regras claras para a expansão do cultivo, conciliando proteção e recuperação do meio ambiente, investimento, inovação tecnológica e geração de renda na agricultura familiar (BRASIL, 2010).

A expansão da cultura da palma de óleo ocorre também porque, nos últimos anos, tem trazido um forte apelo ambiental, além de mostrar-se como atividade produtiva em condições de preservar o meio ambiente sem fortes agressões à floresta nativa, podendo ser plantada em áreas degradadas, possibilitando um perfeito recobrimento dessas quando adulta e, na fase jovem, pode ser associado a leguminosas de cobertura de solo. Para Nahum e Malcher (2014) a cultura da palma de óleo pode ser enquadrada no chamado desenvolvimento sustentável, sendo mais uma oportunidade de negócios na Amazônia.

No Brasil, palma de óleo foi introduzida pelos escravos no Estado da Bahia, porém encontrou condições edafoclimáticas favoráveis para seu desenvolvimento no Estado do Pará. Nesse estado, os sistemas comerciais de produção de palma são predominantemente praticados nos moldes convencionais, preconizando-se o monocultivo e o consumo de insumos industrializados, principalmente fertilizantes, o que o torna incompatível com a realidade socioeconômica do produtor rural familiar da região amazônica (SANTIAGO et al., 2013).

Para inserção da agricultura familiar, sistemas alternativos ao monocultivo da palma de óleo vêm sendo testados pela pesquisa. Em 2007, foi implantado em Tomé-Açu-Pará o “Projeto Dendê: Sistemas Agroflorestais na Agricultura Familiar”, resultado da integração da iniciativa pública e privada, a fim de investigar o impacto de sistemas agroflorestais com palma de óleo sobre a biodiversidade, polinização, qualidade do solo e ciclagem de carbono e nutrientes, em função da técnica de preparo de área e do arranjo de espécies agrícolas e florestais, tendo como público alvo os produtores rurais familiares.

Nesse sistema alternativo agroflorestal, é utilizada a técnica de preparo do solo conhecida como trituração da capoeira, que se caracteriza basicamente por corte e trituração da vegetação secundária, com deposição na superfície do solo da vegetação triturada para fins de cobertura morta (KATO et al., 2004). Os sistemas agroflorestais, além de apropriados às

características da agricultura familiar na Amazônia, são alternativas sustentáveis à predominância do modelo da monocultura da palma de óleo.

No momento atual, o espaço agrário no nordeste paraense é marcado pela cultura da palma de óleo. A velocidade, intensidade e amplitude do movimento de expansão desse cultivo no Pará são ritmadas pelas políticas de estado para a agricultura de energia, tais como o Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel e o Programa de Produção Sustentável de Palma de Óleo, bem como pelas demandas do mercado consumidor (NAHUM E MALCHER, 2014)

Avaliar o impacto da expansão da cultura de palma de óleo sobre os estoques de carbono e as propriedades físico-químicas do solo requer mais informações, uma vez que anterior a esta expansão, a cultura se desenvolveu pelo desmatamento da floresta natural. A partir do Zoneamento Agroecológico (ZAE), criado pelo Decreto-lei 7.172, de 07 de maio de 2010, é garantida como prioridade a sustentabilidade em seus aspectos econômicos, sociais e ambientais, regulando a exploração dessa cultura que só pode ser realizada em áreas antropizadas até 2008 (BRASIL, 2010).

As propriedades físicas do solo incluem a textura do solo, estrutura, porosidade, densidade do solo, resistência à penetração e drenagem. Essas propriedades são importantes no crescimento e desenvolvimento das raízes das culturas, principalmente na disponibilidade de oxigênio e água. Quando um solo apresenta desequilíbrio em uma dessas propriedades não há como sustentar a produtividade das culturas (YAHYA et al., 2009).

A utilização de máquinas e implementos agrícolas no manejo das culturas contribuem para o aumento gradual da densidade do solo e conseqüente compactação do solo. Uma pesquisa realizada por Peralta et al. (1985) na Costa Rica indica que o bom manejo das propriedades físicas do solo pode resultar em aumento do rendimento e melhor aproveitamento dos fertilizantes pela cultura da palma de óleo.

O uso frequente de máquinas nos carregadores de acesso às colheitas pode danificar as raízes adventícias, as quais são essenciais no desenvolvimento da palma jovem, na absorção de água, minerais e nutrientes na superfície do solo. Essas raízes desempenham papel importante no crescimento, na reprodução, formação de flores e no estabelecimento dos frutos na palma de óleo (SUMMUGAM; RENGASAMY, 2001). Portanto, são desejáveis máquinas leves e uso menos frequente dos carregadores no interior do plantio.

Mediante aos assuntos em questão, esse estudo foi desenvolvido em Tomé-Açu, nordeste do Pará, propondo responder: Qual o impacto nos estoques de carbono, nitrogênio e

densidade do solo após a transformação da floresta sucessional em diferentes sistemas de produção?

Para responder a essa pergunta serão testadas as seguintes hipóteses: (a) os sistemas agroflorestais com palma de óleo, após trituração da capoeira, apresentarão maiores estoques de carbono e nitrogênio; (b) o sistema de produção pastagem apresentará densidades mais alta, (c) sistema convencional de palma de óleo nos carreadores apresentarão as maiores densidades do solo e maiores estoques de carbono e nitrogênio na coroa do dendê e no material de poda.

REFERÊNCIAS

AGRIANUAL 2005: Anuário da agricultura brasileira. São Paulo, FNP Consultoria e Comércio, 2005.

ANP. Biodiesel. Agência Nacional de Petróleo. A evolução dos biocombustíveis no Brasil. 2012. Disponível em <<http://www.anp.gov.br/?id=470>>. Acesso em 2 fev. 2015.

BRASIL. Programa de Produção Sustentável da Palma de Óleo no Brasil. Brasília, DF, 2010. 9 p.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Anuário estatístico de agroenergia 2014: statistical yearbook of agrienergy. Brasília: Secretaria de Produção e Agroenergia, 2014. 206 p.

EMBRAPA, 2013. Relatório Síntese do I Workshop do Programa de Produção Sustentável da Palma de Óleo no Brasil / Marcos Enê Chaves Oliveira, Ana Laura dos Santos Sena, Mazillene Borges de Souza Wonghan Silva. - Belém, Pa: Embrapa Amazônia Oriental, 2013.

CARVALHO, W. C.; VASCONCELOS, S.S.; KATO, O. R.; BISPO, C. J. C.; CASTELLANI, D. C.; Short-term changes in the soil carbon stocks of young oil palm-based agroforestry systems in the eastern Amazon, **Agroforestry Systems**, v. 88, p. 357-368, 2014.

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

NAHUM, J. S. E MALCHER, A. T. C. « Dinâmicas territoriais do espaço agrário na Amazônia: a dendeicultura na microrregião de Tomé-Açu (PA). », *Confins* [Online], 16 | 2012, posto online em 03 Novembro 2012, Consultado: 14 dezembro 2014. URL: - <http://confins.revues.org/7947> ; DOI : 10.4000/confins.7947.

NAHUM, JOÃO SANTOS, E MALCHER, ANTONIO TIAGO CORREA - Dinâmicas territoriais do espaço agrário na Amazônia: a dendeicultura na micro-região de Tomé Açu (PA) - <http://confins.revues.org/7947>.

YAHYA, Z.; HUSIN, A; TALIB, OTHMAN, J; AHMED, O. H.; JALLLOH, M. B. Compaction Effects on Physical Properties of Bernam Series in an Oil Palm Plantation. **American Journal of Applied Sciences** 6 (12): 2006-2009, 2009.

PERALTA, F.; O. VASQUEZ; D. L. RICHARDSON; A. ALVARDO; E. BORNEMIZA. Effect of some soil physical characteristics on yield, growth and of the oil palm in Costa Rica. **Oléagineux**, 40: 423-428, 1985.

RANGEL-VASCONCELOS, L. G. T.; KATO, O. R.; VASCONCELOS, S. S. Matéria orgânica leve do solo em sistema agroflorestal de corte e trituração sob manejo de capoeira. *Pesquisa agropecuária brasileira*. v. 47, n. 8, p. 1142-1149, 2012.

REPÓRTER BRASIL - Organização de Comunicação e Projetos Sociais: Relatório “Expansão do dendê na Amazônia brasileira: elementos para uma análise dos impactos sobre a agricultura familiar no nordeste do Pará”, 2013. Disponível em: <http://reporterbrasil.org.br/> Acesso em: 20 fev. 2015

SANTIAGO, W. R. VASCONCELOS, S. S.; KATO, O. R.; BISPO, C. J. C.; RANGEL-VASCONCELOS, L. G. T.; CASTELLANI, D. C. Nitrogênio mineral e microbiano em sistemas agroflorestais com palma de óleo na Amazônia oriental. **Acta Amazônica**, v. 43, p. 395-406, 2013.

SUMMUGAM, S.; RENGASAMY, O. Mechanisatio in the oil palm plantation: Problems and practices. **Palmas**, 22: 59-70, Nº 1, 2001.
<http://reporterbrasil.org.br/documentos/Dende2013.pdf>.

SUFRAMA/FGV. Potencialidades regionais. Estudo da viabilidade econômica do dendê. Manaus. 2003. Disponível em: <http://www.suframa.gov.br/publicacoes/proj_pot_regionais/dende.pdf>. Acessado em: 01/12/2014.

UNITED STATES. Department of Agriculture. Foreign Agricultural Service. Oilseeds: world market and trade. 2016. Disponível em: <<http://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/oilseeds.pdf>>. Acesso em: 03 fev. 2017.

2 ESTOQUES DE CARBONO E NITROGÊNIO NO SOLO EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS ORGÂNICOS E TRADICIONAL NA AMAZÔNIA ORIENTAL

RESUMO

Sistemas de produção e manejo que aumentem os estoques de carbono e nitrogênio no solo são essenciais para a expansão do cultivo sustentável da palma de óleo na Amazônia Oriental. O objetivo desta pesquisa foi avaliar as mudanças nos estoques de carbono do solo após a conversão de florestas secundárias em sistemas agroflorestais onde figura a cultura da palma, bem como SAFs tradicionais, para podermos inferir possíveis mudanças nesses sistemas de uso do solo. Para isso, foram avaliados quatro sistemas de uso do solo (tratamentos) sendo: dois sistemas agroflorestais orgânicos denominados de palma de óleo em sistemas agroflorestais adubadeiras (POSA) e palma de óleo em sistemas agroflorestais Biodiversos (POSB), um Sistema agroflorestal tradicional de Tomé-Açu (SAFTA) e floresta sucessional (secundária) de 15 anos (Floresta). Foram coletadas amostras nas profundidades: 0 – 5, 5 – 10, 10 – 20 e 20 – 30 cm para avaliar os teores de carbono e nitrogênio e consequente densidade para cálculo dos estoques desses elementos no solo. Comparando os dois sistemas orgânicos (POSA e POSB), os maiores teores de Carbono (C) em relação à área de manejo foram encontrados na linha da palma em relação à faixa dos SAFs e maiores teores de (N), na coroa da palma em relação à faixa dos SAFs na profundidade de 0 – 5 cm; os estoques de C ponderado foram iguais estatisticamente. Comparando os locais dentro dos sistemas orgânicos entre si, o local Linha da Palma apresentou os maiores teores de carbono, o local Coroa apontou maior nitrogênio em relação à Faixa do SAF e menores densidades em relação ao Carreador. O sistema de uso POSA apresentou maior densidade na primeira profundidade. Os estoques de carbono foram semelhantes para os dois sistemas POSA (57,8 Mg ha⁻¹) e POSB (57,4 Mg ha⁻¹), POSA possui maior estoque de nitrogênio (5,0 Mg ha⁻¹). Comparando os sistemas orgânicos e o SAF tradicional, o teor de carbono e nitrogênio, de maneira geral, é maior nos SAFs orgânicos até 20 cm. SAFs tradicionais apresentam a menor densidade até 20 cm. Os sistemas orgânicos apresentam maiores estoques de carbono e nitrogênio em relação ao sistema agroflorestal tradicional (SFTA). Entre todos os sistemas em relação à floresta, os teores de C e N de 0 – 5 cm seguiu a sequência POSA > POSB > FLORESTA > SAFTA. Nos estoques de C e N, entre todos os sistemas de uso do solo, os maiores estoques foram dos

sistemas orgânicos, e o menor do sistema de uso SAFTA. O tipo de manejo sem adoção do corte-queima, com aporte de material orgânico pela trituração da floresta sucessional e plantio de leguminosas, contribuiu para os Sistemas Agroflorestais orgânico (POSA e POSB) com palma de óleo, após cinco anos de implementação, tornaram-se sustentáveis na manutenção dos estoques de carbono e nitrogênio no solo, ainda sendo superior à referência floresta.

Palavras chaves: floresta secundária, palma de óleo, floresta, carbono no solo.

STOCKS AND CARBON AND NITROGEN LEVELS IN SOIL IN ORGANIC AGROFORESTRY SYSTEMS AND TRADITIONAL IN THE EASTERN AMAZON

ABSTRACT

Production and management systems that increase carbon and nitrogen stocks in the soil are essential for the expansion of sustainable palm oil cultivation in the Eastern Amazon. The objective of this research was to evaluate the changes in soil carbon stocks after the conversion of secondary forests to agroforestry systems, where the palm crop is represented, as well as traditional SAFs, in order to infer possible changes in these land use systems. For this, four soil use systems (treatments) were evaluated: two organic agroforestry systems, called oil palm in agroforestry fertilizer systems (POSA) and oil palm in agroforestry systems Biodiverse (POSB), a traditional agroforestry system of Tomé-Açu (SAFTA) and successional (secondary) forest of 15 years (Forest). Samples were collected at the depths: 0 - 5, 5 - 10, 10 - 20 and 20 - 30 cm to evaluate the carbon and nitrogen contents and consequent density for the calculation of soil elemental stocks. Comparing the two organic systems (POSA and POSB), the highest levels of carbon (C) in relation to the management area were found in the palm line in relation to the range of SAFs and higher levels of (N), in the palm crown in Relation to the SAFs range in the 0 - 5 cm depth; The weighted C stocks were statistically the same. Comparing the sites within the organic systems with each other, the local Palm Line presented the highest carbon content, the Crown site showed higher nitrogen in relation to the APF Range and lower densities in relation to the Carrier. The POSA system

presented higher density in the first depth. Carbon stocks were similar for both POSA (57.8 Mg ha⁻¹) and POSB (57.4 Mg ha⁻¹) systems, POSA had a higher nitrogen stock (5.0 Mg ha⁻¹). Comparing organic systems and traditional SAF, the carbon and nitrogen contents are generally higher in organic SAFs up to 20 cm. Traditional SAFs have the lowest density up to 20 cm. The organic systems present larger stocks of carbon and nitrogen compared to the traditional agroforestry system (SAFTA). Among all systems in relation to the forest, the contents of C and N of 0-5 cm followed the sequence POSA > POSB > FOREST > SAFTA. In the C and N stocks, among all the land use systems, the largest stocks were of the organic systems, and the lowest of the SAFTA use system. The type of management without the adoption of cutting-off, with the contribution of organic material by the trituration of the successional forest and planting of legumes, contributed to the Organic Agroforestry Systems (POSA and POSB) with oil palm, after five years of implementation, if sustainable in the maintenance of the carbon and nitrogen stocks in the soil, still being superior to the forest reference.

Keywords: secondary forest, oil palm, forest, soil carbon

2.1 Introdução

Nos últimos anos, na Amazônia Oriental (nordeste do Pará), observa-se uma dinâmica territorial impulsionada pela expansão do monocultivo da cultura de palma de óleo (*Elaeis guineensis* Jacq.), especificamente na microrregião de Tomé-Açu. Com a implantação desses sistemas de produção, com cultura exógena, está ocorrendo mudanças no uso do solo que acarretam transformações na dinâmica do carbono orgânico no perfil do solo (Frazão et al., 2012) e, dependendo das características da área e do sistema de manejo adotado, essas alterações podem representar uma mudança no papel do solo como reservatório (estocagem ou armazenamento) de C, alterando as taxas de emissão de dióxido de carbono para a atmosfera (FERNANDES; FERNANDES, 2014), as quais são responsáveis pelo aumento da temperatura do planeta.

Essa dinâmica territorial remonta desde 2005, a partir da criação do Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB), a qual se fundamenta na introdução de percentagens de óleos vegetais na matriz energética do diesel; com princípios orientadores de

inclusão social e redução das disparidades regionais (BRASIL, 2014). Em consequência disso, a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) apresenta o Zoneamento Agroecológico e Econômico da Palma de Óleo (ZAE-Dendê) que se transforma no instrumento de ordenamento territorial utilizado pelo governo federal para que o País garanta a expansão do cultivo da palma de óleo em bases sustentáveis.

Por sua vez, em 2010, na cidade de Tomé-Açu (PA), o Governo lançou o Programa de Produção Sustentável da Palma de Óleo, que proíbe a derrubada de floresta nativa para produção de palma e estabelece regras claras para a expansão do cultivo, conciliando proteção e recuperação do meio ambiente, investimento, inovação tecnológica e geração de renda na agricultura família (BRASIL, 2010).

A palma de óleo, de origem Africana, foi introduzida no Brasil pelos escravos no Estado da Bahia, porém, encontrou condições edafoclimáticas favoráveis para seu desenvolvimento no Estado do Pará, com uma área plantada de 166.000 hectares. Nesse estado, os sistemas comerciais de produção de palma são predominantemente praticados nos moldes convencionais, preconizando-se o monocultivo e o consumo de insumos industrializados, principalmente fertilizantes, o que o torna incompatível com a realidade socioeconômica do produtor rural familiar da região amazônica (Santiago et al., 2013).

Do ponto de vista ambiental, por acarretar mudanças no uso do solo, na implantação e manejo desses sistemas, acredita-se que haja necessidade de incrementar pesquisas voltadas para o estudo da dinâmica do carbono e nitrogênio no solo para encontrar métodos alternativos de cultivo ou mitigar os efeitos advindos com a implantação desses novos projetos de expansão da palma de óleo no ecossistema amazônico.

Para inserção da agricultura familiar, sistemas alternativos ao monocultivo da palma de óleo vêm sendo testados pela pesquisa. Em 2007, foi implantado, em Tomé-Açu-Pará, o “Projeto Dendê: Sistemas Agroflorestais na Agricultura Familiar”, resultado da integração da iniciativa pública e privada, com o objetivo de investigar o impacto de sistemas agroflorestais com palma de óleo sobre a biodiversidade, polinização, qualidade do solo e ciclagem de carbono e nutrientes, utilizando a técnica de preparo de área e do arranjo de espécies agrícolas e florestais, tendo como público alvo os produtores rurais familiares.

Nesse sistema alternativo agroflorestal, é utilizada a técnica de preparo do solo conhecida como trituração da capoeira, que se caracteriza basicamente por corte e trituração da vegetação secundária, com deposição na superfície do solo da vegetação triturada para fins de cobertura morta (KATO et al., 2004). Os sistemas agroflorestais, além de apropriados às

características da agricultura familiar na Amazônia, são alternativas sustentáveis à predominância do modelo da monocultura da palma de óleo.

Alguns estudos, dentro desse projeto alternativo de produção de palma de óleo, já foram realizados, por exemplo, Carvalho et al. (2014) estudando estoques de carbono no solo na profundidade de 0–50 cm entre SAFs orgânicos com alta e baixa diversidades de espécies. Tendo como referência uma floresta secundária, observou um ganho líquido anual dos sistemas orgânicos em média de 7,4 Mg C ha⁻¹ ano⁻¹, o estudo justificou esses ganhos pela não utilização do fogo no preparo da área e pela entrada de fertilizantes por meio de resíduos vegetais, resultado das capinas e podas. Santiago et al., (2013) estudando os mesmos sistemas, observou que há diferenças nos teores de carbono e nitrogênio em relação à sazonalidade da precipitação pluviométrica com maior teor de carbono na época seca.

Frazão et al. (2012) estudando uma cronossequência no monocultivo de palma de óleo para avaliar as mudanças nos estoques de C no solo, após a conversão de floresta primária e pastagem para a produção de óleo de palma na região amazônica, observou que: ao converter florestas primárias para o plantio de palma de óleo, há uma perda de carbono para atmosfera, principalmente pela perda de biomassa acima do solo cerca de 136 Mg C ha⁻¹; enquanto que ao transformar pastos para o plantio de palma de óleo, há perdas também, porém isso pode ser compensado pela entrada acima do solo da biomassa da ordem de 41,4 Mg C ha⁻¹, durante os primeiros 12 anos em relação a pastagem (SILVA et al., 2000).

Neste estudo, como a cultura da palma de óleo vem se expandindo em áreas da Amazônia coberta por mata secundária (capoeira), pastagem, sistemas agroflorestais e outros tipos de cobertura do solo, é fundamental compreender as consequências ambientais nos estoques de carbono e nitrogênio na mudança do uso solo por sistemas de produção alternativos com cultivo de palma de óleo em sistemas agroflorestais com alta e baixa diversidade de espécies.

Diante dessa problemática, o objetivo deste estudo é avaliar as mudanças nos estoques de carbono do solo após a conversão de florestas secundárias em sistemas agroflorestais orgânicos com palma de óleo em relação à SAFs tradicionais e floresta secundária; para podermos inferir possíveis mudanças nesses sistemas de uso do solo, utilizados na expansão dessa cultura exógena na Amazônia oriental brasileira.

2.2 Material e métodos

2.2.1 Área de estudo

O estudo foi realizado no Distrito de Quatro Bocas, município de Tomé-Açu (02° 20' 59" de latitude sul e 48° 15' 36" de longitude a oeste de Greenwich), localizado na Mesorregião Nordeste do Estado do Pará, à margem esquerda do Rio Acará, a 200 km da capital Belém com altitude de 53 metros (Figura 1).

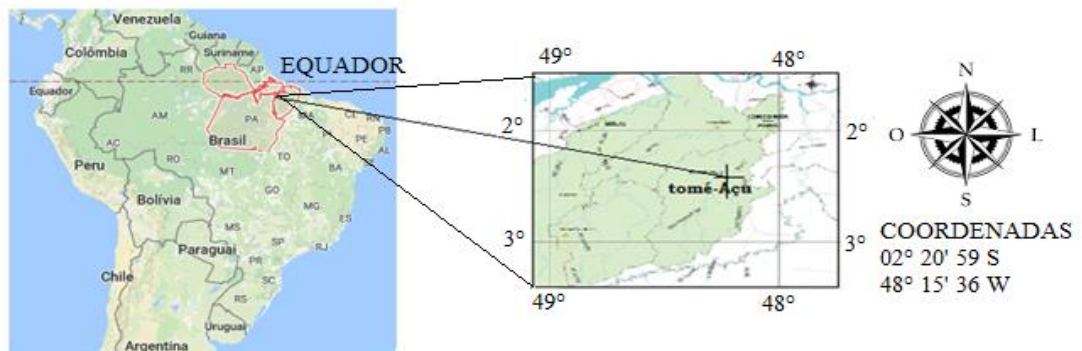


Figura 1. Mapa de localização do município de Tomé-Açu onde o estudo foi desenvolvido em relação à América do sul (observe linha do Equador), coordenadas geográficas, nordeste do Pará, Brasil.

O clima de Tomé-Açu (Fig. 2) é classificado como tropical quente úmido (Ami, segundo a classificação de Köppen), com uma estação seca de junho a novembro, a precipitação pluviométrica anual é de 2.463,8 mm, com maior incidência de chuvas de dezembro a maio, correspondendo a 81,2 % do total da precipitação anual. A temperatura média anual é 26,3°C, variando mensalmente entre 21,0°C (agosto) e 33,8°C (outubro) com brilho solar anual de 2.372,3 horas.

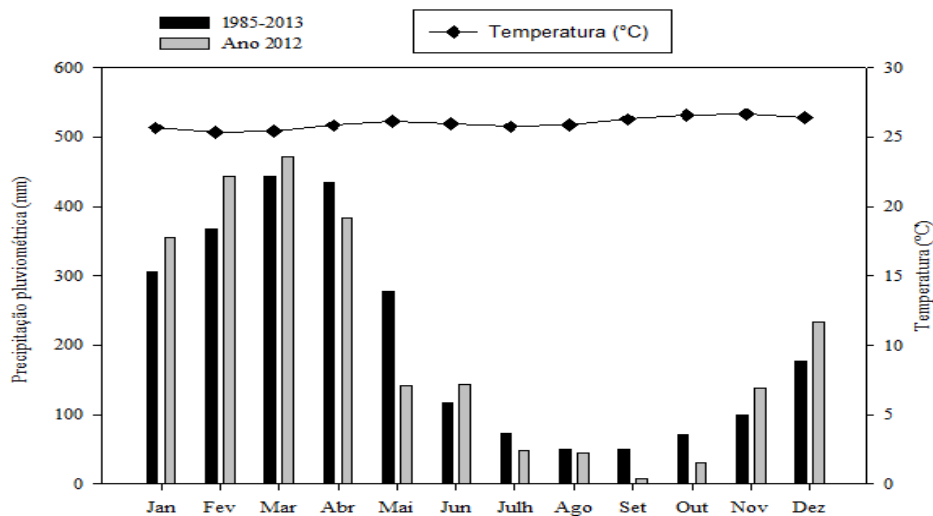


Figura. 2 Média da precipitação e temperatura do ar mensal de 1985 a 2013 e precipitação mensal no ano de coleta das amostras (2012), em Tomé-Açu, Pará.

A umidade relativa do ar média anual é 85%, variando entre 80% (outubro) e 89% (março e abril). Estes dados meteorológicos foram coletados na Estação Climatológica da Embrapa Amazônia Oriental localizada em Tomé-Açu, e compreendem valores médios do período de 1985 a 2013. Os solos predominantes no município são os Latossolos Amarelos (Embrapa, 1999), textura franco-arenosa nos primeiros 20 cm tornando-se franco argilo-arenosa conforme aprofunda-se no perfil (CARVALHO et al., 2014). Características químicas e físicas do solo na Tabela 1.

Tabela 1. Caracterização física e química do solo em plantios de palma de óleo em sistemas agroflorestais e floresta. (Atributos físicos e químicos nos diferentes sistemas de uso do solo:

Sistema de uso do solo	Granulometria			Fertilidade								
	Areia	Silte	Argila	pH	P	K	Na	Ca	Mg	Al	H+Al	
	g kg ⁻¹			água	mg/dm ³			cmol _c /dm ³				
	Prof. 0 - 5 cm											
POSA	693	187	120	5,0	10,7	81,7	8,9	4,4	1,0	0,2	3,9	
POSB	724	136	140	5,2	12,3	57,7	6,4	5,0	1,2	0,2	3,5	
SAFTA	742	119	140	5,2	27,0	58,8	5,6	3,2	1,2	0,1	2,1	
FLORESTA	779	102	120	4,6	4,8	38,4	5,2	3,1	0,7	0,4	4,9	
	Prof. 5 - 10 cm											
POSA	704	97	200	5,2	8,3	64,4	8,3	3,5	0,8	0,2	3,3	
POSB	673	127	200	5,3	5,1	41,7	5,1	3,1	0,8	0,2	3,2	
SAFTA	665	135	200	5,5	4,2	38,2	5,6	2,1	0,7	0,2	2,0	
FLORESTA	719	122	160	5,0	4,6	26,8	5,6	2,1	0,5	0,3	3,8	
	Prof. 10 - 20 cm											
POSA	623	137	240	5,3	5,4	53,7	7,7	2,0	0,6	0,2	2,6	
POSB	573	148	280	5,2	3,0	33,3	24,4	1,7	0,5	0,3	2,7	
SAFTA	633	148	220	5,3	1,4	25,6	4,0	1,6	0,5	0,3	2,2	
FLORESTA	579	181	240	4,9	2,2	18,4	3,6	1,3	0,4	0,3	3,1	
	Prof. 20 - 30 cm											
POSA	535	145	320	5,3	1,5	44,6	6,8	1,1	0,4	0,4	2,7	
POSB	518	103	380	5,0	1,8	24,1	4,3	1,2	0,4	0,5	2,6	
SAFTA	555	146	300	5,3	1,0	20,8	3,6	1,3	0,3	0,4	2,5	
FLORESTA	461	159	380	4,8	1,6	9,8	2,8	0,9	0,4	0,6	3,0	

Os valores apresentam médias (n = 5). Palma de óleo em sistemas agroflorestais adubadeiras (POSA), Palma de óleo em sistemas agroflorestais biodiversos (POSB), sistemas agroflorestais Tomé-Açu (SAFTA) e Floresta sucessional (FLORESTA) nas profundidades de 0 – 5, 5 – 10, 10 – 20 e 20 – 30 cm, nordeste do Pará)

2.2.2 Descrição do experimento

O experimento foi realizado no Projeto Dendê: sistemas agroflorestais na agricultura familiar, que tem como principal objetivo investigar o impacto de sistemas agroflorestais com palma de óleo (*Elaeis guineensis*) sobre a biodiversidade, polinização, qualidade do solo e ciclagem de carbono e nutrientes, em função da técnica de preparo de área e do arranjo de espécies agrícolas e florestais, tendo como público alvo os produtores rurais familiares. Assim, foram avaliados quatro sistemas de uso do solo (tratamentos). Para isso, estimou-se uma área de dois hectares para cada sistema de uso divididos em cinco parcelas cada, denominados de: (a) Palma de óleo em sistemas agroflorestais Adubadeiras (POSA), (b) Palma de óleo em sistemas agroflorestais Biodiversos (POSB), (c) sistemas agroflorestais Tomé-Açu (SAFTA) e (d) Floresta sucessional (FLORESTA), como referência.

