



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA
EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA
MESTRADO EM AGRONOMIA



MILA FAÇANHA GOMES

CARBONO DO SOLO OXIDÁVEL POR PERMANGANATO DE POTÁSSIO EM
PLANTIOS DE DENDEZEIRO EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS E
MONOCULTIVO

BELÉM/PA

2019



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA
EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA
MESTRADO EM AGRONOMIA



MILA FAÇANHA GOMES

CARBONO DO SOLO OXIDÁVEL POR PERMANGANATO DE POTÁSSIO EM
PLANTIOS DE DENDEZEIRO EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS E
MONOCULTIVO

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

Orientador: Dr. Steel Silva Vasconcelos

BELÉM/PA

2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Bibliotecas da Universidade Federal Rural da Amazônia
Gerada automaticamente mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

G633c Gomes, Mila

CARBONO DO SOLO OXIDÁVEL POR PERMANGANATO DE POTÁSSIO EM PLANTIOS DE
DENDEZEIRO EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS E MONOCULTIVO / Mila Gomes. - 2019.
58 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado) - Programa de PÓS-GRADUAÇÃO em Agronomia (PPGA), Campus Universitário
de Belém, Universidade Federal Rural Da Amazônia, Belém, 2019.

Orientador: Prof. Dr. Steel Vasconcelos

1. Frações de carbono lábil do solo. 2. Carbono oxidável por permanganato de potássio. 3.
Agricultura orgânica. 4. Diversidade de espécies. 5. Palma de óleo na Amazônia. I. Vasconcelos, Steel,
orient. II. Título

CDD 631.47811

MILA FAÇANHA GOMES

**CARBONO DO SOLO OXIDÁVEL POR PERMANGANATO DE POTÁSSIO EM
PLANTIOS DE DENDEZEIRO EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS E MONOCULTIVO**

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

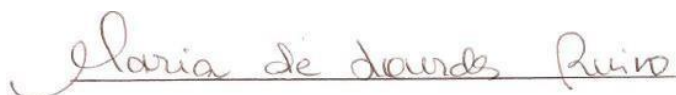
Orientador: Dr. Steel Silva Vasconcelos

Aprovado em 28 de fevereiro de 2019

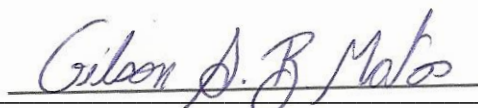
BANCA EXAMINADORA



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



Dra. Maria de Lourdes Pinheiro Ruivo – 1º Examinador
Museu Paraense Emílio Goeldi



Prof. Dr. Gilson Sérgio Bastos de Matos – 2º Examinador
Universidade Federal Rural da Amazônia-UFRA



Dr. Osvaldo Ryohei Kato – 3º Examinador
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA

BELÉM/PA

2019

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida.

Ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal Rural da Amazônia e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela bolsa de estudos.

Ao orientador Dr. Steel Vasconcelos (EMBRAPA), pela paciência, serenidade, compreensão, apoio durante o período de pesquisa e pela confiança em mim depositada.

Aos parceiros do projeto SAF-Dendê: Natura Inovação e Tecnologia e Produtos LTDA, Centro Agroflorestal Mundial (ICRAF), Cooperativa Mista de Tomé-Açu (CAMTA), Embrapa Amazônia Oriental e Agência dos Estados Unidos para o Desenvolvimento Internacional. (USAID)

Ao corpo técnico do Laboratório de Análise de Sistemas Sustentáveis (LASS), em especial a Neusa Maria da Silva Ferreira, Ivanildo Alves Trindade e Everson Rocha Lima, pelo apoio, paciência e profissionalismo.

Às colegas de pesquisa Alessa Mendanha, Amanda Paiva, Priscila Barros e Saime Rodrigues, pelo conhecimento que me foi passado, pelo auxílio durante a coleta, análise e processamento de dados e pela compreensão.

Aos estagiários do laboratório e campo, em especial Eliana Costa, Marcela Miranda e Paulo Aviz.

Aos amigos e companheiros de vida Luiz Fernando Morais, Ana Renata Abreu, Larissa Miranda, Maynara Gomes, Diego Barreiros, Alessa Mendanha e Priscila Barros, pela amizade, parceria, apoio em todos os momentos da minha vida.

Aos meus familiares, primos, tios, em especial à minha avó Raimunda da Conceição Gomes, minhas tias Cláudia e Denise Gomes, que me acompanham desde o início da vida e jornada acadêmica.

À minha mãe Simone Gonçalves Façanha, que é meu espelho como mulher, pessoa e profissional. À minha irmã Mirna Façanha Gomes, que sempre esteve ao meu lado em todos os momentos.

Ao meu esposo Rodrigo Alfaia, que me acompanha, apoia e incentiva.