Os sistemas de uso com palma de óleo POSA e POSB são orgânicos e diferem em relação à composição de espécies (Tabela 2), apresentando o primeiro menor número de espécies plantadas; e o segundo maior número de espécies plantadas, na tabela 3 apresentamos percentual de nitrogênio das espécies adubadeiras utilizadas no experimento. Os sistemas orgânicos, com aproximadamente cinco anos de instalação no campo, são constituídos por linhas duplas de palma de óleo, espaçadas por faixas de 15,6 m de largura onde são plantadas as outras espécies associadas. Dentro desses sistemas, há plantas com a função de produção de biomassa para a ciclagem de nutrientes e fertilidade do solo, tutoramento e/ou sombreamento das espécies de valor econômico. Assim como espécies frutíferas, oleaginosas, madeireiras e adubadeira, a palma de óleo, nos dois sistemas, foi plantada em forma de triângulo equilátero com 9 metros de lado, com uma planta de palma de óleo em cada vértice. A densidade de plantio de palma de óleo foi de 99 plantas por hectare.

O preparo do solo para implantação dos sistemas de produção ocorreu em outubro de 2007 com a trituração mecânica da vegetação (floresta secundária de 13 anos), em substituição ao uso do fogo, depositando-se sobre o solo a vegetação triturada, para função de cobertura morta (DENICH et al., 2004). O sistema de corte-e-trituração apresenta vantagens

relacionadas ao balanço de nutrientes (SOMMER et al., 2004) e emissão de gases de efeito estufa (DAVIDSON et al., 2008).

Em janeiro de 2008, foi aplicado manualmente na superfície do solo 1,3 Mg ha⁻¹ de calcário dolomítico e, entre fevereiro e março de 2008, foram plantadas mudas de palma de óleo, que na ocasião estavam com aproximadamente 15 meses de idade e 2 m de altura. No momento do plantio, foi realizada a adubação na cova, com uma combinação de 0,3 kg de fosfato natural reativo de ARAD e 10 kg de carvão vegetal moído, por planta de palma de óleo. A adubação de manutenção foi realizada em cobertura com 8 kg de composto orgânico por planta, constituído de resíduos orgânicos oriundos de agroindústria, local de polpa de frutas (cascas e sementes).

Tabela 2 Espécies plantadas nas faixas dentro dos sistemas agroflorestais com palma de óleo, POSA e POSB respectivamente com alta e baixa diversidades de espécies no município de Tomé-Açu, Amazônia Oriental, Brasil.

Nome científico	Família	Método de propagação	Propágulos ha ⁻¹	Espaçamento (m)	Espécie	
					POSA	POSB
<i>Cajanus cajan</i>	Fabaceae	sementes	50 kg	0.25 x 1.50	×	×
<i>Calophyllum brasiliensis</i>	Calophyllaceae	mudas	30	13.0 x 22.5		×
<i>Canavalia ensiformis</i>	Fabaceae	sementes	80 kg	0.30 x 0.30	×	×
<i>Crotalaria juncea</i>	Fabaceae	sementes	5 kg	0.25 x 0.25	×	×
<i>Euterpe oleracea</i>	Arecaceae	mudas	125	6.0 x 6.0		×
<i>Gliricidia sepium</i>	Fabaceae	estacas	280	3.0 x 12.0		×
	Fabaceae		540	2.0 m entre estacas)	×	
<i>Inga edulis</i>	Euphorbiaceae	Mudas e Sementes	515	3.0 x 3.5 x 6.0		×
	Fabaceae		540	3 x 5 x 17.5	×	
<i>Manihot esculenta</i>	Musaceae	maniva	600	1.0 x 1.0 x 3.0		×
<i>Mucuna cinereum</i>	Arecaceae	sementes	20 kg	0.50 x 1.0	×	×
<i>Musa spp.</i>	Fabaceae	Rizomas	595	3.0 x 3.0		×
<i>Oenocarpus bacaba</i>	Bignoniaceae	mudas	85	4.5 x 22.5		×
<i>Sclerolobium paniculatum</i>	Malvaceae	mudas	28	14.0 x 22.5		×
<i>Pueraria phaseoloides</i>	Fabaceae	sementes	5kg	0.25 x 0.25	x	x
<i>Tabebuia spp.</i>	Asteraceae	mudas	28	14.0 x 22.5		×
<i>Theobroma cacao</i>	Arecaceae	mudas	300	3.0 x 3.5		×
<i>Tithonia diversifolia</i>	Arecaceae	Estacas	331	2.0	×	×

Fonte: Carvalho et al., (2014)

Nos anos seguintes, foram realizadas sucessivas adubações de manutenção, conforme a necessidade das culturas, de acordo com análises de solo (0 a 30 cm de profundidade) e análises de tecido vegetal. 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. Em 2010, 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. A adubação das culturas consortes foi igual a 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 composto orgânico, o qual foi substituído pela adição de fitomassa oriunda do manejo da vegetação espontânea e da poda das espécies adubadeiras.

Tabela 3 – Análise foliar de espécies adubadeiras utilizadas como fonte de nutrientes no cultivo de Palma de óleo (*Elaeis guineensis*) em SAFs, Tomé Açu (PA).

Espécie	Nome Científico	Nutriente (%)					
		Nitrogênio	Fósforo	Potássio	Cálcio	Magnésio	Enxofre
Calopogônio	<i>Calopogonium mucunoides</i>	3,02	0,1	0,97	1,41	0,22	0,2
Crotalaria	<i>Crotalaria spectabilis</i>	3,4	0,28	1,03	1,6	0,29	0,25
Fijão de Porco	<i>Canavalia ensiformis</i>	3,81	0,14	1,36	2,17	0,31	0,23
Feijão Guandu	<i>Cajanus cajan</i>	3,51	0,23	0,71	0,93	0,28	0,19
Gliricidia	<i>Gliricidia sepium</i>	3,28	0,19	1,39	0,69	0,24	0,2
Ingá	<i>Inga edulis</i>	3,29	0,11	0,58	1,89	0,22	0,19
Margaridão	<i>Tithonia diversifolia</i>	3,28	0,2	1,98	2,6	0,65	0,23
Puerária	<i>Pueraria phaseoloides</i>	3,95	0,16	0,87	1,11	0,41	0,23

Análises realizadas no laboratório agrônomo UNITHAL – Campinas – SP.,

¹ Ca, Mg, K, foram determinadas por espectrofotometria de absorção atômica.

² P, S, determinados por colorimetria.

³ Nitrogênio: método do ácido salicílico (Kjeldahl).

Fonte: Castelani et al., (2017).

O manejo da palma de óleo envolveu coroamento de 4 a 5 vezes ao ano e poda de limpeza (folhas velhas, inflorescência masculinas etc.) 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, foi realizada capina/roçagem seletiva visando a controlar a vegetação espontânea agressiva, como, por exemplo, as gramíneas, deixando as espécies espontâneas de folhas largas. O Sistema agroflorestal Tomé-Açu (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. A Floresta sucessional (Floresta) era um fragmento remanescente da vegetação triturada no preparo da área dos sistemas orgânicos, formada após repetidos ciclos de corte e queima para agricultura de subsistência. Em 2008, a floresta sucessional, estava aproximadamente com 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 ≥ 10 cm) (Izildinha Sousa, comunicação pessoal). As espécies de maior ocorrência na floresta sucessional eram *Tapirira guianensis* Aubl., *Vismia guianensis* Aubl. Prers., *Inga Alba* Willd. E *Apeiba burchellii* Sprague. O uso prévio da área consistiu de repetidos ciclos pousio e cultivo, em sistema de derruba e queima, para agricultura de subsistência (*Oryza sativa*, *Manihot esculenta*, *Zea mays* e *Vigna unguiculata*).

2.2.3 Amostragem do solo, preparo das amostras e métodos analíticos

A coleta de amostras de solo foi realizada em agosto de 2012, período seco. 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. As amostras foram coletadas em cada parcela nas áreas de manejo, coroa, carreador, linha da palma e Faixa do SAFs, nas profundidades 0-5, 5-10, 10-20 e 20-30 cm, utilizando-se trado tipo sonda. As amostras de solo foram conduzidas ao Laboratório de Análise de Sistemas Sustentáveis (LASS) 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 granulométricas e químicas (Embrapa, 1997) no Laboratório de Solos da Embrapa Amazônia Oriental.

Amostras indeformadas para determinação da densidade do solo foram coletadas com trado extrator e anéis de aço (Kopeck) de bordas cortantes com volume interno conhecido. Nas áreas de manejo (coroa, carreador, linha da palma e Faixa do SAFs) de cada parcela foi escavada uma trincheira medindo 70 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 e 20-30 cm de três faces internas da trincheira (Figura 4). A densidade do solo foi determinada pelo método do anel volumétrico (EMBRAPA, 1997), em que amostras indeformadas foram secas em estufa a 105°C até atingir peso constante.

Para determinação do teor 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 via seca, em analisador elementar da marca LECO, modelo CNS 2000 (forno a 1350°). O estoque de carbono total do solo, em cada camada, foi calculado segundo Veldkamp (1994), em que: $EstC = (Ct \times Ds \times e) / 10$, onde: EstC = estoque de carbono total em determinada profundidade ($Mg\ ha^{-1}$); Ct = teor de carbono total ($g\ kg^{-1}$); Ds = densidade do solo ($g\ cm^{-3}$); e = espessura da camada (cm).

Como os resultados de densidade se mostraram significativos para os diferentes sistemas de uso, houve a necessidade de fazermos ajustes para equivalência de massa (SISTI *et al.*, 2004). Para isso, tomamos como área de referência as massas por profundidades do sistema de uso SAFTA e Floresta. Os estoques de carbono ponderado por área dos SAFs orgânicos foram calculados nas percentagens: área do carreador (12 %), coroa (17,9 %), linha da palma (26,9 %) e faixa do SAF (43,2 %).

2.2.4 Análise estatística

Foi utilizado um delineamento inteiramente ao acaso com cinco repetições (ou pseudo repetições) em cada sistema de uso, com o pressuposto de que os sistemas de produção estavam localizados na mesma área e com as mesmas condições edáficas, climáticas e topográficas. O efeito de sistemas de cultivo de palma de óleo, zonas de manejo (locais de coleta) e interação entre sistemas de cultivo e zonas de manejo (locais de coleta) sobre a densidade do solo e o teor e o estoque de C e N foram avaliados com ANOVA de dois fatores.

O efeito dos sistemas de cultivo de palma de óleo sobre o estoque de carbono ponderado do solo foi avaliado com análise de variância de um fator. Ambas análises foram realizadas 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 comparação múltiplas de média de Tukey a 5 % de probabilidade.

2.3 Resultados

2.3.1 Teores de Carbono e Nitrogênio, Densidade aparente nos SAFs orgânicos (POSA e POSB)

Não houve interação significativa nos teores de carbono e nitrogênio entre sistemas de uso do solo e áreas de manejo. Foram observadas apenas diferenças significativas nos teores de carbono ($P = 0,019$) e nitrogênio ($P = 0,018$) entre áreas de manejo na profundidade de 0 – 5 cm (Figuras 3A e 3B), onde a área de manejo coroa da palma apresenta teores de carbono e nitrogênio mais elevados em relação a Faixa do SAF.

Com relação à densidade aparente do solo (figura 3C), não existiu interação também entre sistema de uso e área manejo (local da coleta). Houve diferenças significativas nas duas primeiras profundidades nas áreas de manejo, em 0 – 5 cm ($P = 0,003$) e na segunda, 5 – 10 cm ($P = 0,008$) e também diferenças estatísticas significativas ($P = < 0,001$) em sistema de uso na primeira profundidade (figura 4).

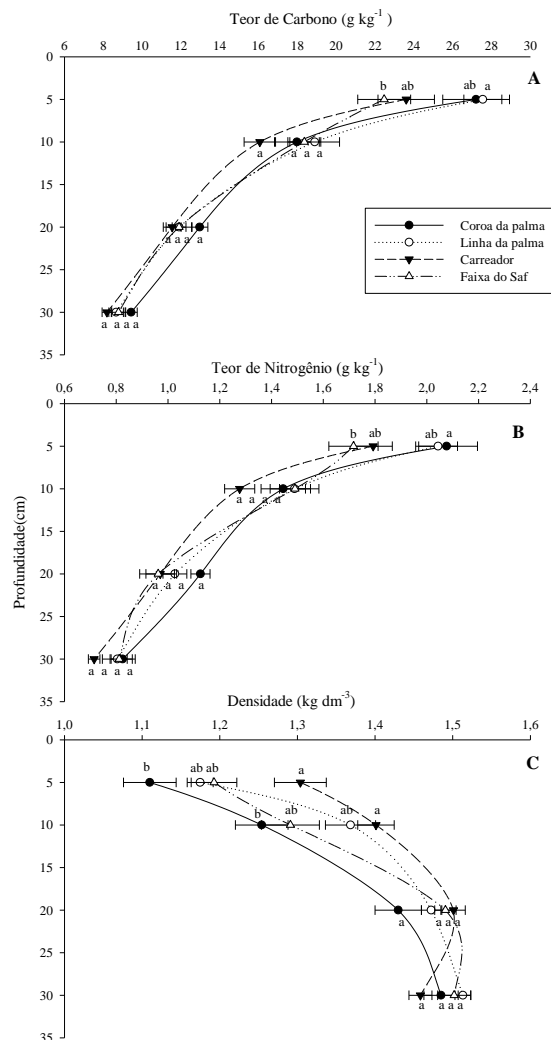


Figura 3. Médias (N=10) dos teores de Carbono (A), Nitrogênio (B) e Densidade aparente do solo (C) por profundidade, 0 – 5, 5 – 10, 10 – 20 e 20 – 30 cm, entre locais de coleta de solo, coroa da palma, linha da palma, carreador e faixa do SAF nos sistemas de uso do solo: Palma de Óleo em SAFs Adubadeiras – POSA, Palma de Óleo em SAFs Biodiversos – POSB. Letras diferentes significam diferenças significativas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Barras nas profundidades representam erro padrão da média.

Após teste de médias de comparação múltiplas (N = 10), observou-se que no local carreador nas duas primeiras profundidades apresentaram maiores densidades que a área de manejo coroa da palma. Em sistemas de uso (figura 4) somente na primeira profundidade o sistema palma de óleo em SAFs adubadeiras (POSA) ficou mais adensado do que o sistema palma de óleo em SAFs biodiversos (POSB).

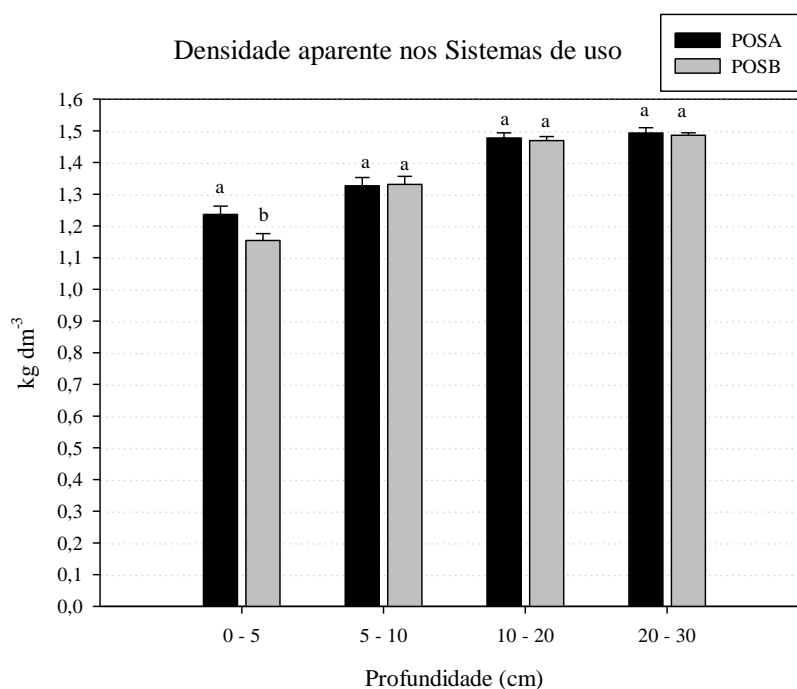


Figura 4. Média da Densidade aparente nos sistemas de uso em diferentes profundidades nos sistemas de uso do solo: Palma de Óleo em SAFs Adubadeiras – POSA, Palma de Óleo em SAFs Biodiversos – POSB. Letras diferentes significam diferenças significativas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Barras de erro representam erro padrão da média.

2.3.2 Estoques de Carbono nos SAFs orgânicos (POSA e POSB)

Não há efeitos entre sistemas de uso e área de manejo nos estoques de carbono e nitrogênio no solo (tabela 4), porém somente em sistema de uso na profundidade de 10 a 20

cm há diferenças estatísticas significativas ($P = 0,012$) para estoques de carbono. Após realizado testes de médias, verificou-se que POSA apresentava maiores estoques de carbono que POSB nessa profundidade. Para estoques de nitrogênio (tabela 4), há diferenças significativas para sistemas de uso nas profundidades de 5 – 10 cm ($P = 0,06$), 10 – 20 cm ($P = <0,001$), 20 – 30 cm ($P = 0,008$) e em toda a profundidade de 0 – 30 ($P = 0,002$). Após teste de médias, observa-se que, em todas essas profundidades, POSA possui maiores estoques de Nitrogênio que o sistema POSB.

Tabela 4. Estoque de carbono e nitrogênio ponderado por área nos sistemas de uso: POSA e POSB em diferentes profundidades

Profundidade (cm)	SISTEMAS DE USO DO SOLO											
	POSA				POSB							
	Estoque de Carbono				Estoque de Nitrogênio							
	Mg ha ⁻¹											
0 - 5	14,3	± 0,68	a	15,0	± 0,66	a	1,1	± 0,06	a	1,1	± 0,05	a
5 - 10	12,3	± 0,57	a	11,7	± 0,77	a	1,0	± 0,05	a	0,9	± 0,05	a
10 - 20	18,6	± 0,91	a	16,9	± 0,63	b	1,6	± 0,07	a	1,4	± 0,06	b
20 - 30	12,7	± 0,62	a	13,6	± 0,31	a	1,3	± 0,02	a	1,1	± 0,03	b
0 - 30	57,8	± 1,87	a	57,2	± 1,78	a	5,0	± 0,13	a	4,5	± 0,10	b

Letras diferentes nas linhas significam diferenças significativas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Números com símbolos ± na frente representam erro padrão da média.

2.3.3 SAFs com palma de óleo X SAFs convencional (SAFTA).

As diferenças entre os valores das médias entre teores de carbono (Figura 5A) nos sistemas de uso SAFs na profundidade de 0 – 5 e 5 – 10 ($P = <0,001$) e 10 – 20 cm ($P = 0,048$) cm são maiores do que o acaso, há uma diferença estatisticamente significativa. Após teste de médias múltiplas na profundidade de 0 – 5 e 5 – 10 cm, observou-se os SAFs POSB e POSA apresentando maiores teores de carbono em comparação ao SAFTA. Para a profundidade de 10 a 20 cm, POSA, com média de 12,7 g kg⁻¹, foi diferente de modo significativo de SAFTA, com média de 9,9 g kg⁻¹; não havendo, no entanto, diferenças significativas com POSB, média de 11,5 g kg⁻¹.

Os teores de nitrogênio (Figura 5B) tiveram diferenças estatisticamente significativas em todas as profundidades, com POSA e POSB superiores nas primeiras camadas 0 – 5 e 5 – 10 cm com diferenças significativas ($P = < 0,001$) em relação ao sistema de uso SAFTA. Na profundidade de 10 a 20 cm, somente houve diferenças significativas ($P = 0,015$) com superioridade de POSA em relação à SAFTA. Já na profundidade de 20 – 30 cm, todos os

sistemas de uso se diferenciaram estatisticamente ($P \leq 0,001$), com POSA apresentando a maior média ($0,845 \text{ g kg}^{-1}$) superior a POSB ($0,73 \text{ g kg}^{-1}$), e este superior a SAFTA ($0,62 \text{ g kg}^{-1}$).

Houve diferenças significativas na densidade do solo nas médias das duas primeiras profundidades (Figura 5C), em 0 – 5 cm, POSA ($1,23 \text{ kg dm}^{-3}$) e POSB ($1,15 \text{ kg dm}^{-3}$) foram superiores estatisticamente com diferenças significativas ($P \leq 0,001$) em relação a SAFTA ($1,00 \text{ kg dm}^{-3}$). Para a profundidade de 5 – 10 cm, POSB e POSA apresentaram as maiores densidades ($P = 0,023$) a SAFTA.

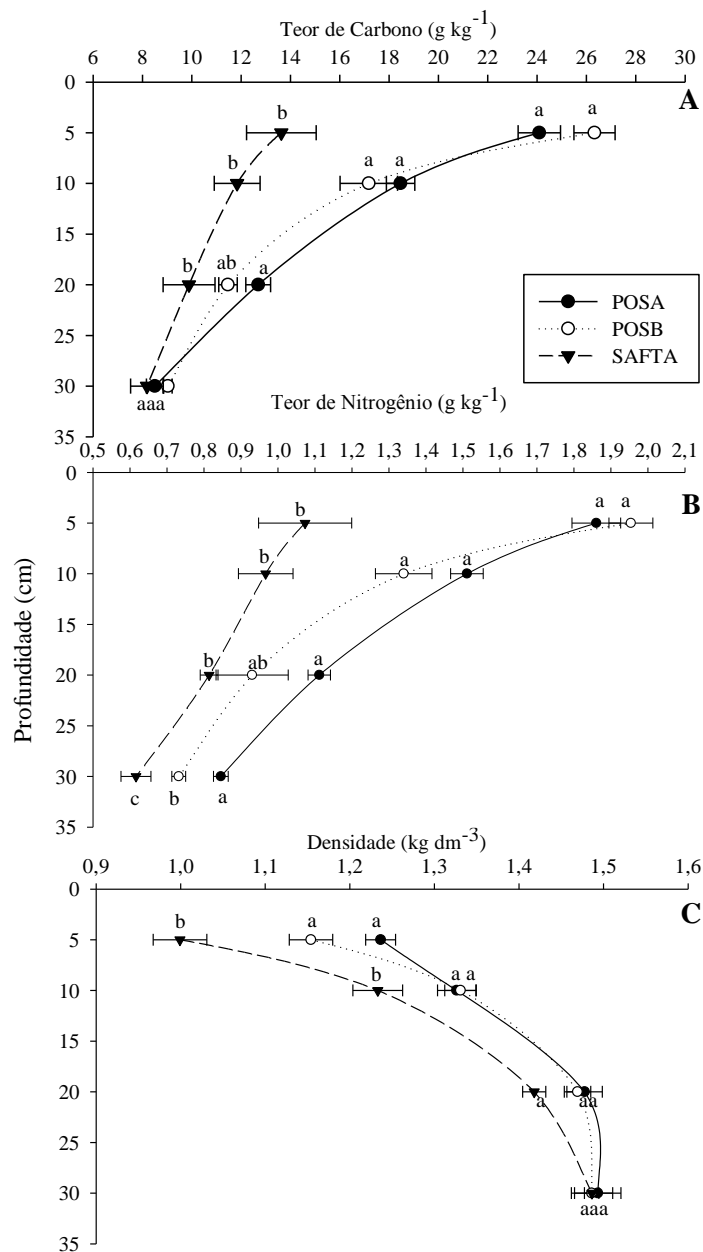


Figura 5. Médias dos teores de carbono (A) e nitrogênio (B), densidade aparente do solo (C) em diferentes sistemas agroflorestais com palma de óleo (POSA e POSB) e sem palma de óleo – Sistemas agroflorestais Tomé Açú (SAFTA) em diferentes profundidades do solo. Letras diferentes na mesma profundidade significam diferenças significativas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Barras nas profundidades representam erro padrão da média.

2.3.4 Estoques de carbono e nitrogênio nos SAFs

Os estoques de carbono no solo dos SAFs (Tabela 5), nas primeiras profundidades 0 – 5 e 5 – 10 cm, há diferenças estatísticas significativas ($P = <0,001$) com POSB e POSA apresentando os maiores estoques de carbono em relação a SAFTA. De 10 – 20 cm há significância ($P = 0,010$) com POSA, superior a SAFTA. Na figura 6A, observa-se o estoque de carbono em toda a profundidade do solo dos sistemas de uso (0 – 30 cm), há diferenças estatísticas significativas ($P = <0,001$) com POSA ($56,5 \text{ Mg ha}^{-1}$) e POSB ($55,3 \text{ Mg ha}^{-1}$), apresentado as maiores médias de estoques de carbono; e SAFTA ($40,2 \text{ Mg ha}^{-1}$) as menores.

Os estoques de nitrogênio nos SAFs (Tabela 5) em todas as profundidades apresentaram diferenças entre as médias dos sistemas de uso, significativas estatisticamente ($P = <0,001$ em quase todas as profundidades e $P = 0,04$ em 10 – 20 cm), nas duas primeiras profundidades (0 – 5 e 5 – 10 cm); os sistemas com palma de óleo são superiores a SAFTA. No entanto, de 10 – 20 cm, somente o sistema POSA é superior a SAFTA, enquanto que de 20 – 30 cm todos os sistemas de uso do solo diferenciam-se entre si com significância. POSA, apresentando as maiores médias em relação à POSB e este a SAFTA. Para os estoques de nitrogênio (Figura 6B), em toda a profundidade dos sistemas de uso (0 – 30 cm), há diferenças estatísticas significativas ($P = <0,001$), com POSA ($4,8 \text{ Mg ha}^{-1}$) e POSB ($4,3 \text{ Mg ha}^{-1}$) apresentando os maiores estoques de nitrogênio em comparação à SAFTA ($3,2 \text{ Mg ha}^{-1}$).

Tabela 5. Estoques de carbono e nitrogênio nos sistemas de uso agroflorestais com palma de óleo (POSA e POSB) e sem palma de óleo – Sistemas agroflorestais Tomé-Açú (SAFTA) em diferentes profundidades do solo.

Sistema de uso do solo	Estoque de Carbono			
	Profundidade (cm)			
	0 - 5	5 - 10	10 - 20	20 - 30
	(Mg ha ⁻¹)			
POSA	12,0 ± 0,43 a	12,0 ± 0,33 a	19,0 ± 1,11 a	13,5 ± 0,47 a

POSB	13,2	± 0,42	a	11,3	± 0,76	a	17,0	± 0,93	ab	13,8	± 0,23	a
SAFTA	6,8	± 0,79	b	7,3	± 0,47	b	14,0	± 0,81	b	12,1	± 0,79	a
Estoque de Nitrogênio												
POSA	0,93	± 0,03	a	0,97	± 0,02	a	1,64	± 0,04	a	1,31	± 0,02	a
POSB	0,98	± 0,03	a	0,87	± 0,05	a	1,38	± 0,04	ab	1,12	± 0,03	b
SAFTA	0,54	± 0,07	b	0,59	± 0,04	b	1,15	± 0,13	b	0,91	± 0,05	c

Letras diferentes na mesma coluna significam diferenças significativas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Sinal de ± antes dos números representam erro padrão da média.

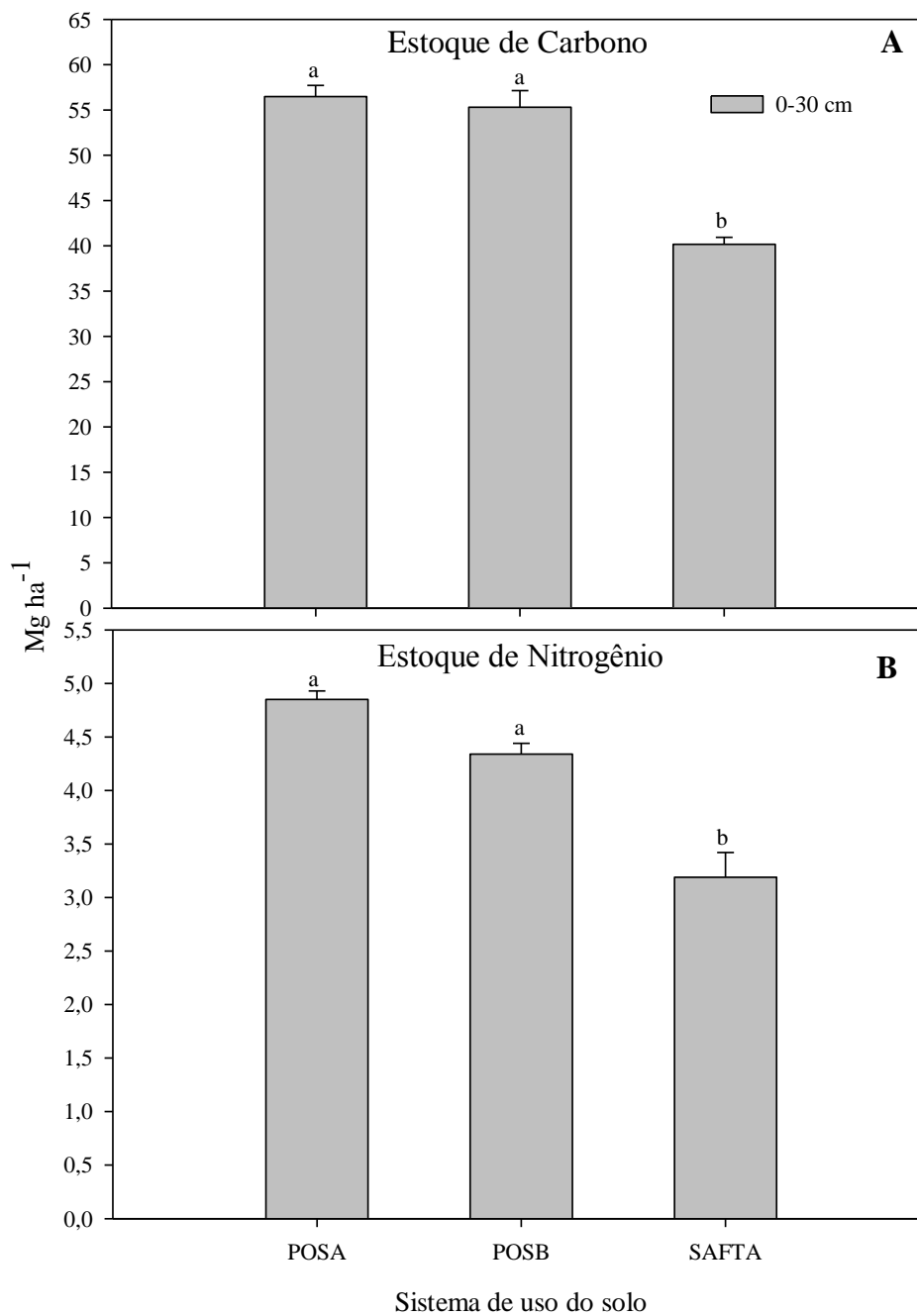


Figura 6. Estoques de carbono (A) e nitrogênio (B) nos sistemas de uso agroflorestais com palma de óleo (POSA e POSB) e sem palma de óleo – Sistemas agroflorestais Tomé-Açu (SAFTA) na profundidade de 0 – 30 cm do solo.

2.3.5 SAFs X Floresta

Os resultados da análise de variância (ANOVA) para os teores de carbono (Figura 7A), na profundidade de 0 – 5 e 5 – 10 cm, apresentam diferenças estatísticas significativas ($P = < 0,001$), para a primeira profundidade POSB (26,3 g kg⁻¹) e POSA (24,1,3 g kg⁻¹) indicam teores de carbono superiores à Floresta (19,7 g kg⁻¹) e a SAFTA, estas também diferem entre si, com Floresta superior a SAFTA (13,6 g kg⁻¹). Já para a segunda profundidade (5 – 10 cm), POSA apresentou as maiores médias de teores de C, significativamente, maior que floresta e SAFTA. Sendo o sistema de uso POSB superior significativamente apenas em relação a SAFTA.

Nos resultados da ANOVA, para os teores de nitrogênio (Figura 7B), observaram-se diferenças estatísticas significativas ($P = < 0,001$ e $P = 0,021$ de 10 – 20 cm) até a profundidade de 20 cm.

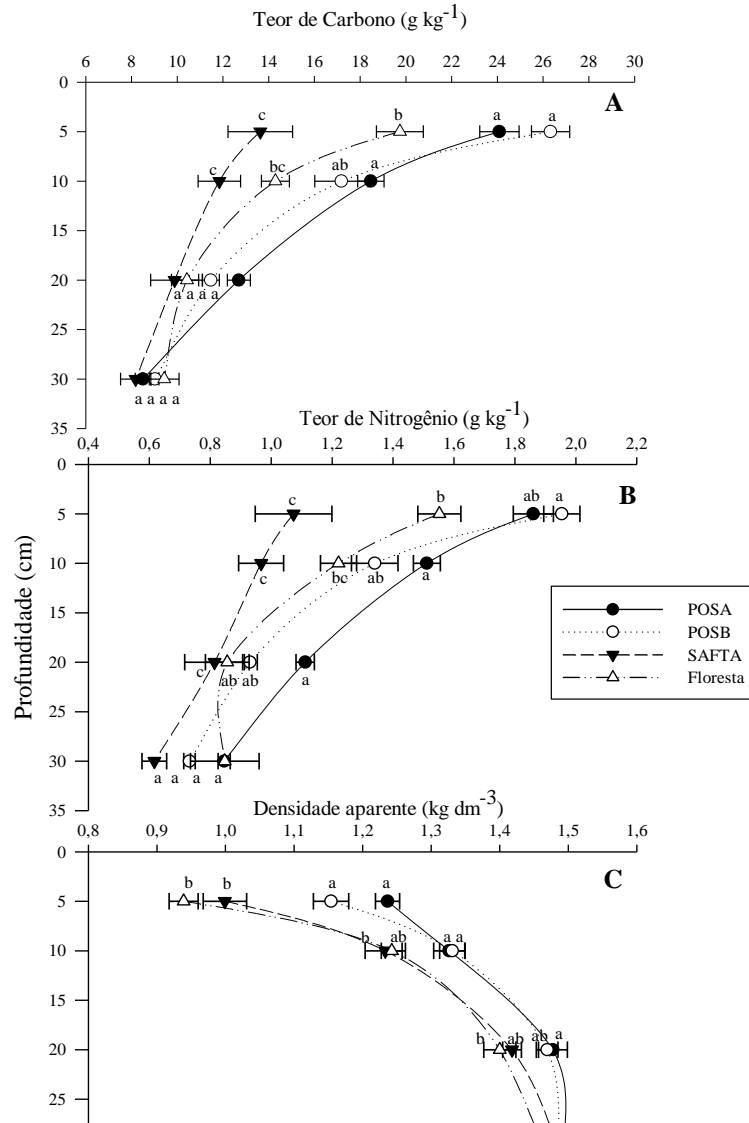


Figura 7. Médias dos teores de carbono (A) e nitrogênio (B), densidade aparente (C) do solo em diferentes sistemas agroflorestais em comparação à Floresta sucessional em diferentes profundidades do solo. Letras diferentes significam diferenças significativas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Barras nas profundidades representam erro padrão da média.

Com o sistema POSB apresentando as maiores médias de teores de nitrogênio na primeira profundidade em relação à floresta e a SAFTA. Os sistemas de uso POSA e Floresta foram superiores a SAFTA nos teores de nitrogênio. Para a profundidade de 5 – 10 cm, POSA foi superior à Floresta e a SAFTA; POSB foi superior somente a SAFTA. Já de 10 – 20 cm POSA, POSB e Floresta foram superiores a SAFTA.

A densidade aparente do solo (Figura 7C), nos diferentes sistemas de uso do solo, indicaram diferenças estatísticas significativamente ($P = < 0,001$) para as duas primeiras profundidades e para a profundidade de 10 – 20 cm ($P = 0,025$).

Analisando os testes de médias múltiplas na profundidade de 0 – 5 cm a densidade nos sistemas com palma de óleo, POSA e POSB foram superiores a SAFTA e Floresta; já a densidade para a segunda profundidade de 5 – 10 cm, POSB e POSA foram maiores que a densidade de SAFTA. Para a profundidade de 10 – 20 cm, POSA foi maior apenas em relação ao sistema de uso Floresta.

Os estoques de carbono no solo (Tabela 6), nas profundidades de 0 – 5, 5 – 10 e 10 – 20 cm, apresentaram diferenças estatísticas significativas ($P = < 0,001$ nas duas primeiras profundidades e $P = 0,006$ em 10 – 20 cm). Na primeira profundidade, POSA e POSB foram superiores a SAFTA; e na segunda (5 – 10 cm) POSA e POSB apresentaram as maiores médias de estoque de C dos sistemas de uso em relação à Floresta e a SAFTA.

Tabela 6. Estoques de carbono e nitrogênio nos sistemas de uso do solo agroflorestais (POSA, POSB e SAFTA) em relação à Floresta sucessional de 12 anos em diferentes profundidades do solo.

Sistema de uso do solo	Estoque de Carbono			
	Profundidade (cm)			
	0 -5	5 - 10	10 - 20	20 - 30
POSA	13,1 ± 0,7 a	12,32 ± 0,33 a	18,71 ± 0,71 a	13,58 ± 0,02 a
POSB	12,0 ± 1,49 a	11,75 ± 0,76 a	17,03 ± 0,69 ab	13,82 ± 0,03 a

SAFTA	6,82	± 0,79	b	7,26	± 0,47	b	13,98	± 0,81	b	12,11	± 0,05	a
FLORESTA	9,29	± 0,59	ab	8,96	± 0,43	b	14,58	± 0,90	b	13,80	± 0,15	a
Estoque de Nitrogênio												
POSA	0,93	± 0,03	a	0,97	± 0,02	a	1,64	± 0,04	a	1,31	± 0,02	a
POSB	0,98	± 0,03	a	0,87	± 0,05	ab	1,38	± 0,04	ab	1,12	± 0,03	ab
SAFTA	0,54	± 0,07	b	0,59	± 0,04	c	1,15	± 0,13	b	0,91	± 0,05	b
FLORESTA	0,73	± 0,04	ab	0,76	± 0,04	bc	1,20	± 0,10	b	1,24	± 0,15	ab

Na profundidade de 10 a 20 cm, POSA apresentou os maiores estoques significativamente em relação a SAFTA e à Floresta. Observando todo o perfil do solo (Figura 8A), verifica-se diferenças estatísticas significativas ($P = < 0,001$), com POSA apresentando a maior média ($57,9 \text{ Mg ha}^{-1}$) de estoques de carbono, superior à Floresta e SAFTA. Com POSB ($54,9 \text{ Mg ha}^{-1}$) superior significativamente somente em relação a SAFTA ($40,2 \text{ Mg ha}^{-1}$).

Nos estoques de nitrogênio (Tabela 6), houve diferenças significativas em todas as profundidades em 0 – 5 e 5 – 10 cm ($P = < 0,001$). Nessas profundidades, POSA e POSB foram superiores ao estoque de N de SAFTA. Nas profundidades de 10 – 20 cm, ($P = 0,004$) e 20 – 30 cm ($P = 0,019$), POSA é superior à floresta e a SAFTA em ambas profundidades. Na figura 8B, observa-se todo o perfil do solo (0 – 30 cm) e houve diferenças significativas ($P = < 0,001$), com POSA e POSB apresentando as maiores médias de estoques de N em relação a SAFTA.

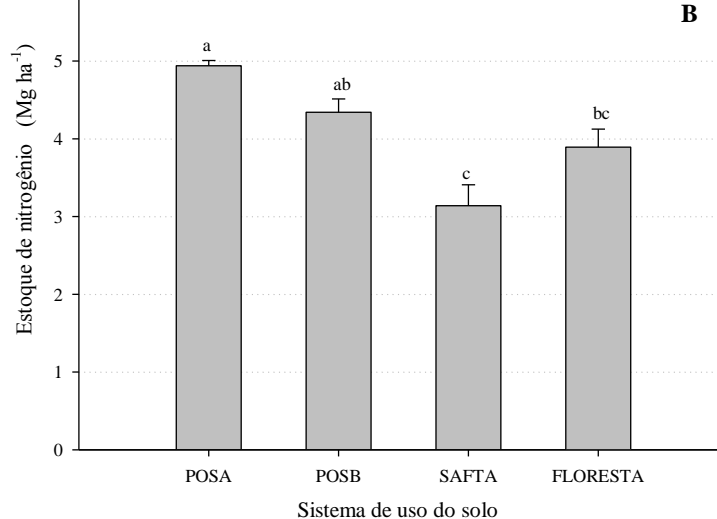


Figura 8. Estoques de carbono (A) e nitrogênio (B) nos sistemas de uso agroflorestais (POSA, POSB e SAFTA) em relação à Floresta sucessional na profundidade de 0 – 30 cm do solo.

2.4 Discussão

O teor de carbono (C) e nitrogênio (N) foram maiores na Linha e na Coroa da palma, respectivamente, em relação aos demais locais de coleta. Estes resultados estão relacionados aos impactos do tráfego de máquinas em alguns locais de coleta e influência no crescimento do sistema radicular, pois se observa que, no Carreador, houve maior densidade do solo e menor teor de C e N. Em áreas de cultivo de palma de óleo, o tráfego de máquinas e equipamentos agrícolas durante as práticas de manejo do solo e da cultura ocorre na entrelinha da cultura (carreador), podendo causar compactação do solo (ZURAI DAH et al., 2010; ZURAI DAH et al., 2012; ZURAI DAH et al., 2015) e restrição do crescimento radicular de modo a reduzir o volume de solo explorado (FIDALSKI et al., 2007), tendo menor contribuição de raízes no teor de C e N do solo. Solos manejados com tráfego de máquinas tendem a ter aumento da densidade do solo, redução da porosidade total e diâmetro médio ponderado de agregados (CALONEGO et al., 2012; WENDLING et al., 2012). Assim, leva a maior oxidação da matéria orgânica do solo pela diminuição da proteção física no interior de agregados, consequentemente facilitando os processos oxidativos da decomposição da matéria orgânica do solo (HASSINK; WHITMORE, 1997).

Nos sistemas orgânicos, foi observado que o sistema POSA apresenta maior densidade do solo, em relação ao sistema POSB. Este resultado está relacionado à contribuição do arranjo de espécies que compõe os sistemas agroflorestais orgânicos, pois o sistema POSB adiciona maior quantidade e qualidade de serapilheira no solo pela diversidade maior de espécies que o compõe, em relação ao sistema POSA. O acúmulo de resíduos vegetais no solo reduz a densidade máxima e aumenta a umidade crítica para compactação do solo, pois os resíduos vegetais dissipam parte da energia de compactação produzida pelo trânsito de

máquinas e animais, significando que o sistema se torna mais resistente à compactação (BRAIDA et al., 2006).

O estoque de carbono foi maior somente na profundidade de 10-20 cm no sistema POSA em relação ao sistema POSB, como essa diferença ocorre no subsolo, provavelmente foi devido a manejos anteriores a formação dos sistemas e provavelmente anterior a capoeira triturada. Carvalho et al. (2014) observaram esse aumento de 3,5 Mg ha⁻¹ em relação a POSB, já em 2012 essa diferença caiu para 1,7 Mg ha⁻¹, porém com diferença significativa, um dos fatores que podem ter contribuído para o maior estoque nessa profundidade é que anteriormente a formação da capoeira, à área do sistema POSA, por se encontrar localizado próximo à estrada era utilizada com cultura de pimenta do reino (*Piper nigrum*) onde eram realizadas adubações orgânicas com esterco em profundidades nas covas e em meia lua ao redor das plantas.

De maneira geral, o sistema POSA apresentou maior estoque de N em relação ao sistema POSB pela utilização de leguminosas (*Gliricidia sepium* e *Inga edulis*) com manejo de podas destas espécies para adubação verde a cada seis meses, além do crescimento diferenciado da leguminosa de origem da Malásia e Indonésia, puerária (*Pueraria phaseoloides*) que foram inoculadas com a bactéria rizóbio (*Rhizobium*), capaz de incorporar expressivas quantidades de nitrogênio ao solo (100 a 150 kg/ha/ano), promovendo assim maior acúmulo de N no solo em relação ao sistema POSB. Todavia, POSB recebeu o mesmo tratamento com Puerária, mas o sistema POSA por ser mais aberto pela estrutura das espécies que o compõe, custou mais a se fechar o que promoveu um maior espaço de tempo sem sombra e facilitou o incremento de biomassa da leguminosa de cobertura e, também, das plantas C4 espontâneas pela maior presença de luz, facilitando a fotossíntese (FORSETH; TERAMURA 1987; LAMBERS et al. 2008). Leguminosas arbóreas são capazes de obter grandes quantidades de N via fixação biológica do nitrogênio, a gliricídia em estimativas de N fixado biologicamente no continente africano fixou 108 kg ha⁻¹ por ano (DAKORA ; KEYA, 1997), assim contribuindo para o maior estoque de N no sistema POSA.

Os sistemas agroflorestais orgânicos acumularam mais carbono em todas as profundidades e nitrogênio na profundidade de 20-30 cm em relação ao sistema agroflorestal convencional, sugerindo que o preparo de área convencional de corte-queima da vegetação aplicado nos sistemas tradicionais reduz a biomassa acima do solo e estoque de serapilheira, conseqüentemente o incremento de C e N no solo. Os sistemas orgânicos tiveram preparo de área com trituração da floresta secundária e deposição dos resíduos vegetais no solo com incremento no estoque de serapilheira no solo. Outro fator importante que difere os sistemas

agroflorestais é a fertilização orgânica nos SAF's orgânicos com palma de óleo aumentando o armazenamento de C e N no solo (CARVALHO et al., 2014).

A densidade do solo foi maior nos sistemas com palma de óleo, em relação ao sistema agroflorestal convencional e a floresta, resultado esperado pela presença de tráfego de máquinas nos sistemas agroflorestais orgânicos para manejo da palma. Solos manejados com tráfego de máquinas tendem a ter aumento da densidade do solo (CALONEGO et al., 2012; WENDLING et al., 2012) e compactação do solo com tráfego de máquinas na entrelinha da cultura da palma de óleo (ZURAI DAH et al., 2010; ZURAI DAH et al., 2012).

Os teores e estoques de C e N foram maiores nos sistemas agroflorestais orgânicos, em relação ao sistema agroflorestal convencional, provavelmente estes resultados devem-se ao manejo diferenciado adotado nos SAF's orgânicos, pois há adubação orgânica e o preparo de área para o plantio foi com trituração e deposição do material vegetal no solo (CARVALHO et al., 2014). Nos SAF's orgânicos há o consórcio com a cultura da palma de óleo que possui sistema radicular fasciculado importante fonte de carbono na superfície do solo (JOURDAN; REY, 1997), contribuindo para maior estoque e teor de carbono e nitrogênio nestes sistemas.

Os sistemas orgânicos têm maior acúmulo de carbono no solo em relação à Floresta, principalmente o sistema POSA, possivelmente este maior acúmulo de C no solo é influenciado pelo maior acúmulo de N por este sistema, pois com a inclusão de leguminosas fixadoras de N₂, através das podas semestrais para adubação verde, permitiu balancear o sistema com N, promovendo maior produção primária e a acumulação de C no solo (BODDEY et al., 2012). Sistemas de cultivo com rotação de culturas em plantio direto e introdução de leguminosas beneficiaram a produção de resíduos culturais e aumento do acúmulo de C no solo (DIEKOW et al., 2005). A taxa de acúmulo de biomassa em florestas sucessionais que contribuem para maior acúmulo de C e N no solo depende de fatores como histórico de uso da terra, vegetação adjacente, fertilidade do solo e clima (ZARIN et al., 2001, 2005), o que pode estar contribuindo para menor acúmulo de C e N na floresta. A cultura da palma de óleo, que possui sistema radicular fasciculado, é uma importante fonte de carbono na superfície do solo (JOURDAN; REY, 1997), contribui para maior estoque e teor de carbono e nitrogênio nestes sistemas.

2.4 Conclusão

Comparando os locais dentro dos sistemas orgânicos entre si, o local Linha da Palma apresentou os maiores teores de carbono; o local Coroa indicou maior nitrogênio em relação à

Faixa do SAF e menores densidades em relação ao Carreador. Entre os sistemas de uso, POSA apresentou maior densidade na primeira profundidade. Os estoques de carbono foram semelhantes para os dois sistemas orgânicos, e POSA possui maior estoque de nitrogênio.

Comparando os sistemas orgânicos e o SAF tradicional, o teor de carbono e nitrogênio, de maneira geral, é maior nos SAFs orgânicos até 20 cm. SAFs tradicionais apresentam a menor densidade até 20 cm. Os sistemas orgânicos apresentam maiores estoque de carbono e nitrogênio em relação ao sistema agroflorestal tradicional (SAFTA).

AGRADECIMENTOS

Ao “Projeto dendê: sistemas agroflorestais na agricultura familiar”, executado pela Empresa Natura Inovação e Tecnologia de Produtos Ltda, Cooperativa Mista de Tomé-Açu – CAMTA e Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa. Financiado por Financiadora de Estudos e Projetos – FINEP, Natura Inovação e Tecnologia de Produtos, Embrapa e Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia dos Serviços Ambientais da Amazônia, à equipe do Laboratório de Análise de Sistemas Sustentáveis da Embrapa Amazônia Oriental.

REFERÊNCIAS

- AGROPALMA. **Relatório de sustentabilidade 2015**. Disponível em: <http://www.agropalma.com.br/responsabilidade-socioambiental/relatorio-de-sustentabilidade.PDF>. Acesso em: 01 novembro 2016.
- BRASIL. Casa Civil da Presidência da República. **Lei nº 11.097**, de 13 de janeiro de 2005. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2005/Lei/L11097.htm >. Acesso em: 10 jan. 2017
- BRASIL. **Programa de Produção Sustentável da Palma de Óleo no Brasil**. Brasília, DF, 2010
- BODDEY, R. M.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, R.; JANTALIA, C. P.; MARTIN-NETO, L.; MADARI, B. E.; MILORI, D. M. B. P.; MACHADO, P. L. O. de A. Estoques de carbono nos solos do Brasil: quantidade e mecanismos de acúmulo e preservação. In: LIMA, M. A.; BODDEY, R. M.; ALVES, B. J. R.; MACHADO, P. L. O. de A.; URQUIAGA, S. (Eds). **Estoques de carbono e emissões de gases de efeito estufa na agropecuária brasileira**. Brasília, Embrapa, p. 33-80, 2012.
- BRAIDA, J. A.; REICHERT, J. M.; VEIGA, M.; REINERT, D. J. Resíduos vegetais na superfície e carbono orgânico do solo e suas relações com a densidade máxima obtida no ensaio Proctor. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, N. 4, p. 605-614, 2006.
- CALONEGO, J. C.; SANTOS, C. H.; TIRITAN, C. S.; CUNHA, J. R. J. Estoques de carbono e propriedades físicas de solos submetidos a diferentes sistemas de manejo. **Revista Caatinga**, v. 25, n. 2, p. 128-135, 2012.
- CARVALHO, W. R. DE; VASCONCELOS, S. S. KATO, O. R.; CAPELA, C. J. B.; CASTELLANI, D. C. Short-term changes in the soil carbon stocks of young oil palm-based agroforestry systems in the eastern Amazon. **Agroforestry Systems**, v. 88, p. 357–368, 2014.
- DAKORA, F. D.; KEYA, S. O. Contribution of legume nitrogen fixation to sustainable agriculture in sub-saharan Africa. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 29, n. 5–6, p. 809–817, 1997.
- DAVIDSON, E.A.; SÁ, T.D.D.A.; CARVALHO, C.J.R.; FIGUEIREDO, R.D.O.; KATO, M.D.A.; KATO, O.R.; ISHIDA, F.Y. An integrated greenhouse gas assessment of an alternative to slash-and-burn agriculture in eastern Amazonia. **Global Change Biology**, v.14 p.1-10, 2008.
- DENICHI, M.; VIELHAUER, K.; KATO, M. S.de A.; BLOCK, A.; KATO, O. R.; SÀ, 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 DP, KOGELKNABNER. Soil C and N stocks as affected by cropping systems and nitrogen fertilisation in a southern

Brazil Acrisol managed under no-tillage for 17 years. **Soil & Tillage Research**, v. 81, p. 87–95, 2005.

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

FERNANDES, F. A.; FERNANDES, A. H. B. M. **Cálculo dos estoques de carbono do solo sob diferentes condições de manejo**. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2009. 4 p. (Embrapa Pantanal. Comunicado Técnico, 69). Disponível em: <http://www.cpap.embrapa.br/publicacoes/download.php?arq_pdf=COT69>. Acesso em: 04 out. 2014.

FIDALSKI, J.; TORMENA, C. A.; SILVA, A. P. Qualidade física do solo em pomar de laranja no noroeste do Paraná com manejo da cobertura permanente na entrelinha. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 3, p. 423-433, 2007.

FRAZÃO, L. A.; PAUSTIAN, K.; CERRI, C. E.; CERRI, C. C. Soil carbon stocks and changes after oil palm introduction in the Brazilian Amazon. **GCB Bioenergy**, 2012, doi:10.1111/j. 1757-1707.2012.01196.x

FORSETH, I. N.; TERAMURA, A. H. Field photosynthesis, microclimate and water relations of an exotic temperate liana, *Pueraria lobata*, kudzu. **Oecologia**, v. 71, p. 262–267, 1987.

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

JOURDAN, C.; REY H. Architecture and development of the oil-palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) root system. **Plant Soil**, v. 189, p. 33–48, 1997.

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

LAMBERS, H; CHAPIN, F. S.; PONS, T. L. Plant physiological ecology. **Springer**, New York , 2008.

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.

REPORTER BRASIL. Organização de Comunicação e Projetos Sociais: **Expansão do dendê na Amazônia brasileira**: elementos para uma análise dos impactos sobre a agricultura familiar no nordeste do Pará”. Disponível em: <<http://www.reporterbrasil.org.br/documentos/Dendê2013.pdf>. > Acesso em: 04 out. 2017.

SANTIAGO, W. R.; VASCONCELOS, S. S.; KATO, O. R.; BISPO, C. J. C.; RANGEL-VASCONCELOS, L. G.; CASTELLANI, D. C. Nitrogênio mineral e microbiano em sistemas agroflorestais com palma de óleo na Amazônia oriental. **Acta Amazônica**, v. 43, p. 395-406, 2013.

SILVA, O. C; STELLA, O; VARKULYA, A. JR; COELHO, S. T. **Potencial de mitigação de gases estufa pela indústria de óleo de palma visando a captação de recursos do**

mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL). In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 3., 2000, Campinas.

Disponível em: < http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid >. Acesso em: 10 jan. 2017.

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.; 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, p.257-271, 2004.

WEBER, M. A.; MIELNICZUK, J. Estoque e disponibilidade de nitrogênio no solo em experimento de longa duração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 429-437, 2009.

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

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.

ZARIN, D.J.; DAVIDSON, E.A.; BRONDIZIO, E.; VIEIRA, I.C.G. ; SA, T.; FELDPAUSC H, T.; SCHUUR, E.A.; MESQUITA, R.; MORAN, E.; DELAMONICA, P.; DUCEY, M.J.; H URTT, G.C.; SALIMON, C.; DENICH, M. Legacy of fire slows carbon accumulation in Amazonian forest regrowth. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 3, p. 365-369, 2005.

ZURAIDAH, Y.; AHMAD, T. M.; MOHD, H. H.; ABD, R. S. Oil palm adaptation to compactated alluvial soil (Typic Endoaquepts) in Malaysia. **Journal of Oil Palm Research**, v. 24, p. 1533-1541, 2012.

ZURAIDAH, Y.; AMINUDDIN, H.; JAMAL, T.; JAMAREI, O.; OSUMANU, H.A.; MOHAMADU, B.J..Soil compaction and oil palm (*Elaeis guineensis*) yield in a Clay textured soil. **American Journal of Agricultural and Biological Sciences**, v. 5, n. 1, p. 15-19, 2010.

ZURAIDAH, Y.; ZULKIFLI, H.; HANIFF M.H., NUR ZUHAILI H.A.Z.A., NORDIANA A.A., SHUIB A.R., AFIFAH A.R. AND NUR MAISARAH J. Alterations of Soil Physical Properties Due to Mechanization Activities Under Oil Palm on Bernam Series Soil. **International Journal of Agriculture Innovations and Research**, v. 3, n. 5, 2015.

3 PALMA DE ÓLEO EM SISTEMAS AGROFLORESTAL ESTOCA MAIS CARBONO E NITROGÊNIO DO QUE PALMA EM MONOCULTIVO TRADICIONAL NA AMAZÔNIA ORIENTAL

RESUMO

O solo pode ser uma das alternativas para mitigar as mudanças climáticas globais, devido ao seu potencial de armazenar carbono. Na Amazônia Oriental, pela expansão do cultivo da palma de óleo, faz-se necessário estudos de sistemas sustentáveis de produção e manejo que aumentem a matéria orgânica no solo, proporcionando maiores estoques de carbono e nitrogênio. O objetivo desta pesquisa foi comparar os estoques de carbono e nitrogênio entre palma de óleo em monocultivo e palma de óleo em sistemas agroflorestais orgânico, bem como avaliar os estoques em outros tipos de uso do solo, pastagem e Floresta secundária, que foram convertidas nesses sistemas, a fim de inferir possíveis mudanças nesses sistemas de uso do solo. Para isso, foram avaliados quatro sistemas de produção ou uso do solo: palma de óleo: em sistema agroflorestal orgânico (POSAF), palma de óleo em monocultivo (POMO), pastagem de *Brachiária decumbens* (PASTO) e Floresta sucessional de 15 anos (Floresta). Foram coletadas amostras nas profundidades: 0 – 5, 5 – 10, 10 – 20 e 20 – 30 cm para avaliar os teores de carbono e nitrogênio e consequente densidade para cálculo dos estoques desses elementos no solo. Nos três locais de estudo da cultura, a Linha da Palma apresenta os maiores teores de carbono. O sistema palma de óleo em SAF (POSAF) em comparação ao monocultivo (POMO) apresentou em todo o perfil do solo (0 – 30) os maiores teores e maiores estoques de carbono e nitrogênio. O sistema com palma de óleo (POSAF) estoca mais carbono e nitrogênio quando comparado aos outros sistemas de uso do solo estudados. Palma de óleo em sistema agroflorestal orgânico acumula mais carbono do que palma de óleo em monocultivo. O tipo de manejo sem adoção do corte-queima, com aporte de material orgânico pela trituração da Floresta sucessional e plantio de leguminosas contribuíram para o Sistema agroflorestal orgânico com palma de óleo, após cinco anos de implementação, se tornar sustentável na manutenção dos estoques de carbono e nitrogênio no solo.

Palavras chaves: Sistemas agroflorestais, monocultivo, floresta, carbono no solo.

4 OIL PALM IN AGROFORESTRY SYSTEMS STORES MORE CARBON AND NITROGEN THAN PALM IN TRADITIONAL MONOCULTURE IN THE EASTERN AMAZON

ABSTRACT

Soil may be one of the alternatives to mitigate global climate change because of its potential to store carbon. In the Eastern Amazon, the expansion of oil palm cultivation requires studies of sustainable production and management systems that increase organic matter in the soil, providing greater carbon and nitrogen stocks. The objective of this research was to compare the carbon and nitrogen stocks between oil palm in monoculture and oil palm in organic agroforestry systems, as well as to evaluate the stocks in other types of soil use, pasture and secondary forest, which were converted in these systems, in order to infer possible changes in these systems of land use. For this, four systems of production or land use were evaluated: oil palm: in an organic agroforestry system (POSAF), monoculture oil palm (POMO), Brachiária decumbent pasture (PASTO) and successional forest of 15 years). Samples were collected at the depths: 0 - 5, 5 - 10, 10 - 20 and 20 - 30 cm to evaluate the carbon and nitrogen contents and consequent density for the calculation of soil elemental stocks. In the three study sites of the culture, the Palm Line presents the highest carbon content. The oil palm system in SAF (POSAF) in comparison to the monoculture (POMO) presented the highest levels of carbon and nitrogen in the whole soil profile (0 - 30). The oil palm system (POSAF) stores more carbon and nitrogen when compared to the other land use systems studied. Oil palm in an organic agroforestry system accumulates more carbon than oil palm in monoculture. The type of management without adoption of cutting-off, with the contribution of organic material by the trituration of the successional forest and planting of legumes contributed to the organic agroforestry system with oil palm, after five years of implementation, to become sustainable in the maintenance of the stocks of Carbon and nitrogen in the soil.

Keywords: Agroforestry systems, monoculture, forest, soil carbon.

3.1 Introdução

As queimadas das florestas, no Brasil, são umas das principais fontes de carbono para a atmosfera, segundo Marengo (2007) a ação do homem tem contribuído para as mudanças climáticas por meio da emissão de gases como o dióxido de carbono (CO₂) e o metano (CH₄). O solo, devido ao potencial de armazenamento de carbono, pode ser uma das alternativas para mitigar as emissões desses gases de efeito estufa, contribuindo para amenizar as mudanças climáticas globais. Mudanças no uso da terra, na Amazônia brasileira, tem se intensificado com a expansão do cultivo de palma de óleo. Essa cultura exógena já foi responsável pelo desmatamento de milhões de hectares de florestas primárias na Indonésia e Malásia, primeiro e segundo maiores produtores mundiais de óleo de palma respectivamente (USDA, 2017).

O Estado do Pará é o maior produtor de óleo de palma do Brasil, com área plantada de 166.000 hectares (REPORTER BRASIL, 2013). De origem africana, essa cultura, encontrou condições edafoclimáticas excelentes para seu desenvolvimento nessa região, todavia, quando essa cultura foi implantada na Amazônia, houve um intenso desmatamento e queimada de florestas primárias (AGROPALMA, 2015).

Para solucionar o problema do desmatamento com a expansão da cultura da palma, o governo do Brasil lançou políticas públicas via Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) que apresentou o Zoneamento Agroecológico e Econômico da Palma de óleo (ZAE-Dendê) que se transforma no instrumento de ordenamento territorial utilizado pelo governo federal para que o País garanta a expansão do cultivo da palma de óleo em bases sustentáveis. Em 2010, na cidade de Tomé-Açu (Pa), o Governo lançou o Programa de Produção Sustentável da Palma de Óleo, que proíbe a derrubada de floresta nativa para implantação dessa cultura e estabelece regras claras para a expansão do cultivo, conciliando proteção e recuperação do meio ambiente, investimento, inovação tecnológica e geração de renda na agricultura familiar (BRASIL, 2010).

Diante de todo o cenário de expansão do cultivo da palma de óleo, há necessidades de alternativas para produção em monocultivo, sendo os sistemas agroflorestais apontados como possíveis soluções para amenizar problemas ambientais e econômicos (BHAGWAT; WILLIS, 2008; SANTIAGO et al., 2013; CARVALHO et al., 2014). A expansão da cultura da palma de óleo ocorre também porque, nos últimos anos, tem trazido um forte apelo ambiental, além de mostrar-se como atividade produtiva em condições de preservar o meio ambiente sem fortes agressões à floresta nativa, podendo ser plantada em áreas degradadas,

possibilitando um perfeito recobrimento do solo quando adultas e, na fase jovem, pode ser associado a leguminosas de cobertura de solo fixando nitrogênio. Por isso, a cultura da palma de óleo pode ser enquadrada no chamado desenvolvimento sustentável, sendo mais uma oportunidade de negócios na Amazônia (NAHUM; MALCHER, 2014).

Nos solos de baixa fertilidade natural, comumente observados na Amazônia, a sustentabilidade dos sistemas agropecuários está associada à capacidade de manter ou promover aumentos na disponibilidade de nutrientes às plantas por meio do manejo da matéria orgânica do solo, sobretudo para produtores com acesso restrito a insumos industrializados. No caso da palma de óleo, os sistemas de produção são predominantemente praticados nos moldes convencionais, preconizando-se o monocultivo e o consumo de insumos industrializados, sendo, por isso, normalmente incompatíveis com a realidade socioeconômica do produtor rural familiar da região amazônica (SANTIAGO et al., 2013).

Pesquisas envolvendo teores e estoques de carbono, nitrogênio e fracionamento da matéria orgânica vêm sendo desenvolvidas com palma de óleo em sistemas agroflorestais orgânicos, assim como estoques de carbono e nitrogênio em monocultivo dessa cultura (FRAZÃO et al., 2012; SANTIAGO et al., 2013; CARVALHO et al., 2014). Manter o solo como armazenador de carbono nesses sistemas de uso da terra provavelmente contribui para amenizar o aquecimento global.

Neste estudo, como a cultura da palma de óleo vem se expandindo em áreas da Amazônia coberta por Floresta sucessional (capoeira), pastagens e outros tipos de cobertura do solo, é fundamental compreender as consequências ambientais nos estoques de carbono e nitrogênio na mudança no uso do solo para sistemas de monocultivo e palma de óleo em sistemas agroflorestais orgânico. Por isso, esta pesquisa tem como objetivo comparar palma de óleo em monocultivo e palma de óleo em Sistema agroflorestal orgânico. Além disso, avaliar os estoques em outros tipos de uso do solo, pastagem e Floresta.

3.2 Material e métodos

3.2.1 Localização das áreas de estudo

O estudo foi realizado no Distrito de Quatro Bocas, município de Tomé-Açu (02° 20' 59" de latitude sul e 48° 15' 36" de longitude a oeste de Greenwich), localizado na Mesorregião Nordeste do Estado do Pará, à margem esquerda do Rio Acará, a 200 km da capital Belém com altitude de 53 metros (Figura 1).

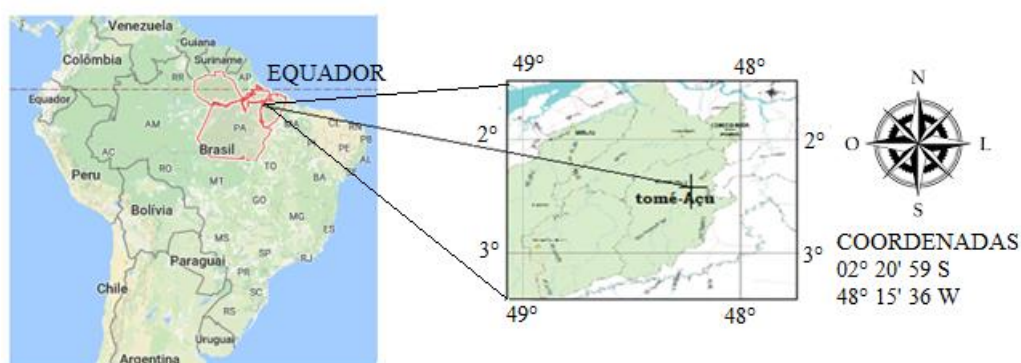


Figura 1. Mapa de localização da área de estudo em relação à linha do Equador, coordenadas geográficas, município de Tomé-Açu, Estado do Pará, Brasil.

O clima é classificado como tropical quente úmido (Ami, segundo a classificação de Köppen), com uma estação seca de agosto a outubro (Figura 2), a precipitação pluviométrica anual é de 2.463,8 mm, com alta incidência de chuvas de dezembro a maio, correspondendo a 81,2 % do total da precipitação anual. A temperatura média anual é 26,3°C, variando mensalmente entre 21,0°C (agosto) e 33,8°C (outubro) com brilho solar anual de 2.372,3 horas. A umidade relativa do ar média anual é 85%, variando entre 80 (outubro) e 89% (março e abril). Estas informações das variáveis meteorológicas foram coletadas na Estação Climatológica da Embrapa Amazônia Oriental localizada em Tomé-Açu (Pa), e compreendem valores médios do período de 1985 a 2013. Os solos predominantes no município são os Latossolos Amarelos (Embrapa, 1999), textura franco-arenosa nos primeiros 20 cm, tornando-se franco argilo-arenosa conforme aprofunda-se no perfil (CARVALHO et al., 2014). Características químicas e físicas do solo na Tabela 1.

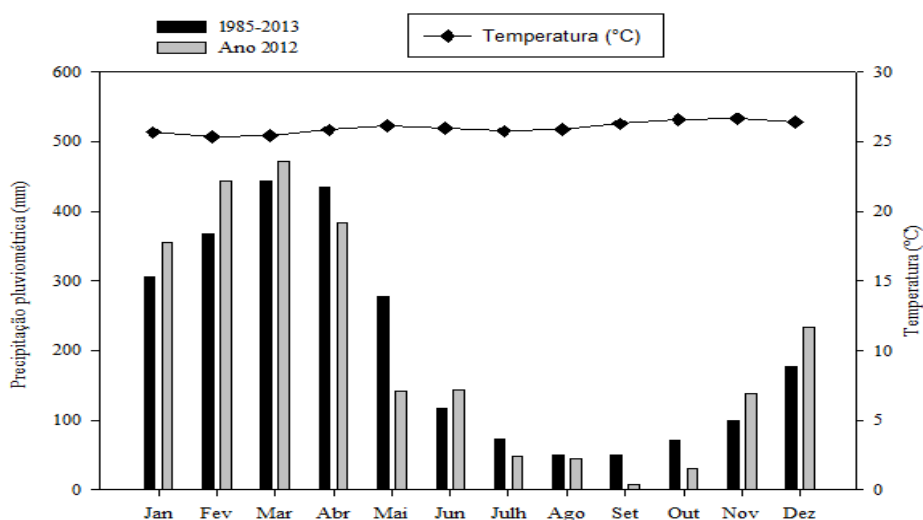


Figura. 2 Média da precipitação e temperatura mensal de 29 anos (1985-2013) e precipitação mensal no ano de coleta das amostras (2012), município de Tomé-Açu, Estado do Pará, Brasil.

Tabela 1. Atributos físicos e químicos nos diferentes sistemas de uso do solo: Palma de óleo em sistemas agroflorestal orgânico, palma de óleo em monocultivo (POMO), pastagem (PASTO) e Floresta sucessional (FLORESTA) nas profundidades de 0 – 5, 5 – 10, 10 – 20 e 20 – 30 cm, nordeste do Pará, Amazônia oriental, Brasil.

Sistema de uso do solo	Granulometria			Fertilidade							
	Areia	Silte	Argila	pH	P	K	Na	Ca	Mg	Al	H+Al
	g kg ⁻¹			água	mg/dm ³			cmol _c /dm ³			
Prof. 0 - 5 cm											
POSAF	693	187	120	5,00	10,7	81,7	8,90	4,40	1,00	0,2	3,90
POMO	625	176	200	4,98	64,9	118,7	15,3	3,92	0,94	0,21	3,80
PASTO	735	126	140	5,52	3,6	53,4	3,20	4,20	0,78	0,10	2,77
FLORESTA	779	102	120	4,64	4,80	38,4	5,20	3,08	0,74	0,36	4,92
Prof. 5 - 10 cm											
POSAF	704	97	200	5,20	8,3	64,4	8,3	3,50	0,80	0,20	3,30
POMO	562	219	220	5,02	8,7	93,2	9,9	3,04	0,63	0,26	3,29
PASTO	672	148	180	5,58	3,0	50,0	3,20	3,20	0,62	0,10	2,94
FLORESTA	719	122	160	5,00	4,60	26,8	5,60	2,08	0,52	0,32	3,83
Prof. 10 - 20 cm											
POSAF	623	137	240	5,30	5,40	53,7	7,70	2,00	0,60	0,20	2,60
POMO	527	213	260	5,02	4,6	66,1	7,9	2,31	0,50	0,27	2,48
PASTO	626	195	180	5,54	2,4	41,6	2,40	2,10	0,46	0,12	2,25
FLORESTA	579	181	240	4,90	2,20	18,4	3,60	1,34	0,40	0,34	3,14
Prof. 20 - 30 cm											
POSAF	535	145	320	5,30	1,5	44,6	6,8	1,10	0,40	0,40	2,70
POMO	452	209	340	5,12	2,0	29,9	6,0	1,70	0,42	0,33	1,97
PASTO	542	199	260	5,30	2,0	36,6	2,00	1,32	0,40	0,28	2,97
FLORESTA	461	159	380	4,80	1,60	9,8	2,80	0,92	0,36	0,56	3,04

Os valores apresentam médias (n = 5).

3.2.2 Descrição do experimento

O experimento foi realizado no Projeto dendê: sistemas agroflorestais na agricultura familiar, que tem como principal objetivo investigar o impacto de sistemas agroflorestais com palma de óleo (*Elaeis guineensis*) sobre a biodiversidade, polinização, qualidade do solo e ciclagem de carbono e nutrientes, em função da técnica de preparo de área e do arranjo de espécies agrícolas e florestais, tendo como público alvo os produtores rurais familiares. Foram avaliados quatro sistemas de uso do solo, para isso estimou-se uma área de dois hectares para cada sistema divididos em cinco parcelas cada, denominados de: 1- palma de óleo em sistema

agroflorestal orgânico (POSAF), 2 - palma de óleo em monocultivo (POMO), 3 - pastagem (PASTO), 4 - floresta secundária (Floresta).

O sistema POSAF foi formado após a trituração de 2 ha de floresta secundária através da técnica de trituração da capoeira, constituído por 11 linhas duplas de palma de óleo (7,8 por 9 m), espaçadas por uma faixa de 15,6 m, onde são cultivadas as espécies consociadas. Em cada linha dupla há 18 plantas de palma de óleo (nove plantas por linha simples). Assim, no sistema de produção, há 198 plantas de palma de óleo, ou seja, 99 plantas em cada hectare. Dentro desse sistema há plantas com a função de produção de biomassa para a ciclagem de nutrientes e fertilidade do solo, tutoramento e/ou sombreamento das espécies de valor econômico; assim como espécies frutíferas, oleaginosas e adubadeiras. O preparo do solo para implantação dos sistemas de produção ocorreu em outubro de 2007, com a trituração mecânica da vegetação (floresta sucessional 13 anos), em substituição ao uso do fogo, depositando-se sobre o solo a vegetação triturada, para função de cobertura morta (Denich et al., 2004). O sistema de corte-e-trituração apresenta vantagens relacionadas ao balanço de nutrientes (Sommer et al. 2004) e emissão de gases de efeito estufa (Davidson et al., 2008).

Em janeiro de 2008, foi aplicado manualmente na superfície do solo 1,3 Mg ha⁻¹ de calcário dolomítico e, entre fevereiro e março de 2008, foram plantadas as mudas de palma de óleo, que na ocasião estavam com aproximadamente 15 meses de idade e 2 m de altura, foram incluídas uma mistura de sementes de leguminosas (4 kg por hectare de *puerária phaseoloídes*) com a função de cobertura do solo e adubação verde, em linhas de plantio espaçadas de 3m em 3m nas faixas. No momento do plantio, foi realizada a adubação na cova, com uma combinação de 0,3 kg de fosfato natural (ARAD) e 10 kg de carvão vegetal moído, por planta de palma de óleo. A adubação de manutenção foi realizada em cobertura com 8 kg de composto orgânico por planta, constituído de resíduos orgânicos oriundos de agroindústria local de polpa de frutas (cascas e sementes).

Nos anos seguintes, foram realizadas sucessivas adubações de manutenção, conforme a necessidade das culturas, de acordo com análises de solo (0 a 30 cm de profundidade) e análises de tecido vegetal. 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. Em 2010, 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. A adubação das culturas associadas foi igual à da palma de óleo. Em 2010, 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 composto orgânico, o qual foi

substituído pela adição de fitomassa oriunda do manejo da vegetação espontânea e da poda das espécies adubadeiras.

O manejo da palma de óleo envolveu coroamento de 4 a 5 vezes ao ano e poda de limpeza (folhas velhas, inflorescência masculinas etc.) 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, foi realizada capina/roçagem seletiva visando a controlar a vegetação espontânea agressiva, como, por exemplo, as gramíneas, deixando as espécies espontâneas de folhas largas.

No sistema de produção em monocultivo (POMO), o preparo de área consistiu de derrubada de Floresta secundária de aproximadamente 13 anos, formada após repetidos ciclos de queima e pousio. Utilizada mecanização com trator de esteira, destocamento, enleiramento do material vegetal, queima e posterior realização de gradagem aradora e niveladora. Plantio de puerária (*puerária phaseoloídes*) em seguida o plantio das mudas no final de 2006 em cova com as mesmas dimensões dos sistemas orgânicos com adubação de fundação (cova) de 800 g de superfosfato triplo (SFT).

Em 2007, foi realizada adubação de cobertura na coroa da planta no início e final do período chuvoso, sendo aplicado: 200 g de ureia, 100 g de cloreto de potássio (KCL), 100 g de sulfato de magnésio ($MgSO_4$), 13 g de bórax e 8 g de micronutrientes (Zincop 101). Nos demais anos, até o terceiro ano, após o plantio no campo (início da produção), foi realizada adubação parcelada por ano em duas vezes com ureia, superfosfato triplo (SFT), cloreto de potássio (KCL), sulfato de magnésio ($MgSO_4$), Borax e Zincop (101) de acordo com a Tabela 2. Atualmente, a adubação é mecanizada, 3 a 4 vezes ao ano, na Coroa da palma (raio de 2,4 metros) sendo utilizado 1 kg da formulação 12-2-20 de NPK.

Tabela 2. Programa de adubação do plantio de palma de óleo em monocultivo.

Adubo	Quantidade de adubo Ano ($g\ planta^{-1}$)		
	1°	2°	3°
Ureia	200 + 200	300 + 300	500 + 500
SFT	500 + 500	600 + 600	750 + 750
KCL	200 + 200	300 + 300	400 + 400
$MgSO_4$	100 + 100	100 + 100	200 + 200
Borax	30 + 30	30 + 30	30 + 30
Zincop (101)	15 + 15	30 + 30	50 + 50

Do 4° ano em diante, 1 kg da formulação 12-2-20 (NPK). Sinal de + significa quantidade adubo parcelada de duas vezes.

O manejo do sistema convencional consiste no coroamento das plantas, com utilização de capina química (glifosato), 3 vezes ao ano, roçagem das entrelinhas, poda manual de limpeza até o terceiro ano e colheita e coleta dos cachos. Sendo que a colheita é manual com sacho e a coleta dos cachos com utilização de trator através do carreador. Segundo o agricultor rural, a produção anual é de 10 toneladas por hectare. O material vegetal resultante das podas de limpeza e a folha, após a coleta dos cachos, são deixados ao lado da linha de plantio, formando uma pilha de restos culturais que entram em decomposição.

A área de pastagem era de agricultor familiar, formada com a gramínea *Brachiária (Brachiária decumbens)* há cinco anos após derruba e queima da Floresta secundária 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*), sem utilização de defensivos e fertilizantes. A área de referência é uma Floresta sucessional (Floresta), que era um fragmento remanescente da vegetação triturada no preparo da área do sistema POSAF, formada após repetidos ciclos de corte e queima para agricultura de subsistência. Em 2008, a floresta sucessional, estava aproximadamente com 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 ≥ 10 cm) (Izildinha Sousa, comunicação pessoal). As espécies de maior ocorrência na floresta sucessional eram *Tapirira guianensis* Aubl., *Vismia guianensis* Aubl., *guianensis* Aubl., *Inga alba* Willd. E *Apeibaburchellii* Sprague.

3.2.3 Amostragem, preparo das amostras e métodos analíticos

A coleta de amostras de solo foi realizada em agosto de 2012, período seco. Em cada tratamento com cultivo de palma de óleo, estabeleceram-se, ao acaso, cinco parcelas medindo 22,5 m por 18 m, de forma a incluir duas linhas de palma de óleo e uma faixa de espécies. As amostras foram coletadas nas áreas de manejo, Coroa, Carreador, Linha da Palma, nas profundidades 0-5, 5-10, 10-20 e 20-30 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 Análise de Sistemas Sustentáveis (LASS) 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). Aproximadamente, 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 cada parcela dos sistemas de uso, escavaram-se 4 trincheiras medindo 70 cm de comprimento, 70 cm de largura e 70 cm de profundidade em cada parcela por local de estudo. Retiraram-se amostras indeformadas nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-30 cm de três faces internas da trincheira com auxílio de trado extrator e anéis de aço (Kopeck) de bordas cortantes com volume interno conhecido (Figura 4). A densidade do solo foi determinada pelo método do anel volumétrico (EMBRAPA, 1997), em que as amostras indeformadas foram colocadas em estufa a 105°C até atingir peso constante.

3.2.4 Estoque de Carbono e Nitrogênio 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 0,20g com precisão de quatro casas decimais, para determinação da concentração de C por combustão a seco, em analisador elementar da marca LECO, modelo CNS 2000 (forno a 1350°). O estoque de carbono total do solo foi calculado segundo Veldkamp (1994), em que: $EstC = (Ct \times Ds \times e) / 10$, onde: EstC= estoque de carbono total em determinada profundidade ($Mg \text{ ha}^{-1}$); Ct = teor de carbono orgânico total na profundidade amostrada ($g \text{ kg}^{-1}$); Ds = densidade do solo na profundidade amostrada ($g \text{ cm}^{-3}$); e = espessura da camada considerada (cm). Como os resultados de densidade se mostraram significativos para os diferentes locais de coleta das amostras houve a necessidade de fazermos ajustes para equivalência de massa (SISTI *et al.*, 2004). Para isso, tomamos como área de referência as massas por profundidade do sistema de uso ou tratamento Floresta.

3.2.5 Análise estatística

Desenho experimental inteiramente ao acaso com cinco repetições (ou pseudo repetições) em cada sistema de uso do solo, com o pressuposto de que os sistemas estavam localizados na mesma área e com as mesmas condições edáficas, climáticas e topográficas. Os dados foram submetidos à análise de variância com dois fatores para comparar interações entre sistemas de uso e áreas de manejo (local de coleta). Para comparar os efeitos dos Sistemas de uso versus a referência Floresta, os dados da concentração, densidade, estoques de carbono e nitrogênio foram comparados através de ANOVA com um fator em nível de 5 %

de significância pelo teste “F” e, nos casos de resultados significativos, foram realizadas as comparações múltiplas de médias entre sistemas de uso do solo (tratamentos) pelo teste de Tukey a 5 %. As análises foram feitas separadamente para cada profundidade.

3.3 Resultados

3.3.1 Teores de Carbono e Nitrogênio, densidade aparente do solo em plantio de palma de óleo em sistema agroflorestal orgânico e palma de óleo em monocultivo (POSAF e POMO).

A interação entre os fatores sistema de uso do solo e áreas de manejo (local da coleta) não foi significativa para teor de carbono, nitrogênio e densidade. Passando-se a estudar o efeito isolado de cada fator. Foram observadas diferenças significativas ($P = 0,038$) entre áreas de manejo no teor de carbono na profundidade de 0 – 5 cm (Figura 3A).

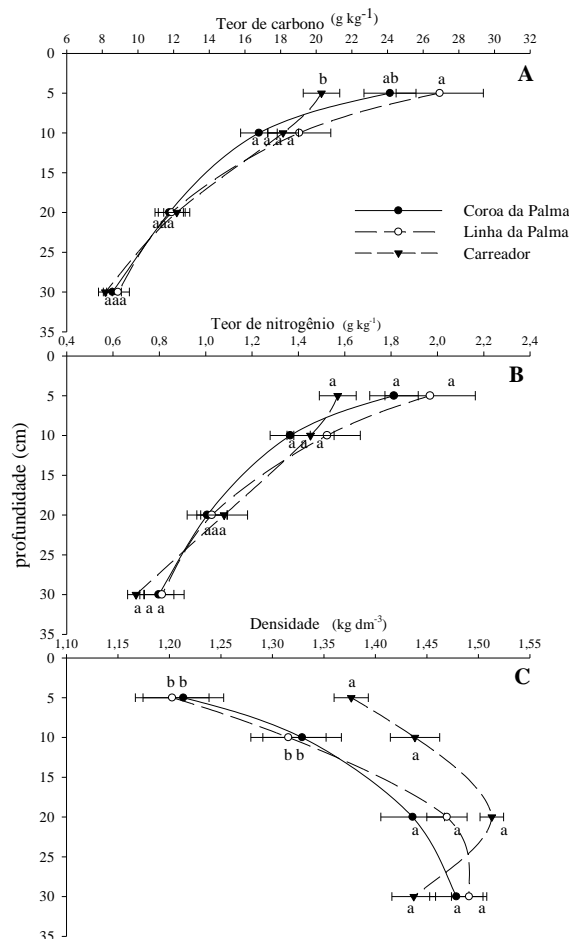


Figura 3. Médias (N=10) dos teores de Carbono (A), Nitrogênio (B) e Densidade aparente do solo (C) por profundidade, 0 – 5, 5 – 10, 10 – 20 e 20 – 30 cm, entre áreas de manejo (local da coleta), Coroa da Palma, Linha da Palma, Carreador nos sistemas de uso do solo. Letras diferentes significam diferenças significativas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Barras nas profundidades representam erro padrão da média.

Após o teste de comparações múltiplas de média ($N = 10$), observa-se que a área de manejo linha da palma apresenta teores de carbono superior ao carreador. Para a densidade aparente do solo (Figura 3C) houve diferenças significativas ($P = 0,001$) nas duas primeiras profundidades, 0 – 5 e 5 – 10 cm, apresentando as áreas de manejo linha da palma e coroa da palma, as menores densidades em relação ao carreador.

Em relação aos dois tratamentos de sistemas de uso do solo (Figura 4), houve diferenças significativas nos teores de carbono (Figura 4A) nas profundidades 0 – 5 cm ($P = 0,011$), e 10 a 20 cm ($P = 0,025$). Já os teores de nitrogênio (figura 4B) em quase todas as profundidades, exceto de 5 – 10 cm apresentaram significância. Tanto os teores de carbono como de nitrogênio foram superiores no sistema de uso do solo POSAF.

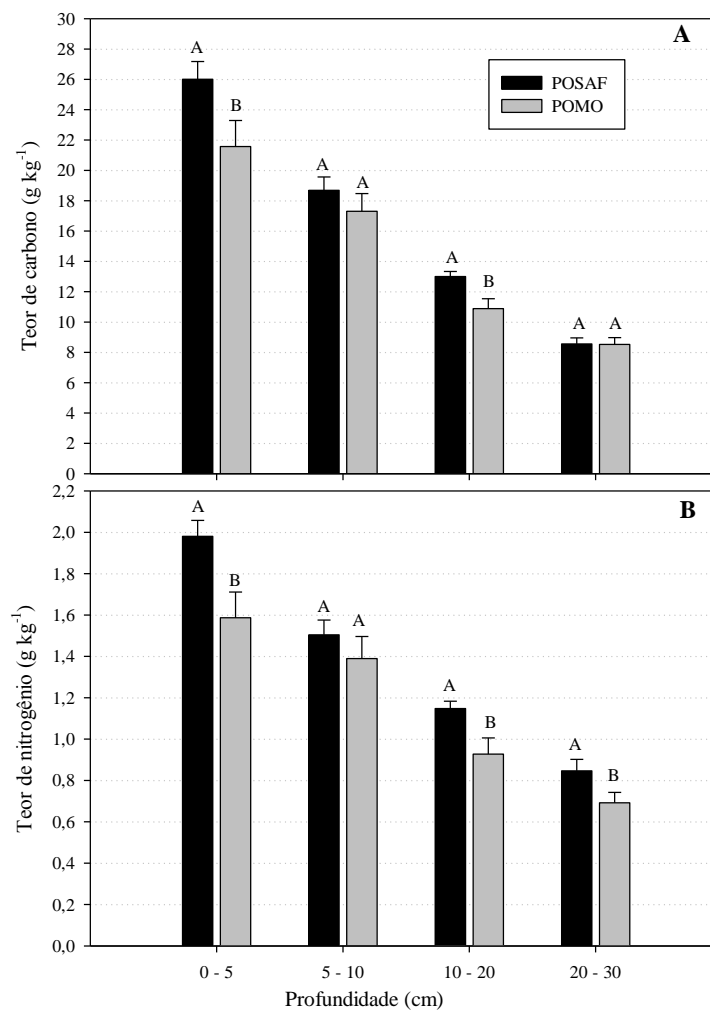


Figura 4. Teores de carbono e nitrogênio por profundidades nos sistemas de uso do solo com palma de óleo, POSAF – palma de óleo em sistemas agroflorestais e POMO – palma de óleo em monocultivo, em diferentes profundidades. Letras diferentes significam diferenças significativas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Barras nas profundidades representam erro padrão da média.

3.3.2 Estoque de carbono e nitrogênio entre POSAF e POMO

A tabela 3 traz os resultados dos estoques de C e N. Entre as camadas houve diferença significativa nos estoques de carbono nas camadas 0 – 5 cm ($P = 0,044$), 10 – 20 cm ($P = 0,04$) e em toda a camada de 0 – 30 cm ($P = 0,006$). Para o estoque de nitrogênio, exceto a camada de 5 – 10 cm que não foi significativo, as demais profundidades foram afetadas de modo significativo pelo sistema de uso do solo. Assim, conclui-se que tanto os estoques de carbono como os de nitrogênio foram maiores.

Tabela 3. Estoques de carbono e nitrogênio nos sistemas de uso do solo com palma de óleo em sistema agroflorestal orgânico (POSAF) e palma de óleo em monocultivo (POMO).

Profundidade e (cm)	SISTEMAS DE USO DO SOLO															
	POSAF				POMO											
	Estoque de Carbono				Estoque de Nitrogênio											
	Mg ha ⁻¹															
0 - 5	12,2	±	0,54	a	10,1	±	0,81	b	0,93	±	0,04	a	0,74	±	0,06	b
5 - 10	12,7	±	0,50	a	11,4	±	0,59	a	1,01	±	0,04	a	0,89	±	0,05	a
10 - 20	19,3	±	0,48	a	16,8	±	0,86	b	1,68	±	0,05	a	1,41	±	0,09	b
20 - 30	13,8	±	0,54	a	13,2	±	0,51	a	1,32	±	0,07	a	1,09	±	0,07	b
0 - 30	58,0	±	1,30	a	51,6	±	1,64	b	4,94	±	0,14	a	4,14	±	0,17	b

Letras diferentes na mesma linha significam diferenças significativas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Sinal de ± antes dos números representam erro padrão da média.

3.3.3 Teor de carbono e nitrogênio, densidade e estoques de carbono nos diversos sistemas de uso do solo.

O sistema de uso POSA, para os teores de carbono e nitrogênio (Figura 5), apresenta os maiores valores significativos até a profundidade de 20 cm em relação ao Pasto e à Floresta nas profundidades de 0 – 5 e 5 – 10 cm, e de 10 – 20 cm em relação a todos os outros sistemas de uso do solo. Houve diferenças significativas entre os sistemas de uso para densidade, apresentando o sistema de uso pasto com maiores densidades nas duas primeiras camadas, sendo que de 0 – 5 cm foi superior a todos os outros sistemas, e de 5 – 10 cm foi igual a POMO superior em relação aos demais uso do solo (POSAF e FLORESTA).

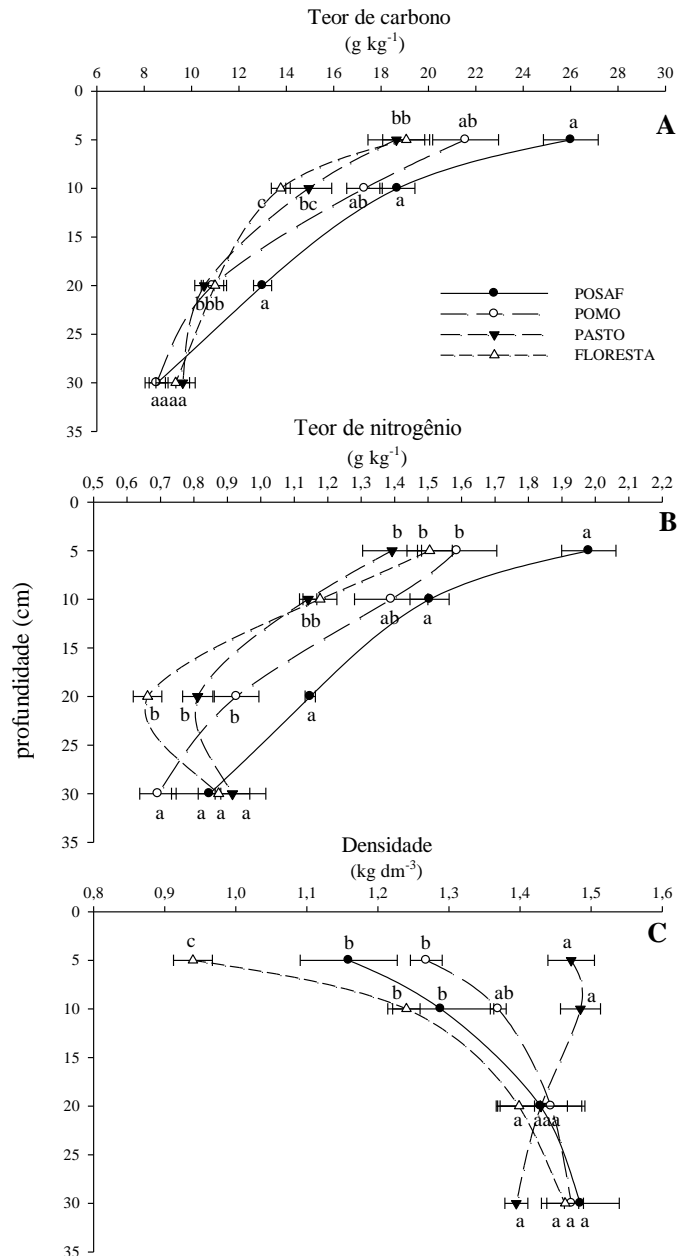


Figura 5 Médias (N=10) dos teores de Carbono (A), Nitrogênio (B) e Densidade aparente do solo (C) por profundidade, 0 – 5, 5 – 10, 10 – 20 e 20 – 30 cm, entre áreas de manejo (local da coleta), Coroa da palma, Linha da alma, Carreador nos sistemas de uso do solo: Palma de Óleo em sistemas agroflorestais – POSAF, Palma de óleo em monocultivo - POMO, pastagem – Pasto, Floresta secundária - FLORESTA. Letras diferentes significam diferenças significativas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Barras nas profundidades representam erro padrão da média.

Para os estoques de carbono e nitrogênio (Tabela 4), POSAF apresentou os maiores estoques para os dois elementos em todas as profundidades, significativos até a profundidade de 20 cm, na camada de 0 – 5, 5 – 10 e 10 – 20 cm para o estoque de carbono e foi superior a Pasto e à Floresta. Para os estoques de nitrogênio POSAF, apresentou maiores estoques até 10

m em relação a Pasto e à Floresta e na camada de 10 – 20 cm foi maior em relação aos demais sistemas de uso do solo. Analisando toda a profundidade 0 – 30 cm (Figura 6), POSAF apresentou o maior estoque de carbono em relação aos demais; e Floresta o menor, ficando os outros sistemas (POMO e PASTO) de uso na faixa intermediária em igualdade. Para o estoque de nitrogênio, POSAF foi maior estatisticamente em relação aos outros sistemas de uso.

Tabela 4. Estoques de carbono e nitrogênio por profundidade nos sistemas de uso do solo: palma de Óleo em sistemas agroflorestais – POSAF, palma de óleo em monocultivo - POMO, pastagem – PASTO, floresta secundária - FLORESTA.

Sistema de uso do solo	Estoque de Carbono							
	Profundidade (cm)							
	0 - 5		5 - 10		10 - 2		20 - 30	
(Mg ha ⁻¹)								
POSAF	12,2 ± 0,54	a	12,7 ± 0,31	a	19,3 ± 0,46	a	13,8 ± 0,44	a
POMO	10,1 ± 0,65	ab	11,4 ± 0,40	ab	16,8 ± 0,58	ab	13,2 ± 0,39	a
PASTO	8,7 ± 0,56	b	10,3 ± 0,61	bc	16,5 ± 0,37	bc	14,6 ± 0,20	a
FLORESTA	9,3 ± 0,76	b	9,0 ± 0,55	c	15,4 ± 0,63	c	12,9 ± 0,56	a
Estoque de Nitrogênio								
POSAF	0,93 ± 0,04	a	1,01 ± 0,03	a	1,68 ± 0,02	a	1,32 ± 0,03	a
POMO	0,74 ± 0,06	ab	0,89 ± 0,06	ab	1,41 ± 0,08	b	1,09 ± 0,05	a
PASTO	0,65 ± 0,04	b	0,77 ± 0,03	b	1,27 ± 0,05	b	1,07 ± 0,04	a
FLORESTA	0,71 ± 0,04	b	0,73 ± 0,04	b	1,28 ± 0,08	b	1,27 ± 0,19	a

Letras diferentes nas colunas significam diferenças significativas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Números após símbolo ± significam erro padrão da média.

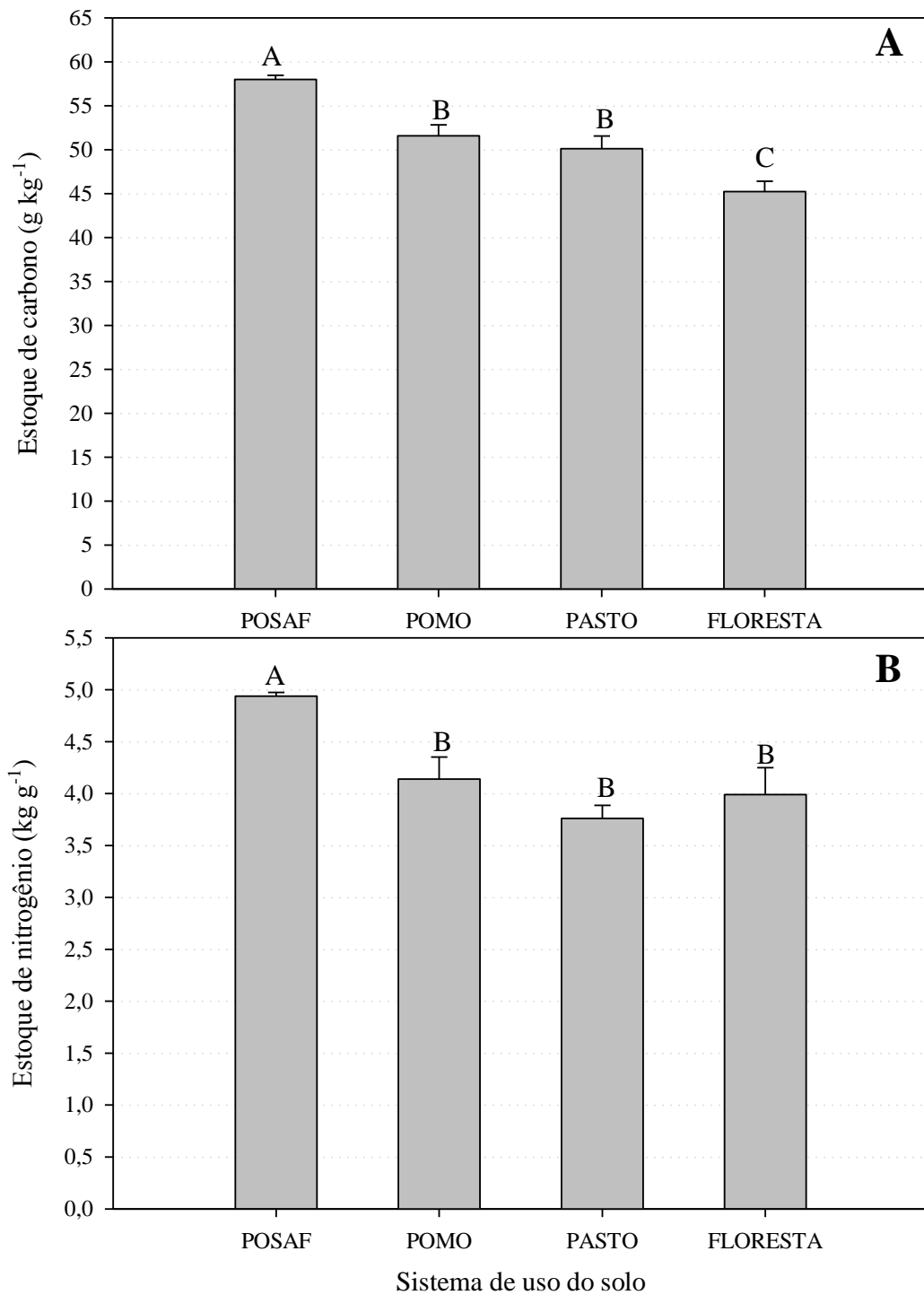


Figura 6. Estoques de carbono (A) e nitrogênio (B) em toda profundidade (0 – 30 cm) nos sistemas de uso do solo: palma de óleo em sistema agroflorestal orgânico - POSAF, palma de óleo em monocultivo - POMO, pastagem – PASTO, floresta secundária - FLORESTA. Letras diferentes em cima das barras de erro significam diferenças significativas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

3.4 Discussão

Os teores de carbono (C) e nitrogênio (N) foram maiores na Linha da palma, em relação ao Carreador, provavelmente pela compactação do solo ocasionada pelo tráfego de máquinas durante o manejo da cultura neste local (ZURAIDAH et al., 2010; ZURAIDAH et al., 2012), observou-se, neste estudo, maior densidade aparente no Carreador, em relação à Linha da palma. Na Amazônia Oriental, após desmatamento da floresta para implantação de sistemas agrários (pastagem), há um aumento da densidade nas primeiras camadas do solo (SILVA JR. et al. 2009).

O menor acúmulo de C e N no carreador possivelmente está relacionado a menor entrada de aporte orgânico via sistema radicular da palma, pois há influência nos atributos físicos do solo e nas funções das raízes pela compactação do solo neste local, havendo restrição no crescimento radicular e redução no volume de solo explorado pela palma (FIDALSKI et al., 2007; YAHYA et al., 2010).

Solos manejados com tráfego de máquinas tendem a ter aumento da densidade do solo, redução da porosidade total e diâmetro médio ponderado de agregados (CALONEGO et al., 2012; WENDLING et al., 2012). Assim, levando a maior oxidação da matéria orgânica do solo pela diminuição da proteção física no interior de agregados, em consequência facilita os processos oxidativos da decomposição da matéria orgânica do solo (HASSINK; WHITMORE, 1997).

O sistema POSAF tem maior concentração de C e N no solo, assim como maior estoque destes nutrientes em relação ao sistema POMO, provavelmente devido ao manejo orgânico adotados neste sistema de uso, pois, há adição de resíduos vegetais na forma de cachos nas coroas e entre as plantas, e adubação orgânica com esterco de animais. A quantidade de matéria orgânica no solo se correlaciona diretamente com o estoque de carbono e nitrogênio no solo. Assim, sistemas agrícolas que utilizam práticas conservacionistas de manejo, que promovam o aumento da matéria orgânica, terão maiores estoques de C e N no solo (SOUZA et al., 2009; FRAZÃO et al., 2012).

O maior incremento de C, no sistema POSAF, possivelmente também está relacionado ao material adicionado pela trituração da floresta (capoeira) e adubação orgânica, pois parte do N nos compostos encontram-se na forma orgânica, mantendo esse elemento por maior período de tempo no solo, em comparação ao adubo mineral, e favorecendo a estabilidade da matéria orgânica no solo (SILVA; MENDONÇA, 2007). A maior diferença de acúmulo de C e N no solo no sistema POSAF ocorreu na camada superficial, uma vez que neste sistema há pouco revolvimento do solo. Aliado ao não revolvimento do solo, o cultivo de culturas

perenes e o manejo orgânico são de grande importância na preservação da integridade da estrutura do solo e, conseqüentemente, na manutenção dos estoques de C e N no solo (SILVA et al., 2015).

O cultivo de Palma de óleo orgânico, em quase todas as profundidades, apresentou os maiores estoques de carbono em relação ao Pasto e à Floresta, menos na última camada (20 – 30), isso comprova a grande dinâmica que a matéria orgânica exerce nas camadas mais superficiais do solo, respondendo à adição da trituração da biomassa da floresta antecessora, ao material podado das espécies adubadeiras, da própria palma, e as adições de resíduos orgânicos pelas adubações. Por outro lado, o monocultivo não diferenciou da pastagem, e a pastagem apresentou os mesmos estoques de carbono da capoeira, o mesmo acontecendo com o nitrogênio. O monocultivo de palma estocou mais carbono e nitrogênio no solo, em relação à Floresta, possivelmente pela capacidade do sistema radicular da palma de óleo e do manejo da cobertura do solo com leguminosas, isso já comprovado nesta cultura no Brasil e na Malásia (FRAZÃO et al., 2012; FRAZÃO et al., 2014; HARON et al., 1998). O potencial de acúmulo de C e N é afetado pelo manejo adotado nas culturas, que afetam a quantidade e a qualidade dos resíduos da cultura adicionados ao solo e a taxa de decomposição (PAUSTIAN et al., 2000, JARECKI; LAL, 2003); neste caso, o sistema POSAF tem retorno de nutrientes via deposição de resíduos pela adubação orgânica, principalmente pelos cachos na coroa da palma, durante o manejo orgânico, além da utilização de esterco de aves para adubação.

Os estudos do IPCC apresentam nos relatórios nacionais suposições de que os sistemas de cultivo perenes não têm um efeito negativo nos estoques de carbono no solo na conversão de florestas para estes cultivos (IPCC, 2006). Neste estudo verificamos que tanto o monocultivo quanto o cultivo orgânico de Palma de óleo estocou mais C e N que a Floresta. O menor estoque de C e N na floresta pode ser explicado pela taxa de acúmulo de biomassa que pode ser baixa por fatores como histórico de uso da terra, vegetação adjacente, fertilidade do solo e clima (ZARIN et al., 2005). Esses maiores estoques na cultura da palma de óleo podem estar relacionados com o sistema radicular fasciculado, importante fonte de carbono na superfície do solo (JOURDAN; REY, 1997), de modo que contribui para maior estoque e teor de carbono e nitrogênio nestes sistemas.

A Pastagem apresentou menor estoque de C e N em relação aos sistemas com Palma de óleo, contrapondo a alguns resultados observados na Amazônia em pesquisas anteriores (FEARNSIDE; BARBOSA, 1998, CERRI et al., 2003; ZINN et al., 2005; FRAZÃO et al., 2012). Silva Jr. et al. (2009), quando estudou a transformação de Floresta em pastagem com diferentes idades, na Amazônia oriental, observou que os estoques de carbono aumentam

proporcionalmente com sua idade. As pastagens com sistema radicular de rápida ciclagem de nutrientes tendem a acumular C nos horizontes superficiais com introdução de material orgânico via ciclagem de raízes (FISHER et al., 1994; REZENDE et al., 1999), bastante comum em solos amazônicos, consequência da formação de pastagens após o desmatamento na bacia amazônica (TRUMBORE et al., 1995; BERNOUX et al., 1998). No entanto, em pastagens degradadas por falta de manejo de adubação e regimes extremos de queima e sobre pastejo, a tendência é de que haja perda de C e N no solo.

Desde os anos 1980, são realizados estudos sobre estoques de carbono no solo de pastagens da Amazônia, no Programa Large Scale Brazilian Atmosphere Project (LBA), e pode-se concluir que, se as pastagens forem bem conduzidas em manejos de fertilidade e de carga animal adequada, aumentam os estoques de carbono no solo em relação à floresta original após 10 anos da conversão. Entretanto, em pastagens mal manejadas, degradadas, há redução dos estoques (CHONÉ et al. 1991;; NEPSTAD et al. 1994; FEIGL et al. 1995; MORAES et al. 1997; KOUTIKA et al. 1997).

Os sistemas com palma de óleo apresentaram a capacidade da cultura em adicionar C e N no solo, com o cultivo orgânico trazendo impactos mínimos ao estoque de C e N no solo anteriormente ocupado por Floresta sucessional. Trabalhos mostram que a cultura da Palma de óleo assim como outras culturas perenes tendem a ter mínimo impacto no estoque de C no solo (MAIA et al., 2010; FRAZÃO et al., 2012, 2014), podendo ser atribuída a práticas de manejo que minimizam a movimentação do solo, maximizam o retorno de resíduos da cultura com deposição dos cachos após retirada do fruto e adubação orgânica com esterco de frango, sendo estes métodos de manejo sugeridos para aumentar as reservas de C no solo (OGLE et al., 2005; ZINN et al., 2005).

Os maiores estoques de N em POSAF ratificaram o incremento deste nutriente feito pelas espécies adubadeiras de rápido crescimento, responsáveis pela fixação biológica do nitrogênio (FBN) através das bactérias diazotróficas e fungos micorrízicos, onde figurava a leguminosa arborea *gliricidia sepium* que tem uma intensa capacidade de produção de biomassa vegetal no que se refere ao N, a entrada no sistema ocorre por meio da adubação e fixação biológica, enquanto as perdas estão relacionadas a fenômenos de erosão, lixiviação, desnitrificação e remoção pelas colheitas, sendo primordial um balanço positivo de N no sistema para que haja acúmulo desse nutriente e, por conseguinte, de MOS (SISTI et al., 2004; DIEKOW et al., 2005).

3.5 Conclusão

Nos três locais de estudo da cultura, a linha da palma apresenta os maiores teores de carbono.

O sistema palma de óleo em SAF (POSAF) em comparação ao monocultivo (POMO) apresentou em todo o perfil do solo (0 – 30), os maiores teores e maiores estoques de carbono e nitrogênio.

O sistema com palma de óleo (POSAF) estoca mais carbono e nitrogênio quando comparado aos outros sistemas de uso do solo estudados.

Palma de óleo em sistema agroflorestal orgânico acumula mais carbono do que palma de óleo em monocultivo.

AGRADECIMENTOS

Ao “Projeto dendê: sistemas agroflorestais na agricultura familiar”, executado pela Empresa Natura Inovação e Tecnologia de Produtos Ltda, Cooperativa Mista de Tomé-Açu – CAMTA e Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa. Financiado por Financiadora de Estudos e Projetos – FINEP, Natura Inovação e Tecnologia de Produtos, Embrapa e Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia dos Serviços Ambientais da Amazônia, à equipe do Laboratório de Análise de Sistemas Sustentáveis da Embrapa Amazônia Oriental.

Referências

- AGROPALMA. **Relatório de sustentabilidade 2015**. Disponível em: <http://www.agropalma.com.br/responsabilidade-socioambiental/relatorio-de-sustentabilidade>. APDF. Acesso em: 01 novembro 2016.
- BERNOUX, M.; CERRI, C. C.; NEILL, C. The use of stable carbon isotopes for estimating soil organic matter turnover rates. **Geoderma**, v. 82, p.43–58 (1998)
- BERNOUX, M.; CARVALHO, M.C.S.; VOLKOFF, B.; CERRI, C.C. Brazil's soil carbon stocks. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.66, p.888-896, 2002.
- BHAGWAT, S. A.; WILLIS, K. Agroforestry as a solution to the oil-palm debate **Conservation Biology**, v. 22, p. 1368-1370, 2008
- BRASIL. Programa de Produção Sustentável da Palma de Óleo no Brasil. Brasília, DF, 2010. 9 p.
- CALONEGO, J. C.; SANTOS, C. H.; TIRITAN, C. S.; CUNHA, J. R. J. Estoques de carbono e propriedades físicas de solos submetidos a diferentes sistemas de manejo. **Revista Caatinga**, v. 25, n.2, p.128-135, 2012.
- CERRI, C. E. P.; COLEMAN, K.; JENKINSON, D. S. Modeling soil carbon from forest and pasture ecosystems of Amazon, Brazil. **Soil Science Society of America Journal**, v.67, p.1879–1887, 2003.
- CHONÉ, T.; ANDREUX, F.; CORREA, J.C.; VOLKOFF, B.; CERRI, C.C. Changes in organic matter in an Oxisol from the Central Amazonian forest during eight years as pasture determined by ¹³C isotopic composition. In: BERTHELIN, J., ed. **Diversity of environmental biogeochemistry**. Amsterdam, Elsevier, 1991. p. 397-405.
- DIEKOW J, MIELNICZUK J, KNICKER H, BAYER C, DICK DP, KOGELKNABNER. Soil C and N stocks as affected by cropping systems and nitrogen fertilisation in a southern Brazil Acrisol managed under no-tillage for 17 years. **Soil and Tillage Research**, v. 81, p. 87–95, 2005.
- 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
- FEARNSIDE, P. M.; BARBOSA, R. I. Soil carbon changes from conversion of forest to pasture in Brazilian Amazonia. **Forest Ecology and Management**, v. 108, p. 166, 1998.
- FEIGL, B. J.; MELILLO, CERRI, C. C. Changes in the origin and quality of soil organic matter after pasture introduction in Rondônia (BRASZIL). **Plant and Soil**, The H, v. Hague v. 175, p. 21 – 29, 1995

FIDALGO, E.C.C.; BENITES, V.M.; MACHADO, P.L.O.A.; MADARI, B.E.; COELHO, M.R.; MOURA I.B.; LIMA, C.X. **Estoques de carbono nos solos do Brasil**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2007. 26p

FISHER, M. J.; RAO, I. M.; AYARZA, M. A. Carbon storage by introduced deeprooted grasses in the South American savannas. **Nature**, v. 371, p. 236–238, 1994.

FIDALSKI, J.; TORMENA, C. A.; SILVA, A. P. Qualidade física do solo em pomar de laranja no noroeste do Paraná com manejo da cobertura permanente na entrelinha. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 3, p. 423-433, 2007.

FRAZÃO, L. A.; PAUSTIAN, K.; CERRI, C. E.; CERRI, C. C. Soil carbon stocks and changes after oil palm introduction in the Brazilian Amazon. **GCB Bioenergy**, 2012, doi:10.1111/j. 1757-1707.2012. 01196.x

GERMER, J.; SAUERBORN, J.; Estimation of the impact of oil palm plantation establishment on greenhouse gas balance. **Environ Dev Sustain** (2008). 10:697–716 DOI 10.1007/s10668-006-9080-1

HARON, K.; BROOKES, P. C.; ZAKAIA, 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 soil organic matter in soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 61, p. 131-139, 1997.

International Panel on Climate Change. In: EGGLESTON, H. S.; BUENDIA, L.; MIWA, K.; NGARA, T.; TANABE, K.; editors. Guidelines for national greenhouse gas inventories: agriculture, forestry and other land use. Hayama: **National Greenhouse Gas Inventories Programme**; 2006.

JARECKI, M. K.; LAL, R. Crop Management for Soil Carbon Sequestration. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v. 22, p. 471-502, 2003.

JOURDAN, C.; REY H. Architecture and development of the oil-palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) root system. **Plant and Soil**, v. 189, p. 33–48, 1997.

KOUTIKA, L.S.; BARTOLI, F.; ANDREUX, F.; CERRI, C.C.; BURTIN, G.; CHONÉ, T.; PHILIPPY, R. Organic matter dynamics and aggregation in soils under rain forest and pasture of increasing age in Eastern Amazon Basin. **Geoderma**, p. 76:87-112, 1997.

MAIA, S. M. F.; OGLE, S. M.; CERRI, C. C. Changes in soil organic carbon storage under different agricultural management systems I the Southwest Amazon Region of Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 106, p. 177–184, 2010.

MARENCO, J. A.; VALVERDE, M. C. Caracterização do clima no século XX e cenário de mudanças de clima para o Brasil no século XXI usando os modelos do IPCC-AR4. **Revista MultiCiência**, v. 8, p. 5-28, 2007.

MORAES, J.F.L.; VOLKOFF, B.; CERRI, C.C.; BERNOUX, M. Soil properties under Amazon forest and changes due to pasture installation in Rondônia, Brazil. **Geoderma**, v. 70, p. 63-81, 1996.

NAHUM, J. S. E MALCHER, A. T. C. « Dinâmicas territoriais do espaço agrário na Amazônia: a dendeicultura na microrregião de Tomé-Açu (PA). », *Confins* [Online], 16 | 2012, posto online em 03 novembro 2012, Consultado: 13 dezembro 2016. URL: - <http://confins.revues.org/7947> ; DOI : 10.4000/confins.7947.

NEILL, C.; MELILLO, J. M.; STEUDLER, P. A.; CERRI, C. C.; MORAES, J. F.; PICCOLO, M. C.; BRITO, M. Soil carbon and nitrogen stocks following forest clearing for pasture in the southwestern Brazilian Amazon. *Ecological Applications*, Temp, v., p. 1216 - 1225, 1997.

NEPSTAD, D.C.; CARVALHO, C.R.; DAVIDSON, E.A.; JIPP, P.H.; LEFEBVRE, P.A.; NEGREIROS, G.H.; SILVA, E.D.; STONE, T.A.; TRUMBORE, S.E.; VIEIRA, S. The role of deep roots in the hydrological and carbon cycles of Amazonian forests and pastures. **Nature**, London, GB, v. 372, p. 666-669, 1994.

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

OGLE, S. M.; BREIDT, F. J.; PAUSTIAN, K. Agricultural management impacts on soil organic carbon storage under moist and dry climatic conditions of temperate and tropical regions. **Biogeochemistry**, v. 72, p. 87-121, 2005.

PAUSTIAN, K.; SIX, J.; ELLIOTT, E.T. & HUNT, H.W. Management options for reducing CO₂ emissions from agricultural soils. **Biogeochemistry**, v. 48, p. 147-163, 2000.

REPÓRTER BRASIL - Organização de Comunicação e Projetos Sociais: Relatório “Expansão do dendê na Amazônia brasileira: elementos para uma análise dos impactos sobre a agricultura familiar no nordeste do Pará”, 2013. Disponível em: <http://reporterbrasil.org.br/> Acesso em: 20 fev. 2015

SANTIAGO, W. R.; VASCONCELOS, S. S.; KATO, O. R.; BISPO, C. J. C.; RANGEL-VASCONCELOS, L. G.; CASTELLANI, D. C. Nitrogênio mineral e microbiano em sistemas agroflorestais com palma de óleo na Amazônia oriental. **Acta Amazônica**, v. 43, p. 395-406, 2013.

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.

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

SILVA, I. R.; MENDONÇA, E. S. Matéria orgânica do solo. In: Novais R. F; Alvarez, V. V. H.; Barros, N. F.; Fontes, R. L. F.; Cantarutti, R. B.; Neves, J. C. L. editores. **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo; 2007. p. 275-374.

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.

TRUMBORE, S. E.; DAVIDSON, E. A.; CAMARGO, P. B. Belowground cycling of carbon in forest and pastures of Eastern Amazonia. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 9, p. 515-528, 1995.

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

YAHYA, Z.; HUSIN, A.; TALIB, J.; OTHMAN, J.; AHMED, OH.; JALLOH, MB. Oil palm (*Elaeis guineensis*) roots response to mechanization in Bernam series soil. **American Journal of Applied Sciences**, v. 7, p. 343-348.

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.

ZINN Y. L.; LAL, R.; RESCK, D. V. S. Changes in soil organic carbon stocks under agriculture in Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 84, p. 28-40, 2005.

ZURAI DAH, Y.; AHMAD, T. M.; MOHD, H. H.; ABD, R. S. Oil palm adaptation to compactated alluvial soil (Typic Endoaquepts) in Malaysia. **Journal of Oil Palm Research**, v. 24, p. 1533-1541, 2012.

ZURAI DAH, Y.; AMINUDDIN, H.; JAMAL, T.; JAMAREI, O.; OSUMANU, H.A.; MOHAMADU, B.J.. Soil compaction and oil palm (*Elaeis guineensis*) yield in a Clay textured soil. **American Journal of Agricultural and Biological Sciences**, v. 5, n. 1, p. 15-19, 2010.

4 ESTOQUE DE CARBONO EM RELAÇÃO AO ESTIPE DA PALMA DE ÓLEO EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS E MONOCULTIVO NA AMAZÔNIA BRASILEIRA

RESUMO

A Palma de óleo é uma oleaginosa utilizada na alimentação, indústria química e na produção de biodiesel. O manejo da cultura nas áreas operacionais acarreta uma heterogeneidade espacial dos estoques de carbono no solo, os resultados das pesquisas ainda são incipientes para a produção de palma de óleo em sistemas agroflorestais orgânicos na região amazônica. O objetivo deste estudo foi determinar a variação dos estoques de carbono a diferentes distâncias horizontais do estipe da palma bem como nas diferentes áreas de manejo operacionais em sistemas agroflorestais em Latossolo Amarelo distrófico da Amazônia Oriental. O estudo foi realizado no Nordeste do Pará, município de Tomé-Açu. Foram coletadas amostras de solos nas distâncias do estipe da palma em 0,6, 1,2, 2 e 4 m e nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-30 cm para análise da concentração de carbono total por combustão a seco e densidade do solo para posterior cálculo dos estoques de carbono em três locais (coroa, carreador, linha do dendê e pilha) nos sistemas agroflorestais, comparados com um sistema de referência representado por um sistema de palma de óleo convencional. Os resultados indicaram maiores estoques de carbono nos sistemas orgânicos à distância de 60 cm em todas as profundidades, diminuindo conforme se distancia do estipe da palmeira. Sendo que o maior estoque por local foi encontrado no lugar denominado Coroa, com as maiores densidades do solo encontradas no sistema convencional no local carreador até a profundidade de 20 cm; os sistemas conservacionistas orgânicos apresentaram os maiores estoques de carbono no solo em relação ao monocultivo no total da profundidade da pesquisa (0 – 30) cm.

Palavras-chave: Latossolo Amarelo, oleaginosa, heterogeneidade espacial, Nordeste do Pará.

ABSTRACT

Oil palm is an important oleaginous used in food, chemical industry and biodiesel production. The management of the crop in the operational areas entails a spatial heterogeneity of the carbon stocks in the soil, the research results are still incipient for the production of oil palm in organic agroforestry systems in the Amazon region. The objective of this study was to determine the variation of the carbon stocks at different horizontal distances of the palm spruce as well as in the different operational management areas in agroforestry systems in Dystrophic Yellow Latosol of Eastern Amazonia. The study was carried out in the Northeast of Pará, municipality of Tomé-Açu. Soil samples were collected at 0.6, 1.2, 2 and 4 m depths at the depths of 0-5, 5-10, 10-20 and 20-30 cm for analysis of the total carbon concentration by dry combustion and soil density for subsequent calculation of carbon stocks at three sites (crown, carrier, palm oil line and pile) in agroforestry systems, compared to a reference system represented by a conventional oil palm system. The results indicated higher carbon stocks in the organic systems at a distance of 60 cm in all the depths, decreasing as it distances from the palm of the palm. As the largest stock per site was found in the place called Crown, with the highest soil densities found in the conventional system in the carrier site to the depth of 20 cm; The organic conservation systems presented the largest stocks of carbon in the soil in relation to the monoculture in the total depth of the survey (0 - 30) cm.

Key words: Yellow Latosol (oxisol), oleaginous, spatial heterogeneity, Northeast of Pará.

4.1 Introdução

A concentração de dióxido de carbono (CO₂), na atmosfera, começou a ser mensurada na era pré-industrial (1880) medindo 280 ppm. Hoje, segundo a Agência Nacional Oceânica Atmosférica – NOAA, a concentração média já atingiu mais de 400 ppm desse gás de efeito estufa (NOAA, 2016). Do ponto de vista ambiental, a velocidade com que vem aumentando essas concentrações tem elevado a temperatura do planeta, o que causa o aquecimento global que pode ser responsável, num futuro próximo, por efeitos devastadores na mudança do clima (elevação do nível do mar e eventos climáticos extremos como secas, tempestades, enchentes, falta de água e alimentos) (HENSON et al., 2010). No contexto atual de mudanças climáticas,

o potencial de mitigação dos sistemas de produção agropecuários conservacionistas deve ser considerado, como exemplo, o solo aliado a sistemas agroflorestais (SAFs) os quais podem atuar como armazenadores (sorvedores) de carbono.

O aumento dos teores de CO₂ e gases de efeito estufa, na atmosfera, causado principalmente pela queima de combustíveis fósseis e mudanças no uso do solo, desperta preocupações na comunidade científica mundial, o que faz governos estimularem a pesquisa para o desenvolvimento de métodos de geração de energia renováveis alternativas a fim de mitigar esses gases. Uma das alternativas apresentadas pela pesquisa (Carvalho et al., 2010) é o estoque de carbono no solo em sistemas agroflorestais, tendo a palma de óleo (*Elaeis guineensis* Jacq.) como cultura principal nesses sistemas de uso do solo.

A palma de óleo, de origem do continente Africano, é, dentre as oleaginosas, a que apresenta a maior capacidade de produção de óleo vegetal por área. Por isso vem sendo indicada como uma das principais culturas mitigadoras para a redução ou substituição dos derivados do petróleo por meio de misturas de biodiesel ao diesel de petróleo. É a cultura que mais produz óleo vegetal no planeta, com uma produção de 65,5 milhões de toneladas de óleo, sendo Indonésia e Malásia responsáveis por mais de 80% da produção mundial, 35 e 21 milhões, respectivamente (USDA, 2016).

No Brasil, a palma de óleo foi introduzida pelos escravos no Estado da Bahia, porém encontrou condições edafoclimáticas favoráveis para seu desenvolvimento na Amazônia Oriental, nordeste do Estado do Pará, responsável por mais de 90% da produção brasileira explorados em 166.000 ha (Repórter Brasil, 2013). Nesse estado, os sistemas comerciais de produção de palma são predominantemente praticados nos moldes convencionais, preconizando-se o monocultivo e o consumo de insumos industrializados, principalmente fertilizantes, o que o torna incompatível com a realidade socioeconômica do produtor rural familiar da região amazônica (SANTIAGO et al., 2013).

Como alternativa para o combate ao monocultivo da palma, em 2007, na cidade de Tomé-Açu (Pará), foi implantado o “Projeto Dendê: Sistemas agroflorestais na Agricultura Familiar” a fim de investigar o impacto de sistemas agroflorestais com palma de óleo utilizando a técnica de manejo de preparo do solo conhecida como trituração da capoeira, que se caracteriza basicamente por corte e trituração da vegetação secundária, com deposição na superfície do solo da vegetação triturada para fins de cobertura morta (KATO et al., 2004) e aporte de carbono ao solo.

A implantação e manejo desses sistemas de produção acarretam transformações na dinâmica do carbono orgânico (C) no solo (FRAZÃO et al., 2012) e, dependendo das

características da área e do sistema de manejo adotado, essas alterações podem representar uma mudança no papel do solo como reservatório de C, alterando as taxas de emissão de dióxido de carbono para a atmosfera (FERNANDES; FERNANDES, 2014), as quais são responsáveis pelo aumento da temperatura na Terra.

Nos cultivos de palma de óleo há uma heterogeneidade na utilização do espaço (LAW et al., 2009; FRAZÃO et al., 2012), o que implica em diferentes tipos de manejo em uma mesma área onde circulam máquinas pelos carregadores, pessoas responsáveis pela colheita, adubação e manutenção do sistema, assim como área específica para a deposição de folhas podadas. Isso faz com que segundo Haron et al. (1998), a cultura da palma de óleo apresente mais alterações no carbono orgânico do solo que a maioria das culturas.

Devido às mudanças no uso do solo pelas práticas de manejo no cultivo de palma de óleo, foram realizados estudos na Malásia por Law et al. (2009) em relação à variação espacial da concentração C orgânico no solo nessas diferentes áreas no interior da cultura com idade de 27 anos, os quais concluíram que o manejo do carbono no solo em local específico pode ser uma estratégia no aumento do sequestro de carbono orgânico do solo nessa cultura. Isso confirma que a estabilidade do C do solo é crítica para as mudanças nos diferentes uso e manejo do mesmo (SIX et al., 2002; LAL, 2004).

De forma geral, há pouco conhecimento sobre o potencial de SAFs com palma de óleo em armazenar carbono no solo. Um estudo prévio de Carvalho et al. (2010) sugere que SAFs com palma de óleo orgânico apresentam boa capacidade de armazenar carbono em relação à floresta secundária e SAFs tradicionais derivados de corte e queima. Neste estudo, reavaliamos os SAFs orgânicos com palma de óleo e os comparamos com o plantio em monocultivo dessa cultura, fazendo uma amostragem mais detalhada do carbono e nitrogênio do solo em função da variação do carbono e nitrogênio em relação ao estipe da palma de óleo.

Nesse contexto, o objetivo deste estudo foi mensurar os teores de carbono e nitrogênio, bem como o estoque de carbono nas diferentes áreas (zonas) de manejo operacionais em monocultivo em relação aos sistemas agroflorestais orgânicos em Latossolo Amarelo distrófico da Amazônia Oriental.

4.2 Material e métodos

4.2.1 Área de estudo

O 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 com altitude média de 45 m (Fig. 1).

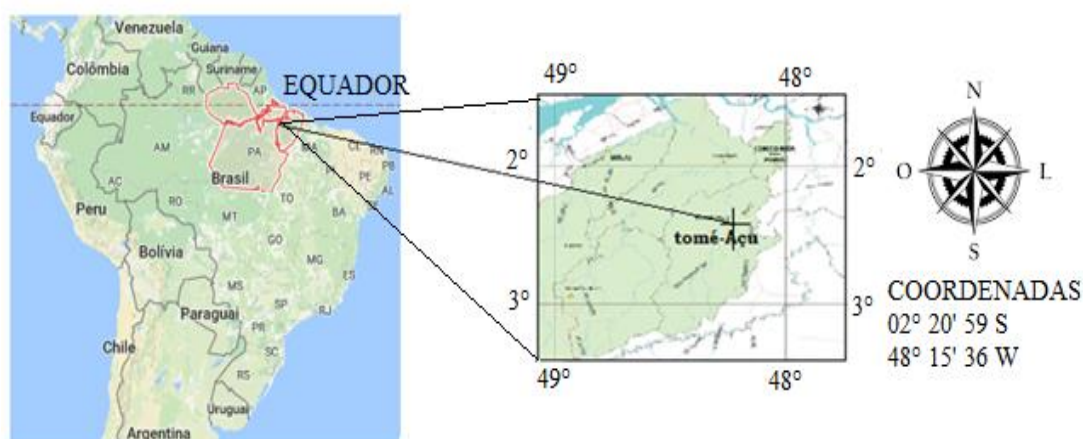


Figura 1. Mapa de localização da área de estudo, município de Tomé-Açu, Estado do Pará, Brasil.

O solo é classificado como Latossolo Amarelo (EMBRAPA, 1999), textura franco-arenosa nos primeiros 20 cm tornando-se franco argilo-arenosa conforme aprofunda-se no perfil (Tabela 1). A caracterização química e granulométrica do solo está apresentada na Tabela 1.

O clima de Tomé-Açu é classificado como tropical quente úmido (Ami segundo a Classificação de Köppen), com uma estação de junho a outubro. A precipitação pluviométrica anual é de 2.463,8 mm, com maior incidência de chuvas de dezembro a maio, correspondendo a 81,2 % do total da precipitação anual. A temperatura média anual é 26,3°C, variando mensalmente entre 21,0°C (agosto) e 33,8°C (outubro) com brilho solar anual de 2.372,3 horas. Estes dados meteorológicos foram coletados na Estação Climatológica da Embrapa Amazônia Oriental localizada em Tomé-Açu, e compreendem valores médios do período de 1985 a 2013 (Figura 2).

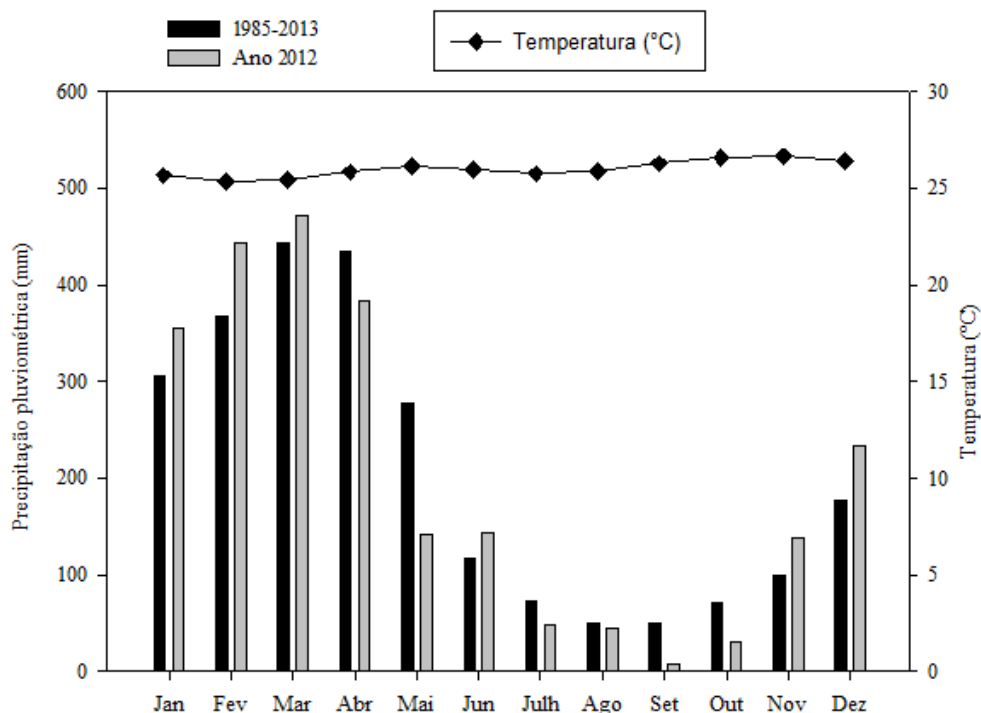


Figura 2. Média da precipitação e temperatura do ar mensal de 1985 a 2013. Precipitação mensal no ano de coleta das amostras (2012), em Tomé-Açu, Pará.

Tabela 1. Caracterização física e química do solo em plantios de palma de óleo em sistemas agroflorestais e monocultivo

Uso do solo	Areia	Silte	Argila	pH	P	K	Na	Ca	Mg	Al	H+Al
	g kg ⁻¹			água	mg dm ⁻³			cmol _c /dm ⁻³			
Prof. 0 - 5 cm											
POSA	693	187	120	5,03	10,7	81,7	8,9	4,37	1,01	0,22	3,86
POSB	724	136	140	5,19	12,25	57,7	6,4	4,96	1,24	0,16	3,54
POMO	625	176	200	4,98	64,85	118,7	15,25	3,92	0,94	0,21	3,80
5 - 10 cm											
POSA	704	97	200	5,24	8,25	64,4	8,25	3,52	0,76	0,16	3,25
POSB	673	127	200	5,25	5,05	41,7	5,1	3,11	0,78	0,19	3,15
POMO	562	219	220	5,02	8,65	93,2	9,9	3,04	0,63	0,26	3,29
10 - 20 cm											
POSA	623	137	240	5,34	5,4	53,7	7,7	2,04	0,56	0,2	2,63
POSB	573	148	280	5,15	3,0	33,25	24,35	1,69	0,51	0,32	2,67
POMO	527	213	260	5,02	4,55	66,05	7,9	2,31	0,5	0,27	2,48
20 - 30 cm											
POSA	535	145	320	5,27	1,5	44,6	6,8	1,08	0,41	0,36	2,72
POSB	518	103	380	4,97	1,75	24,1	4,3	1,19	0,4	0,49	2,64
POMO	452	209	340	5,12	1,95	29,9	5,95	1,7	0,42	0,33	1,97

4.2.2 Descrição do experimento

Foram avaliados três sistemas de produção de palma de óleo jovens (idade entre 5 e 6 anos), sendo dois em sistemas agroflorestais orgânicos e um em monocultivo, assim denominados: (a) palma de óleo em sistema agroflorestal adubadeiras (POSA), (b) palma de óleo em sistema agroflorestal biodiverso (POSB), e (c) (a) palma de óleo em monocultivo (POMO). POSA e POSB diferem em relação à composição de espécies (Tabela 2), apresentando POSA menor número de espécies plantadas; e o segundo maior número. Os sistemas orgânicos com aproximadamente 5 anos de instalação no campo são constituídos por linhas duplas de palma de óleo, espaçadas por faixas de 15,6 m de largura onde são plantadas as outras espécies que o compõem. A palma de óleo, em todos os sistemas, foi plantada em forma de triângulo equilátero com 9 metros de lado, com uma planta de palma de óleo em cada vértice. A densidade de plantio de palma de óleo foi de 99 e 143 plantas ha⁻¹ nos SAFs e no monocultivo, respectivamente.

Tabela 2 Espécies plantadas nas faixas dentro dos sistemas agroflorestais com palma de óleo, POSA e POSB respectivamente com alta e baixa diversidades de espécies no município de Tomé-Açu, Amazônia Oriental, Brasil.

Nome científico	Familia	Método de propagação	Propágulos ha ⁻¹	Espaçamento (m)	Espécie	
					POSA	POSB
<i>Cajanus cajan</i>	Fabaceae	sementes	50 kg	0.25 x 1.50	×	×
<i>Calophyllum brasiliensis</i>	Calophyllaceae	mudas	30	13.0 x 22.5		×
<i>Canavalia ensiformis</i>	Fabaceae	sementes	80 kg	0.30 x 0.30	×	×
<i>Crotalaria juncea</i>	Fabaceae	sementes	5 kg	0.25 x 0.25	×	×
<i>Euterpe oleracea</i>	Arecaceae	mudas	125	6.0 x 6.0		×
<i>Gliricidia sepium</i>	Fabaceae	estacas	280	3.0 x 12.0		×
	Fabaceae		540	2.0 m entre estacas)	×	
<i>Inga edulis</i>	Euphorbiaceae	Mudas e Sementes	515	3.0 x 3.5 x 6.0		×
	Fabaceae		540	3 x 5 x 17.5	×	
<i>Manihot esculenta</i>	Musaceae	maniva	600	1.0 x 1.0 x 3.0		×
<i>Mucuna cinereum</i>	Arecaceae	sementes	20 kg	0.50 x 1.0	×	×
<i>Musa spp.</i>	Fabaceae	Rizomas	595	3.0 x 3.0		×
<i>Oenocarpus bacaba</i>	Bignoniaceae	mudas	85	4.5 x 22.5		×
<i>Sclerolobium paniculatum</i>	Malvaceae	mudas	28	14.0 x 22.5		×
<i>Pueraria phaseoloides</i>	Fabaceae	sementes	5kg	0.25 x 0.25	x	x
<i>Tabebuia spp.</i>	Asteraceae	mudas	28	14.0 x 22.5		×
<i>Theobroma cacao</i>	Arecaceae	mudas	300	3.0 x 3.5		×
<i>Tithonia diversifolia</i>	Arecaceae	Estacas	331	2.0	×	×

Fonte: Carvalho et al., (2014), com modificações. X – Significa presença da espécie.

Tabela 3 – Análise foliar de espécies adubadeiras utilizadas como fonte de nutrientes no cultivo de Palma de óleo (*Elaeis guineensis*) em SAFs, Tomé Açú (PA).

Espécie	Nome Científico	Nutriente (%)					
		Nitrogênio	Fósforo	Potássio	Cálcio	Magnésio	Enxofre
Calopogônio	<i>Calopogonium mucunoides</i>	3,02	0,1	0,97	1,41	0,22	0,2
Crotalaria	<i>Crotalaria spectabilis</i>	3,4	0,28	1,03	1,6	0,29	0,25
Fijão de Porco	<i>Canavalia ensiformis</i>	3,81	0,14	1,36	2,17	0,31	0,23
Feijão Guandu	<i>Cajanus cajan</i>	3,51	0,23	0,71	0,93	0,28	0,19
Gliricidia	<i>Gliricidia sepium</i>	3,28	0,19	1,39	0,69	0,24	0,2
Ingá	<i>Inga edulis</i>	3,29	0,11	0,58	1,89	0,22	0,19
Margaridão	<i>Tithonia diversifolia</i>	3,28	0,2	1,98	2,6	0,65	0,23
Puerária	<i>Pueraria phaseoloides</i>	3,95	0,16	0,87	1,11	0,41	0,23

Análises realizadas no laboratório agrônomo UNITHAL – Campinas – SP.,

¹ Ca, Mg, K, foram determinadas por espectrofotometria de absorção atômica.

² P, S, determinados por colorimetria.

³Nitrogênio: método do ácido salicílico (Kjeldahl).

Fonte: Castellani et al. (2010).

4.2.3 Preparo de área dos sistemas orgânicos (POSA e POSB)

Em setembro de 2007, houve o preparo de área para estabelecimento dos sistemas orgânicos de produção. Quatro hectares de Floresta secundária com aproximadamente 10 anos foram triturados mecanicamente fresador florestal AHWi FM 600 acoplado a um trator de rodas com 170 cv (citar Reichert et al.). O material triturado foi depositado sobre o solo, formando uma cobertura morta (*mulch*).

Em janeiro de 2008, houve correção do solo com aplicação manual sobre a superfície de 1,3 Mg ha⁻¹ de calcário dolomítico. Entre fevereiro e março houve o plantio das mudas de palma de óleo em cova com dimensões de 40 x 40 x 40 cm. Na adubação de cova, foi utilizada uma combinação de fosfato natural (ARAD) 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. Em 2010, 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. Em 2011, foram aplicados por planta 1,5 kg de fosfato natural, 0,5 kg de farinha de osso 4,0 kg de torta de mamona, 0,2 kg de FTE e 50 kg de cachos vazio de óleo de palma. Em 2012, até a coleta das amostras de solo, além das adubações com fitomassa provenientes das podas, foram inseridos 200 kg de cachos vazios de palma de óleo por planta.

Na faixa do SAF, 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 de poda das espécies adubadeiras (*Musa spp*, *Gliricidia sepium*, *Inga edulis*, *Tithonia diversifolia*, *Manihot esculenta*, *Canavalia ensiformis*, *Cajanus cajan* e *Crotalaria 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 dos SAFs.

4.2.4 Preparo de área monocultivo (POMO)

No sistema de produção em monocultivo o preparo de área consistiu de derruba e queima de floresta secundária de aproximadamente 13 anos, formada após repetidos ciclos de queima e pousio. A vegetação foi derrubada com trator de esteira, reunida em leiras e queimada. Em seguida realizou-se gradagem aradora e niveladora.

O plantio das mudas foi realizado no final de 2006 em cova (mesmas dimensões dos sistemas orgânicos) em que foi aplicado 800 g de superfosfato triplo (SFT). Em 2007 foi realizada adubação de cobertura na Coroa da planta no início e no final do período chuvoso, sendo aplicados: 200 g de ureia, 100 g de cloreto de potássio (KCl), 100 g de sulfato de magnésio ($MgSO_4$), 13 g de bórax e 8 g com micronutrientes (Zincop 101). Nos demais anos, até o terceiro ano após o plantio no campo (início da produção) foi realizado adubação parcelada por ano em duas vezes com ureia, superfosfato triplo (SFT), cloreto de potássio (KCL), sulfato de magnésio ($MgSO_4$), Borax e Zincop (101) de acordo com a Tabela 3. Atualmente a adubação é mecanizada, 3 a 4 vezes ao ano, na Coroa da palma (raio de 2,4 metros) sendo utilizado 1 kg da formulação 12-2-20 de NPK.

Tabela 4. Programa de adubação do plantio de palma de óleo em monocultivo

Adubo	Quantidade de adubo Ano (g planta ⁻¹)		
	1°	2°	3°
Ureia	200 + 200	300 + 300	500 + 500
SFT	500 + 500	600 + 600	750 + 750
KCL	200 + 200	300 + 300	400 + 400
MgSO ₄	100 + 100	100 + 100	200 + 200
Borax	30 + 30	30 + 30	30 + 30
Zincop (101)	15 +15	30 + 30	50 + 50

Do 4° ano em diante, 1 kg da formulação 12-2-20 (NPK). Sinal de + significa quantidade parcelada de duas vezes.

O manejo do sistema convencional consiste no coroamento das plantas, com utilização de capina química (glifosato), 3 vezes ao ano, roçagem das entrelinhas, poda manual de limpeza até o terceiro ano e colheita e coleta dos cachos. Sendo que a colheita é manual com sacho e a coleta dos cachos com utilização de trator através do carreador. Segundo o produtor rural a produção anual de cachos era de 10 Mg ha⁻¹. O material vegetal resultante das podas de limpeza e a folha após a coleta dos cachos foram colocados ao lado da linha de plantio, formando uma pilha de restos culturais que entram em decomposição.

4.2.5 Coleta de amostras de solo

A coleta de amostras deformadas de solo foi realizada em agosto de 2012 utilizando trado tipo sonda. Em cada sistema de produção, estabeleceram-se, ao acaso, 5 parcelas de 10 x 10 m, (100 m²), constituindo-se cada parcela por uma planta de palma de óleo. Para determinar a variabilidade do teor do carbono no solo em relação ao estipe da palma de óleo, foram coletadas amostras a partir de quatro distâncias (0,6; 1,2; 2,0 e 4 m) em três direções diferentes: na linha da palma, em direção ao empilhamento do material podado (Pilha) e na direção do carreador (Fig. 3). As amostras foram coletadas nas profundidades 0-5, 5-10, 10-20, e 20-30 cm (Fig. 4).

As amostras de solo foram conduzidas ao Laboratório de Análise de Sistemas Sustentáveis (LASS) 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).

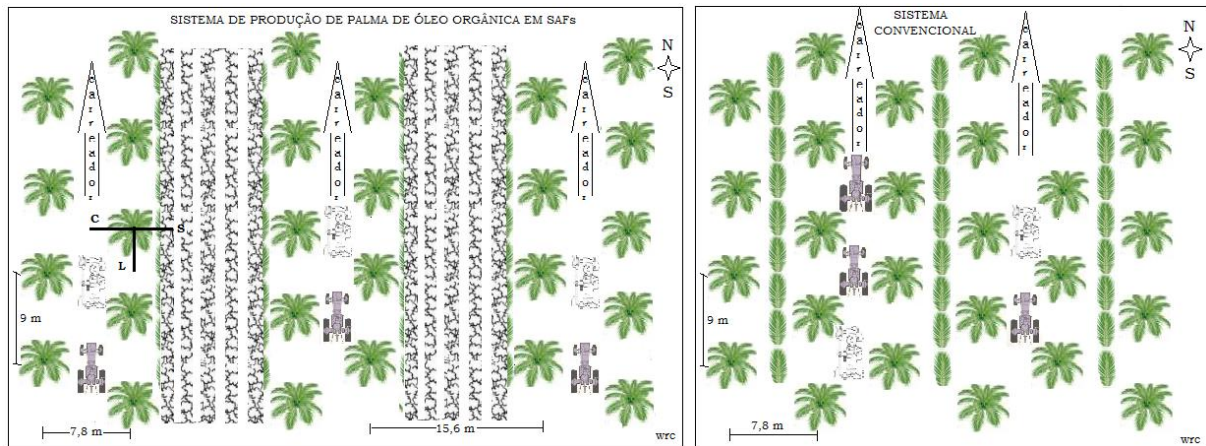


Figura 3. Sistemas de produção de palma de óleo orgânica em sistemas agroflorestais (POSA e POSB) e sistema de palma de óleo em monocultivo (POMO), direção da coleta de amostras: C – carreador, L – linha da palma, S – linha do SAFs ou pilha de material podado.

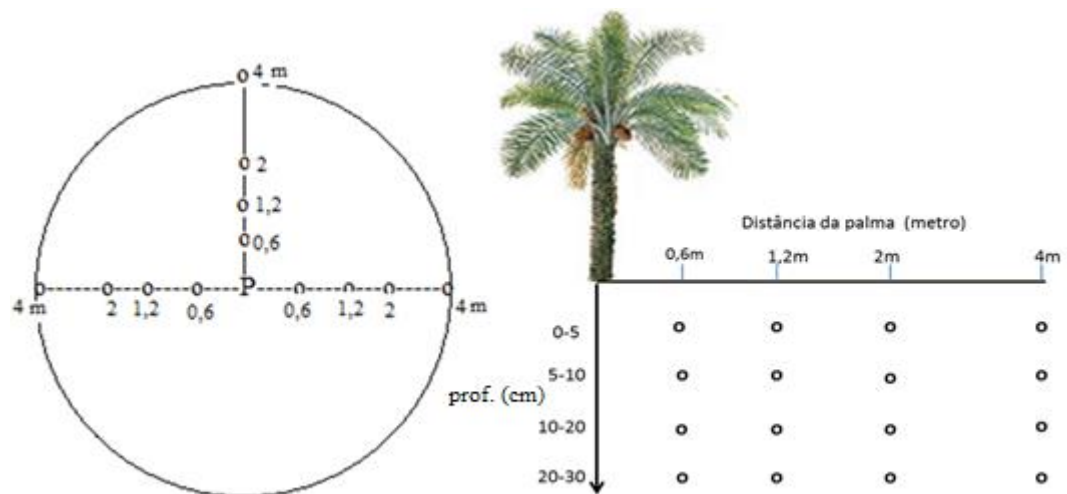


Figura 4. Local da coleta de amostras de solo nas distâncias em relação ao estipe da palma (metros) com respectivas profundidades (cm).

4.2.6 Teor de carbono e densidade

Para determinação do teor 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 do teor de C por combustão via seca, em analisador elementar da marca LECO, modelo CNS 2000 (forno a 1350°C).

Amostras indeformadas para determinação da densidade do solo foram coletadas com trado extrator e anéis de aço (Kopeck) de bordas cortantes com volume interno conhecido. Nas áreas de manejo (coroa, carreador, linha da palma e Faixa do SAFs) de cada parcela foi escavada uma trincheira medindo 70 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 e 20-30 cm de três faces internas da trincheira (Figura 4). A densidade do solo foi determinada pelo método do anel volumétrico (EMBRAPA, 1997), em que amostras indeformadas foram secas em estufa a 105°C até atingir peso constante.

4.2.7 Estoque de C no solo

O estoque de carbono total do solo, em cada camada, foi calculado segundo Veldkamp (1994), em que: $EstC = (Ct \times Ds \times e) / 10$, onde: EstC= estoque de carbono total em determinada profundidade ($Mg \text{ ha}^{-1}$); Ct = teor de carbono total ($g \text{ kg}^{-1}$); Ds = densidade do solo ($g \text{ cm}^{-3}$); e = espessura da camada (cm).

4.2.8

Análise estatística

Foi utilizado delineamento inteiramente ao acaso com cinco repetições (ou pseudo repetições) em cada sistema de uso, com o pressuposto de que os sistemas de produção estavam localizados na mesma área e com as mesmas condições edáficas, climáticas e topográficas. O efeito de sistemas de cultivo de palma de óleo, zonas de manejo e distância ao estipe da palma sobre o teor de C e N no solo foi avaliado com ANOVA com 3 fatores. Ambas análises foram realizadas 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 Tukey a 5 % de probabilidade para a comparação de médias múltiplas.

4.3 Resultados

A interação entre os fatores sistema de uso do solo e áreas de manejo e distância ao estipe não foi significativo para teor de carbono e nitrogênio, passando-se a estudar o efeito isolado de cada fator. Na distância de 0,6 metros para os teores de C (Figura 5A) os sistemas orgânicos foram significativamente maiores ($P = 0,001$), após testes de média, apresentaram

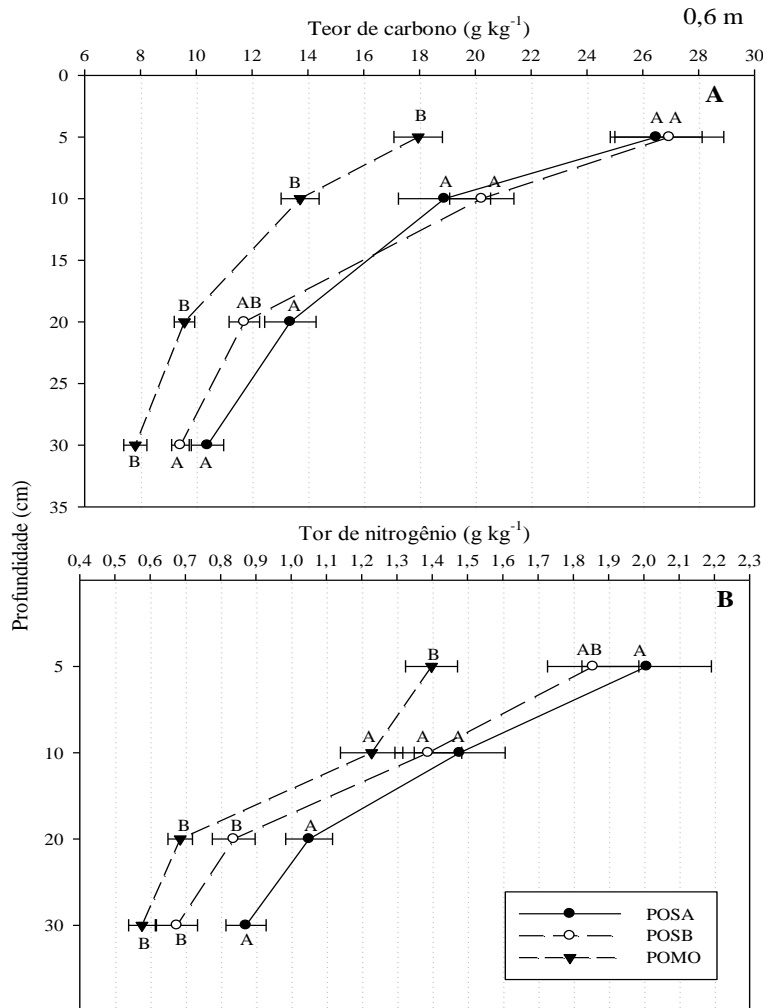


Figura 5. Teor de carbono (A) e nitrogênio (B) na distância de 0,6 metros do estipe da palma nos diferentes sistemas de uso: palma de óleo em SAFs adubadeiras (POSA), palma de óleo em SAFs biodiversos (POSB) e palma de óleo em monocultivo (POMO). Letras diferentes nas barras de erro significam diferenças significativas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

as maiores médias até a profundidade de 10 cm, e POSA significativamente em relação a POMO até 20 cm de profundidade. Para os teores de N, apenas na camada de 10 – 20 cm não

houve diferenças significativas, com POSA mostrando superioridade nas demais profundidades.

Na distância de 1,2 m do estipe da palma (Figura 6), os sistemas orgânicos (POSB e POSA) apresentaram diferenças significativas ($P = 0,001$ e $P = > 0,001$) nas duas primeiras.

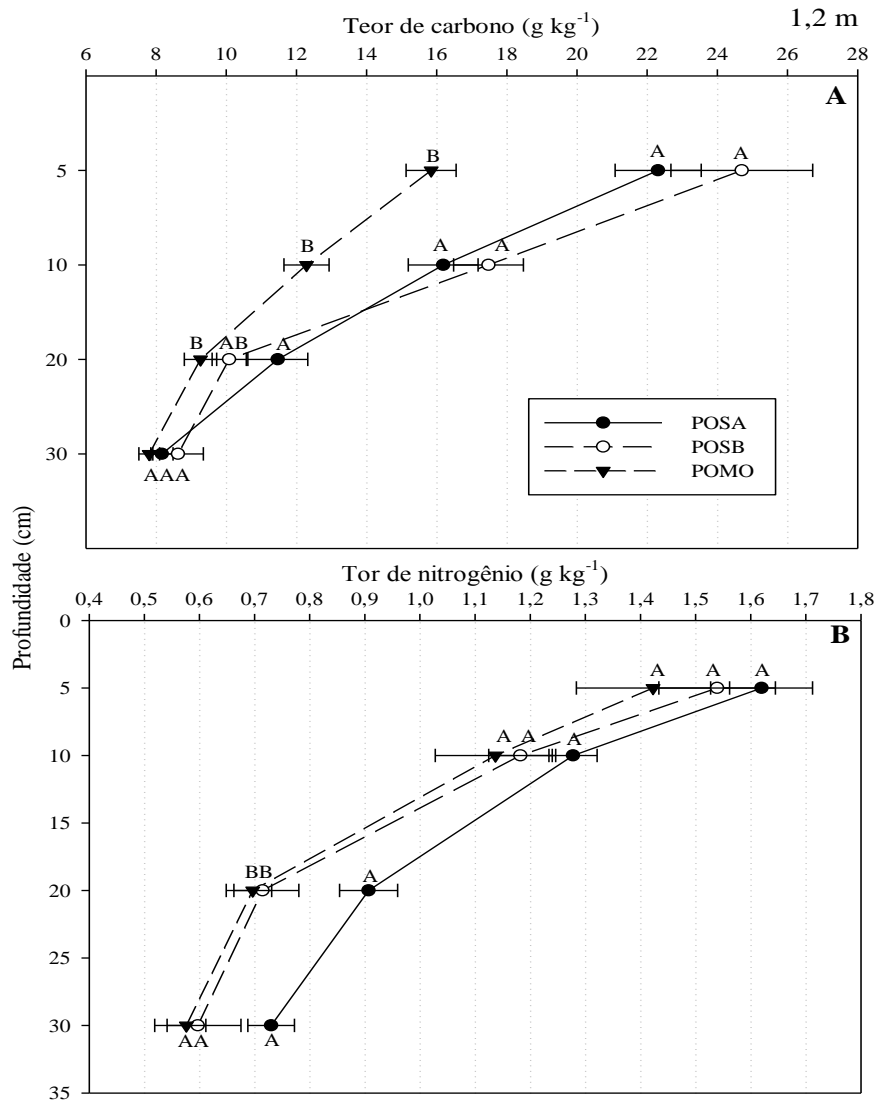


Figura 6. Teor de carbono (A) e nitrogênio (B) na distância de 1,2 metros do estipe da palma nos diferentes sistemas de uso: palma de óleo em SAFs adubadeiras (POSA), palma de óleo em SAFs biodiversos (POSB) e palma de óleo em monocultivo (POMO). Letras diferentes em cima das barras de erro significam diferenças significativas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade profundidades. Na profundidade de 10 – 20 cm, apenas POSB foi maior que POMO. Já para os teores de N (Figura 6B) houve diferenças significativas ($P = 0,001$) apenas na profundidade de 10 – 20 cm, com o sistema de uso POSA apresentando as maiores médias em relação aos demais.

Para a distância de 2 m (Figura 7), os teores de carbono tiveram diferenças significativas nas três primeiras profundidades ($P = < 0,001$), após testes de médias múltiplas,

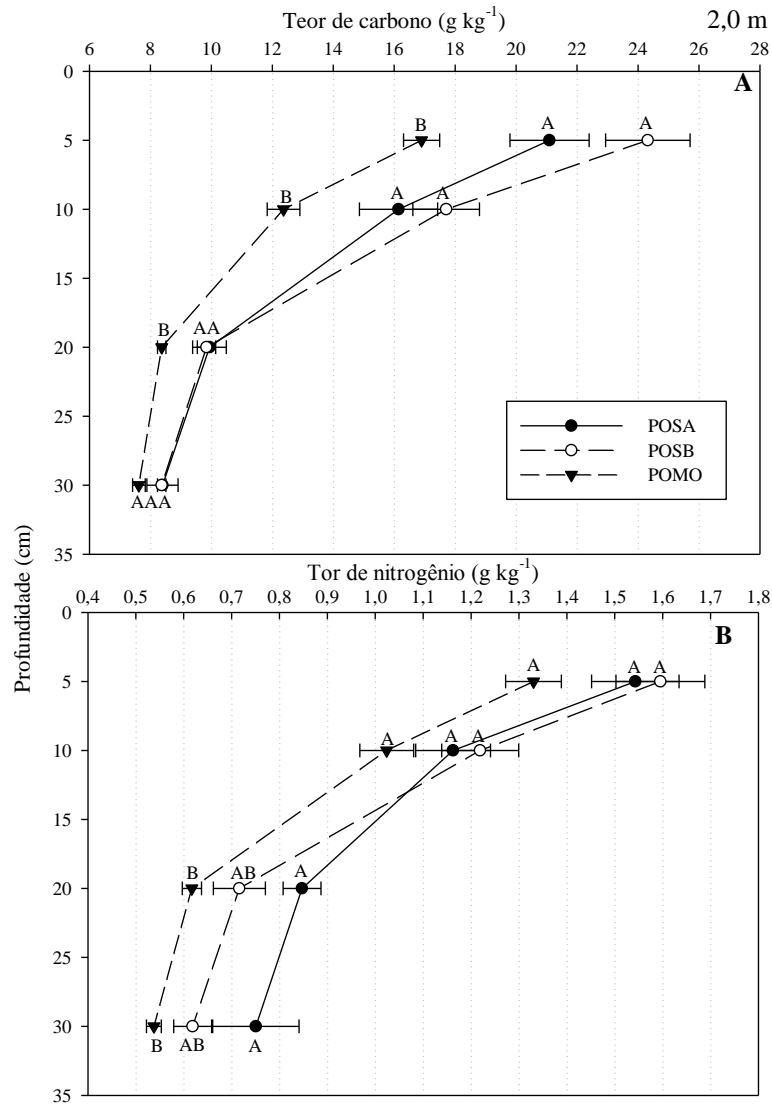


Figura 7. Teor de carbono (A) e nitrogênio (B) na distância de 2 metros do estipe da palma nos diferentes sistemas de uso: palma de óleo em SAFs adubadeiras (POSA), palma de óleo em SAFs biodiversos (POSB) e palma de óleo em monocultivo (POMO). Letras diferentes em cima das barras de erro significam diferenças significativas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

POSB e POSA foram superiores a POMO. Para os teores de N, nessa distância, houve resultados significativos ($P = 0,032$) nas maiores profundidades (10 – 20 e 20 -30 cm), com POSA apresentando as maiores médias

Na distância de 4,5 cm (Figura 8A), para os teores de C, somente na maior profundidade foi significativo ($P = 0,039$), após teste de médias, comprovou-se que POSA

apresentou os maiores teores. Para o N (Figura 8B), POSA foi maior significativamente na profundidade de 10 – 20 cm.

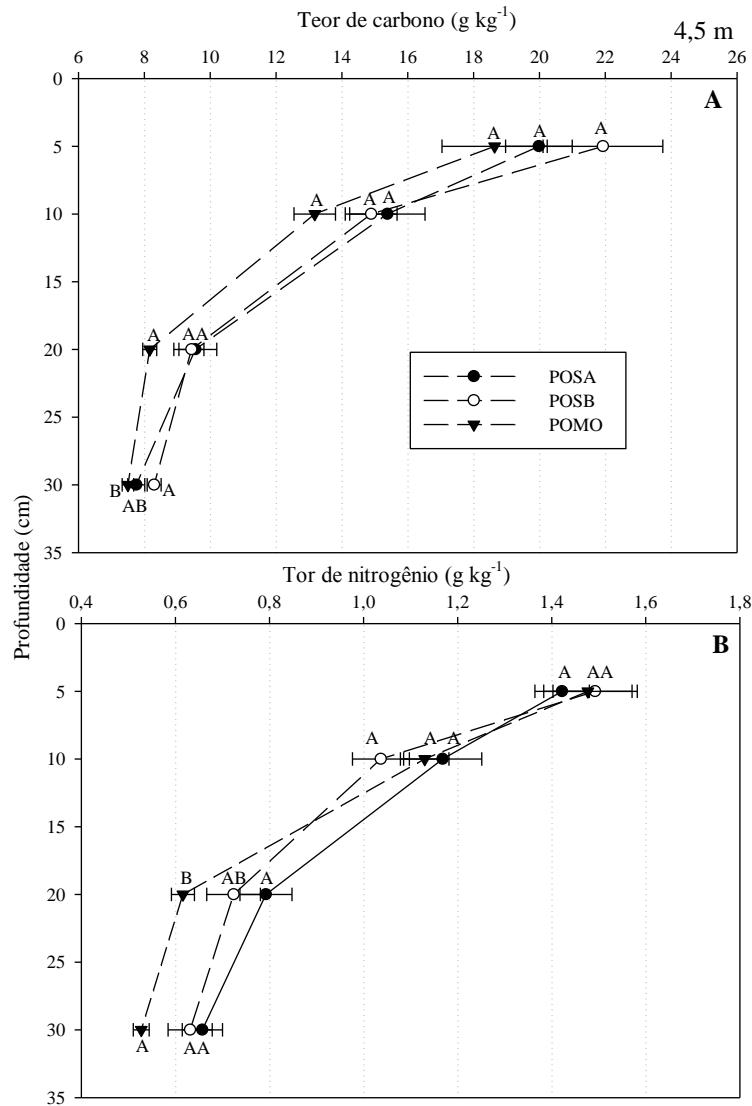


Figura 8. Teor de carbono (A) e nitrogênio (B) na distância de 4,5 metros do estipe da palma nos diferentes sistemas de uso: palma de óleo em SAFs adubadeiras (POSA), palma de óleo em SAFs biodiversos (POSB) e palma de óleo em monocultivo (POMO). Letras diferentes em cima das barras de erro significam diferenças significativas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

4.3.1 Teores de carbono e nitrogênio por profundidade em relação à distância ao estipe.

Os maiores teores de C foram encontrados nas profundidades de 0 – 5 e 5 - 10 cm com diferenças significativas entre as distâncias 0,6 e 4,0 m nas duas profundidades (Figura 9).

Para as profundidades de 10 – 20 e 20 – 30 cm, houve diferença significativas entre as distâncias 0,6 e as demais distâncias. Para os teores de N (Figura 9B) foram encontrados na camada de 0 – 5 cm, após testes de médias observou-se diferenças uniformes nas profundidades: 0 -5, 5 – 10 e 10 – 20 cm, com os teores de 0,6 maiores que 2 e 4 m.

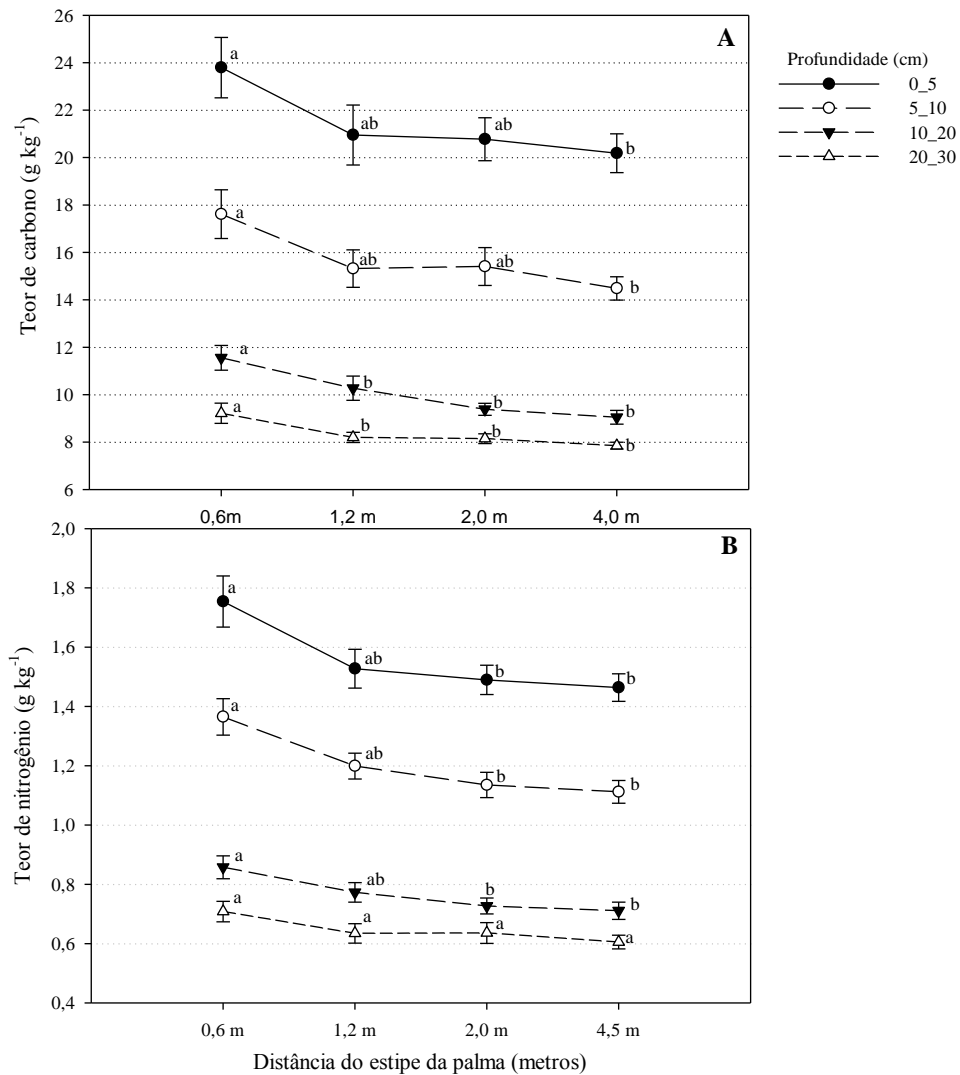


Figura 9. Teores de carbono e nitrogênio por profundidade em relação à distância do estipe da palma.

4.3.2 Estoques de C nos locais de coleta e total dos sistemas de uso do solo

Nos estoques de carbono, por local (Tabela 3), houve análise de variância significativa ($P = 0,019$) nas maiores profundidades, a partir de 10 cm, com o local Coroa da palma, em 10

– 20 cm, apresentando média significativa ($P = 0,001$) em relação ao carreador e de 20 – 30 cm, médias significativas ($P = 0,006$) em relação à Pilha e Carreador. Nos estoques, em toda a profundidade (Figura 10B) no Local, análise de variância foi significativa, após testes múltiplos de médias, o local Coroa apresentou o maior estoque em relação ao Carreador.

Nos estoques de carbono, nos sistemas de uso do solo (Tabela 3), na profundidade de 0 – 5 cm, houve significância ($P = 0,019$). Após testes múltiplos de média, observou-se que POSA e POSB foram superiores com maiores médias, para as maiores profundidades (10 – 20 e 20 – 30 cm) POSA foi significativamente ($P = 0,001$, nas duas profundidades) maior que POMO. Nos estoques de carbono, em toda a profundidade do solo (Figura 10A), a análise de variância foi significativa ($P = 0,001$), após testes de média, POSA e POSB apresentaram as maiores médias em relação a POMO.

Tabela 5. Estoque de carbono nos sistemas de uso do solo: palma de óleo em SAFs adubadeiras (POSA), palma de óleo em SAFs biodiversos (POSB), palma de óleo em monocultivo (POMO) e local da coleta.

Números após sinal \pm significam erro padrão da média. Letras diferentes nas colunas significam diferenças

Uso do solo	Estoque de carbono (kg m^{-2})							
	Profundidade (cm)							
	0 - 5		5 - 10		10 - 20		20 - 30	
POSA	1,1 \pm 0,10	a	1,2 \pm 0,12	a	1,7 \pm 0,26	a	1,2 \pm 0,12	a
POSB	1,4 \pm 0,27	a	1,2 \pm 0,12	a	1,5 \pm 0,11	ab	1,3 \pm 0,13	ab
POMO	1,0 \pm 0,10	b	0,9 \pm 0,09	a	1,2 \pm 0,01	b	1,0 \pm 0,10	b
Local da coleta								
Coroa	1,4 \pm 0,06	a	1,1 \pm 0,06	a	1,7 \pm 0,08	a	1,4 \pm 0,14	a
Pilha	1,2 \pm 0,10	a	1,1 \pm 0,09	a	1,4 \pm 0,10	ab	1,2 \pm 0,12	b
Carreador	1,3 \pm 0,07	a	1,0 \pm 0,05	a	1,3 \pm 0,04	b	1,1 \pm 0,11	b

significativas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

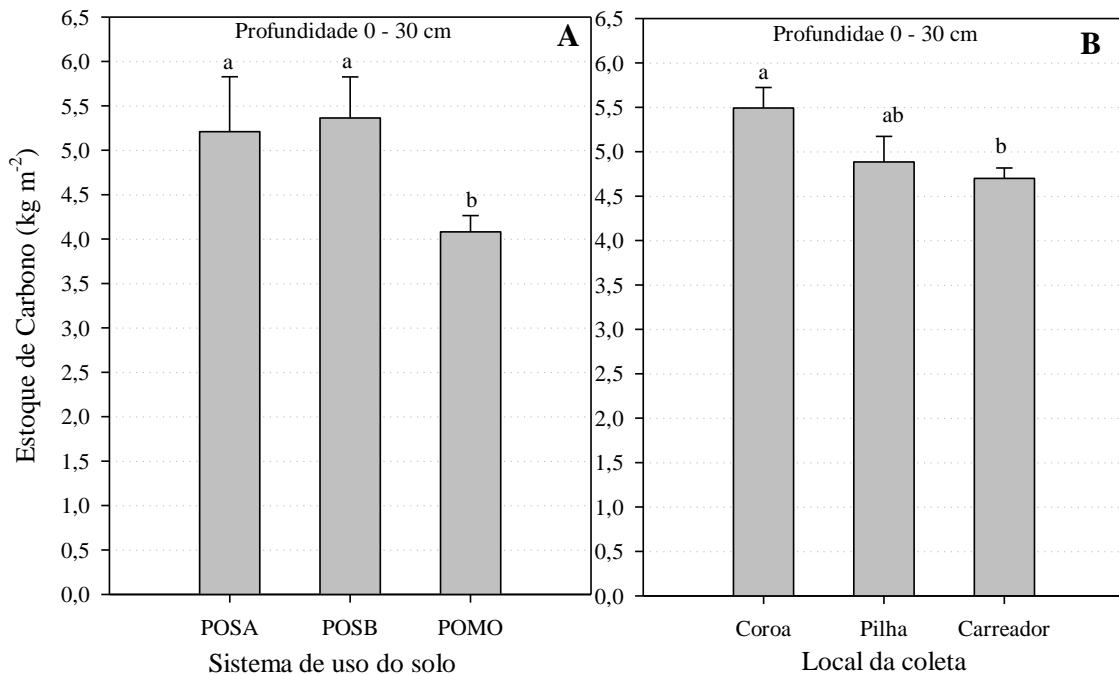


Figura 10. Estoques de carbono nos sistemas de uso do solo (A): palma de óleo em SAFs adubadeiras (POSA), palma de óleo em SAFs biodiversos (POSB), palma de óleo em monocultivo (POMO) e no local da coleta (B). Letras diferentes em cima das barras de erro significam diferenças significativas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

4.4 Discussão

Em geral, os valores dos teores de carbono total foram consistentes com valores obtidos em outros estudos realizados na Amazônia Oriental (DESJARDINS et al. 2004; SILVA et al. 2006; LOPES et al. 2011; SANTIAGO et al. 2013). Os sistemas orgânicos apresentaram os maiores teores de carbono e nitrogênio devido ao manejo do solo dado a esses sistemas, o aporte de material vegetal na trituração da capoeira, no preparo de área, está contribuindo para a elevação desses teores em relação POMO; por outro lado esses sistemas orgânicos, além das podas das espécies adubadeiras, que são depositados nas entre linhas dos sistemas há entrada nos sistemas das adubações orgânicas (cachos vazios de palma de óleo e compostos orgânicos provenientes da indústria de polpa de frutas).

Os resultados demonstram a capacidade dos sistemas orgânicos em apresentar maiores teores de C e N pela adição do material vegetal. Sendo a trituração da capoeira com

princípios e semelhanças ao plantio direto, Lovato et al. (2004), estudando esses sistemas, também, observaram que o aumento nos teores de C, é muito dependente da quantidade de C adicionada pelos sistemas de culturas. O aumento do teor de carbono no solo produz uma série de vantagens como aumento da produtividade pela maior fertilização, retenção da água e nutrientes, diminui o escoamento superficial de sedimentos e poluentes e principalmente o aumento da biodiversidade do solo (LAL, 2004; FRAZÃO et al., 2012).

Os teores de C são maiores nos sistemas orgânicos nas distâncias 0,6 até 2 m, pela grande influência da adubação na época com 100 kg de cachos vazios provenientes da indústria de processamento de palma de óleo, enquanto que no sistema em monocultivo é feita a capina química com herbicida glifosato. Frazão et al. (2012), estudando concentrações de carbono em relação ao estipe da palma, observou que as concentrações de C foram 22-38% maior na área mais próximo da base de óleo de palma (0,6 m) do que a média em toda a entrelinha (0-4,5 m da árvore), indicando que o incremento na matéria orgânica (MO) do solo deve ter sido em grande parte derivado da raiz. O sistema radicular da palma de óleo é do tipo fasciculado que tem, como principal característica, as raízes dispostas em todas as direções no solo, de modo mais superficial. Tal sistema, é formado, a partir do bulbo radicular, localizado na base do estipe (CONCEIÇÃO; MÜLLER, 2000). Para a cultura da palma de óleo que possui sistema radicular fasciculada importante fonte de carbono na superfície do solo (JOURDAN; REY, 1997), contribui para maior teor de carbono e nitrogênio nestes sistemas.

Para os teores de N, observa-se que, nos sistemas orgânicos, há uma predisposição desse elemento nas camadas mais profundas, principalmente na camada de 10 – 20 cm nas distâncias intermediárias (1,2 e 2 m), com exceção na distância de 0,6 m que foi diferente significativamente. Os maiores teores foram apresentados pelos sistemas orgânicos, principalmente POSA. Provavelmente este N está percolando no solo nessa distância pelo acúmulo de adubação orgânica na coroa da palma de óleo. Santiago et al. (2013), em estudo no mesmo experimento, observou a migração do nitrogênio para maiores profundidades.

Por outro lado, o sistema POSA apresenta maiores teores em profundidade, por este sistema ser consorciado apenas com espécies adubadeiras, principalmente a leguminosa gliricídia (*gliricidia sepium*) de porte arbustivo com um sistema de raízes que se aprofundam no solo e planta de cobertura puerária (*Pueraria phaseoloides*), com sistema radicular bastante agressivo, ficavam próximas das plantas de palma quando jovens, ambas possuem uma intensa capacidade de produção de biomassa vegetal no que se refere ao nitrogênio. As leguminosas associadas ao rizóbio e fungos micorrízicos arbusculares têm sido utilizadas em

programas de recuperação de áreas degradadas, em sistemas agroflorestais e agropastoris (FRANCO; BALIERO, 1999).

Castellani et al. (2010) em estudo das espécies adubadeiras no mesmo experimento observou que a espécie com maior teor de N foram a *Pueraria phaseoloides* com 3,95 % de N, seguido de *Canavalia ensiformis* com 3,81 % (Tabela 3). Estimativas de quantidade fixadas e transferidas de N mostram que a puerária é capaz de fixar até 117 kg/ha/ano (CALEGARI, 1995; GONÇALVES; COSTA, 1995).

O uso de plantas de cobertura de solo é uma prática conservacionista que pode prover melhorias na qualidade física dos solos, por meio de seu potencial efeito sobre a densidade volumétrica, porosidade, condutividade hidráulica, agregação etc., sendo que essas exercem influência direta sobre a estrutura desses sistemas de uso do solo (ARGENTON et al., 2005).

Em plantio de palma de óleo jovem, Albertazzi et al. (2009), na Costa Rica, estudando desenvolvimento de raízes, observou que a maior parte das raízes finas menos de 2mm encontra-se nos primeiros 20 cm do perfil do solo, enquanto que todo o sistema de raízes grosso e fino se encontra entre 20 e 40 cm. O tipo de manejo adotado pode modificar os estoques de carbono abaixo do solo. Já que as raízes finas, aquelas com diâmetro menores ou igual a 2 mm, são estruturas das plantas que também contribuem para o aporte de carbono no solo (BLOCK et al., 2006).

De maneira geral, quando trabalhamos com todas as distâncias de todos os sistemas de uso, observamos que, conforme vai se distanciando do estipe da palma, os teores de carbono e nitrogênio vão diminuindo; esse padrão é observado em todas as profundidades. Provavelmente isto ocorre pelo grande emaranhado de raízes e seus exudados, próximo ao estipe da palma, associado à descida de água e detritos, provenientes de plantas epífitas (*Pleopeltis pleopeltifolia*), inflorescências masculinas, restos de pecíolos, insetos em geral, que entram em decomposição, fixados ao estipe e percolam em direção a base (coroa) da palma do solo. Frazão et al. (2012), estudando variabilidade do teor de carbono no solo com cultivo de palma de óleo, na Amazônia oriental, observou os mesmos resultados, corroborando com esse experimento.

Os estoques de carbono por local ou área de manejo mostraram diferenças a partir de 10 cm de profundidade no local Coroa, apresentando os maiores estoques em relação ao Carreador, esse mesmo resultado observa-se em toda a profundidade (0 – 30 cm). POSB e POSA apresentaram os maiores estoques. POSB, por possuir maior diversidade de planta, e, conseqüentemente, maior deposição de material vegetal na superfície, proporciona um maior aporte de carbono ao solo, o que culmina em maior estoque.

Por outro lado, no sistema de uso POSA, a entrada de maior luminosidade leva as plantas da superfície do solo a uma maior produtividade primária líquida através de uma maior taxa fotossintética principalmente pelo desenvolvimento de gramíneas, por serem plantas C4, há uma maior produção de massa vegetal em relação às plantas de sombra C3. Dessa maneira, há uma grande produção de raízes na camada superficial, o que melhora as condições do solo e proporciona um maior aporte de carbono.

Esse resultado ratifica os estudos dos teores de carbono mais próximo ao estipe da base da palma, como mencionado em estudos por Lal, (2004) e Frazão et al. (2012) Carvalho et al., (2014).

Os estoques de carbono nos sistemas orgânicos e monocultivo na profundidade de 0 – 30 cm ficaram acima dos estoques quantificados pelo IPCC para o Brasil (IPCC, 1997). Como esperado, os estoques de carbono nos sistemas de uso do solo em toda a profundidade foram maiores para os sistemas orgânicos em relação à palma de óleo em monocultivo.

Bernoux et al. (2002), estudando os estoques de carbono para as diferentes classes de solo do Brasil na profundidade de 0 – 30 cm, estimou para os Latossolos estoques de 4,18 kg m⁻² com desvio padrão de 1,59 o que ratifica que o manejo de solo utilizado nos sistemas orgânicos, provenientes da trituração da capoeira e adubações orgânicas foram sensíveis a resposta aos maiores estoques de carbono no solo nesses sistemas.

4.4 Conclusão

Os sistemas orgânicos apresentaram os maiores teores de carbono e nitrogênio devido ao manejo do solo dado a esses sistemas. Conforme se distância do estipe da palma diminui os teores de carbono e nitrogênio. A área de manejo, local coroa da palma, apresenta maiores estoques de Carbono na cultura da palma. Sistemas conservacionista com palma de óleo em sistemas agroflorestais orgânicos apresentam maiores estoques de carbono.

Considerações Finais

Diante do cenário de expansão do cultivo da palma de óleo na Amazônia Oriental, há necessidade de alternativas para produção da palma óleo em monocultivo, sendo os sistemas agroflorestais orgânicos apontados como possíveis soluções sustentáveis para amenizar os problemas econômicos e ambientais. Essa assertiva se configura a partir dos resultados obtidos neste estudo, uma vez que é comprovado que os sistemas agroflorestais podem amenizar o desmatamento, aumentar os estoques de carbono no solo e na biomassa das culturas, manter a qualidade da água, diminuir a degradação do solo, aumentar a biodiversidade dos sistemas produtivos e, principalmente, aumentar a fertilidade dos solos.

Neste estudo, analisou-se os SAFs orgânicos em comparação aos SAFs tradicionais da região de Tomé-Açu, comparamos SAF orgânico com palma de óleo em monocultivo e analisamos a tendência de variabilidade espacial dos teores de carbono e nitrogênio e consequente estoques de carbono.

Quando comparamos os SAFs, percebemos que o histórico do manejo do solo nesses sistemas de uso prediz quanto ao estoque de carbono e nitrogênio no solo. Neste caso particular, foi trabalhado com um SAF tradicional, no qual a maior parte das culturas era o cacau, esse além de apresentar uma serapilheira bem densa, apontou também as menores densidades do solo nas primeiras camadas.

Todavia, apresentava os menores estoques de carbono e nitrogênio, o que comprovava que algo contra os resultados empíricos de sistemas conservacionistas sustentáveis. Por exemplo, menor densidade causa maior porosidade e, em consequência, uma tendência a maiores teores de carbono. Por outro lado, uma densa serapilheira com uma camada elevada de folhas, esperava-se, devido ao aporte de material vegetal, maior teor de matéria orgânica e consequente maior estoque de carbono, mas isso não foi o que a pesquisa constatou. Por isso, estudos mais aprofundados nesses sistemas tradicionais devem ser intensificados.

No segundo trabalho, ao comparar SAF orgânico com o monocultivo de palma, verificou-se respostas positivas do SAF, que recebeu as espécies adubadeiras as quais fixaram o nitrogênio da atmosfera ao solo, bem como o aporte de vegetais ao solo de suas partes de tecido vegetal provenientes das podas, de modo que promoveu maior estoque de carbono em relação ao sistema de palma de óleo em monocultivo. Por outro lado, esses sistemas de uso em monocultivo mostraram uma tendência à superioridade em relação à Floresta e à Pastagem, entretanto não os podemos desqualificar como sistemas que degradam o solo.

No último trabalho, foi construído um mosaico de pontos de coleta das amostras em relação ao estipe da palma. Então, verificou-se a grande heterogeneidade dos teores e estoques de carbono em relação ao estipe da palma. Outros pesquisadores já haviam mencionado esses resultados na Amazônia, o que veio a corroborar com os resultados dessa pesquisa a qual ratifica que, conforme há distanciamento do estipe da palma, os teores e estoques de carbono diminuem. Quando passamos a trabalhar com as áreas de manejos ou locais, verificamos que o local Coroa da palma apresenta os maiores estoques de carbono em relação à área que recebe a maior pressão dos tratamentos culturais, o Carreador, que indicou maior densidade do solo.

Portanto, podemos afirmar que SAF orgânico dá respostas positivas no armazenamento de carbono no solo, pois, quando bem manejados, podem servir como drenos de carbono ao solo, assim como fixação do carbono na biomassa da palma e das outras espécies, de modo a mitigar as mudanças climáticas.

Agradecimentos

Ao “Projeto dendê: sistemas agroflorestais na agricultura familiar”, executado pela Empresa Natura Inovação e Tecnologia de Produtos Ltda, Cooperativa Mista de Tomé-Açu – CAMTA e Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa. Financiado por Financiadora de Estudos e Projetos – FINEP, Natura Inovação e Tecnologia de Produtos, Embrapa e Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia dos Serviços Ambientais da Amazônia, à equipe do Laboratório de Análise de Sistemas Sustentáveis da Embrapa Amazônia Oriental.

Referências

- ALBERTAZZI, H.; CHINCHILLA, C.; RAMIREZ, C. Características del suelo y desarrollo radical en palma aceitera joven (*Elaeis guineensis* Jacq.) en sitios afectados por pudriciones del cogollo. Costa Rica: ASD Oil Palm Papers, v.33, p.1-32. 2009
- ARGENTON, J.; ALBUQUERQUE, J.A.; BAYER, C.; WILDNER, L.P. Comportamento de atributos relacionados com a forma da estrutura de Latossolo Vermelho sob sistemas de preparo e plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v.29, p.425-435, 2005.
- BERNOUX, M.; CARVALHO, M.C.S.; VOLKOFF, B.; CERRI, C.C. Brazil's soil carbon stocks. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.66, p.888-896, 2002.
- BLOCK, R. M. A.; VAN REES, K. C. J.; KNIGHT, J. D. A review of fine root dynamics in *Populus* plantations. **Agroforestry Systems**, v. 67, p. 73- 84, 2006.
- CALEGARI, A. **Leguminosas para adubação verde de verão no Paraná**. Londrina: APAR, 1995. 118p. ii. (IAPAR. Circular, 80).
- CARVALHO, W. R. DE; VASCONCELOS, S. S. KATO, O. R.; CAPELA, C. J. B.; CASTELLANI, D. C. Short-term changes in the soil carbon stocks of young oil palm-based agroforestry systems in the eastern Amazon. **Agroforestry Systems**, v. 88, p. 357–368, 2014.
- CASTELLANI, D. C.; SILVA, A. C.; CAPELA, C.; LIMA, W. A. A.; TEIXEIRA, P. C.; KATO, O.; VASCONCELOS S.; SUGAYA, C.; SUZUKI, E.; TAKAMATSU, J. **Espécies adubadeiras como fonte de nutrientes para o cultivo de dendê (*elaeis guineensis*) em sistemas agroflorestais, tomé-açu (pa)**. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/48504/1/BIII-288.pdf>, Acesso em: 14 jan. 2017.
- CONCEIÇÃO, E.O.; MULLER, A.A. Botânica e morfologia do dendezeiro. In: VIEGAS, I. de J.M.; MULLER, A.A. (Ed.). **A cultura do dendezeiro na Amazônia brasileira**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental; Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2000. p.31-44.
- DESJARDINS, T.; BARROS, E.; SARRAZIN, M.; GIRARDIN, C.; MARIOTTI, A. Effects of forest conversion to pasture on soil carbon content and dynamics in Brazilian Amazonia. Agriculture, **Ecosystems and Environment**, v.103, p.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
- FERNANDES, F. A.; FERNANDES, A. H. B. M. **Cálculo dos estoques de carbono do solo sob diferentes condições de manejo**. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2009. 4 p. (Embrapa Pantanal. Comunicado Técnico, 69). Disponível em: <http://www.cpap.embrapa.br/publicacoes/download.php?arq_pdf=COT69>. Acesso em: 04 out. 2014.

FRANCO, A. A.; BALIERO F.C. **Fixação biológica de nitrogênio: uma alternativa aos fertilizantes nitrogenados.** In: SIQUEIRA J.O.; MOREIRA, F.M. S.; LOPES, A.S.; GUILHERME, L. R. .; FAQUIN, V.; FURTINI NETO, A.E.; CARVALHO, J.G., eds. Inter-relações fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas. Lavras, 1999. p. 577-596.

FRAZÃO, L. A.; PAUSTIAN, K.; CERRI, C. E.; CERRI, C. C. Soil carbon stocks and changes after oil palm introduction in the Brazilian Amazon. **GCB Bioenergy**, 2012, doi:10.1111/j. 1757-1707.2012.01196.x

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

HENSON, S. A.; SARMIENTO, J. L.; DUNNE, L. B.; DONEY, S. C.; JHON, J.; BEAULIEU, C. Detection of anthropogenic climate change in satellite records of ocean chlorophyll and productivity. **Biogeosciences**, V. 7, p. 621–640. 2010

GONÇALVES, C.A .; COSTA, N.L. Avaliação agronômica de Brachiaria humidicola em consorciação com leguminosas forrageiras tropicais em Rondônia. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, v. 23, n. 5, p.699-708, 1995.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. UNEP, United Nations Environment Programme; OECD. Organization for Economic Co-Operation and Development; IEA. International Energy Agency. **Revised 1996 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.** Paris, FR, 1997. V. 3.

JOURDAN, C.; REY H. Architecture and development of the oil-palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) root system. **Plant Soil**, v. 189, p. 33–48, 1997.

KATO, O. R.; KATO, M. do S.A.; SÁ, T. D. de .A.; FIGUEIREDO, R. D. O. Plantio direto na capoeira. **Ciência e Ambiente**, v29. P.99-111, 2004.

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. 2011. Microbial biomass and soil chemical properties under different land use systems in Northeastern Pará. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 35, p.1127-1139.

NOAA, National Oceanic Atmospheric Administration. carbon dioxide By burning fossil fuels for energy, human activities have increased the concentration of carbon dioxide in the atmosphere by more than 40% since the Industrial Revolution, causing global warming and making the pH of the ocean more acidic. . Disponível em: <[http:// www.noaa.gov/climate / psdonline/circulars/oilseeds.pdf](http://www.noaa.gov/climate/psdonline/circulars/oilseeds.pdf)>. Acesso em: 03 fev. 2017.

<http://> PIMENTEL-GOMES, F.; GARCIA, C. H. **Estatística aplicada a experimentos agronômicos e florestais**: exposição com exemplos e orientações para uso de aplicativo. Piracicaba: FEALQ, 2002. 309p

REPORTER BRASIL. Organização de Comunicação e Projetos Sociais: **Expansão do dendê na Amazônia brasileira**: elementos para uma análise dos impactos sobre a agricultura familiar no nordeste do Pará”. Disponível em: <<http://www.reporterbrasil.org.br/documentos/Dendê2013.pdf>. > Acesso em: 04 out. 2017.

SANTIAGO, W. R. VASCONCELOS, S.S.; KATO, O. R.; BISPO, C. J. C.; RANGEL-VASCONCELOS, L. G. T.; CASTELLANI, D. C. Nitrogênio mineral e microbiano em sistemas agroflorestais com palma de óleo na Amazônia oriental. **Acta Amazônica**, v. 43, p. 395-406, 2013

SILVA, G.R.; SENA, W.L.; SILVA JUNIOR, M. L. Carbono e nitrogênio da biomassa microbiana como indicadores ambientais de um Latossolo Amarelo sob diferentes sistemas de manejo, Marituba, Pará. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 48: pg. 71-84, 2006.

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.

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.
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.

UNITED STATES. Department of Agriculture. Foreign Agricultural Service. Oilseeds: world market and trade. 2016. Disponível em: <<http://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/oilseeds.pdf>>. Acesso em: 03 fev. 2017.