DEDICO,

AO MEU PAI, OMAR DA MATA GOMES (*in memorian*)

À MINHA TIA, PATRICIA GONÇALVES FAÇANHA (*in memorian*)

À MINHA MÃE

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1** Espécies plantadas em sistemas agroflorestais com dendezeiro (SAF-B sistemas agroflorestais mais biodiverso, SAF-A: sistemas agroflorestais menos biodiversos) na UD1 do Projeto SAF-Dendê, no município de Tomé-Açu, Pará. O tempo de permanência da espécie nos sistemas está sinalizado com células hachuradas. 49
- Tabela 2** Espécies plantadas em sistemas agroflorestais com dendezeiro (SAF-B sistemas agroflorestais mais biodiverso, SAF-A: sistemas agroflorestais menos biodiversos) na UD2 do Projeto SAF-Dendê, no município de Tomé-Açu, Pará O tempo de permanência da espécie nos sistemas está sinalizado com células hachuradas. 50
- Tabela 3** Espécies plantadas em sistemas agroflorestais com dendezeiro (SAF-B sistemas agroflorestais mais biodiverso, SAF-A: sistemas agroflorestais menos biodiversos) na UD3 do Projeto SAF-Dendê, no município de Tomé-Açu, Pará. O tempo de permanência da espécie nos sistemas está sinalizado com células hachuradas. 51
- Tabela 4** Tipos e taxas de aplicação de fertilizantes e calcário nos sistemas agroflorestais com dendezeiro nas unidades demonstrativas do Projeto SAF-Dendê no município de Tomé-Açu, Pará. 52
- Tabela 5** Caracterização química do solo dos sistemas de produção de dendezeiro (SAF-B sistemas agroflorestais mais biodiverso, SAF-A: sistemas agroflorestais menos biodiversos e MON: monocultivo de dendezeiro) e áreas de referências (FLO) das três unidades do Projeto SAF-Dendê no município de Tomé-Açu, Pará. 52
- Tabela 6** Caracterização textural dos solos sistemas agroflorestais com dendezeiro (SAF-B sistemas agroflorestais mais biodiverso, SAF-A: sistemas agroflorestais menos biodiversos e MON: monocultivo de dendezeiro) e áreas de referências (FLO) das três unidades do Projeto SAF-Dendê no município de Tomé-Açu, Pará. 53
- Tabela 7** Área relativa (%) ocupada pelas zonas de manejo área de coroamento (BAS), carreador (CAR), empilhamento (PIL) e faixa diversificada (Faixa-SAF) em sistemas de produção de dendezeiro em Tomé-Açu, Nordeste Paraense. 53
- Tabela 8** Carbono do solo oxidável por KMnO_4 (mg kg^{-1}) em zonas de manejo influenciadas pelo dendezeiro (CAR: Carreador, BAS: Área de coroamento do dendezeiro e PIL: Empilhamento das folhas de poda do dendezeiro) em três sistemas de uso da terra (SAF-B: sistemas agroflorestais mais biodiverso, SAF-A: sistemas agroflorestais menos biodiversos e MON: monocultivo de dendezeiro), em Tomé-Açu, Pará. 33
- Tabela 9** Carbono do solo oxidável por KMnO_4 (mg kg^{-1}) em diferentes zonas de manejo (CAR: Carreador, BAS: Área de coroamento do dendezeiro, PIL: Empilhamento das folhas de poda do dendezeiro e Faixa-SAF:

faixa diversificada) em dois sistemas de uso da terra (SAF-B: sistemas agroflorestais mais biodiversos e SAF-A: sistemas agroflorestais menos biodiversos), em Tomé-Açu, Pará..... 54

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

%: Percentagem.

°: Graus Celsius.

SAF-A: Sistema agroflorestal cuja espécie principal é o dendezeiro associado a espécies adubadeiras nas unidades demonstrativas.

Al: Alumínio.

B: Boro.

BAS: Zona de coroamento do dendezeiro.

SAF-B: Sistema agroflorestal cuja espécie principal é o dendezeiro associado ao *T. cacao* e espécies madeireiras nas unidades demonstrativas.

C: Carbono.

Ca: Cálcio.

CAMTA: Cooperativa Agrícola Mista de Tomé-Açu.

CAR: Carreador.

CaCl₂: Cloreto de cálcio.

cmol: Centimol.

C-POX: Carbono do Solo Oxidável por Permanganato de Potássio.

COS: Carbono orgânico do solo.

CTC: Capacidade de troca de cátions.

Cu: Cobre.

dm³: Decímetro cúbico.

Embrapa: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária.

Faixa-SAF: Faixa constituída por espécies vegetais, com exceção do dendezeiro, dos sistemas agroflorestais.

FLO: Floresta sucessional.

g: Grama.

H+Al: Acidez potencial.

K: Potássio.

KMnO₄: Permanganato de potássio.

kg: Quilograma.

ICRAF: Centro Internacional de Pesquisa Agroflorestal.

M: Molar.

m: Metro.

Mg: Magnésio.

mL: Mililitro.

mm: Milímetro.

Mn: Manganês.

MOS: Matéria orgânica do solo.

nm: Nanômetro.

P: Fósforo.

PIL: Pilha de folhas podadas de dendezeiro.

pH: Potencial hidrogeniônico.

PNPB: Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel.

S: Enxofre.

SAF: Sistema agroflorestal.

MON: Sistema de produção de dendezeiro em monocultivo.

UD: Unidade demonstrativa.

ZAE-Palma de óleo: Zoneamento Agroecológico, Produção e Manejo para a Cultura da Palma de óleo na Amazônia.

RESUMO

Para a produção de dendezeiro, o cultivo em sistemas agroflorestais é considerado uma alternativa sustentável ao sistema convencional (monocultivo), pois associa adequada produção de cachos com prestação de serviços ambientais, como a manutenção da qualidade do solo. A qualidade do solo pode ser indicada, dentre outras formas, por meio da quantificação de frações da matéria orgânica do solo, dentre as quais está a fração oxidada por permanganato de potássio. O objetivo foi avaliar o conteúdo de carbono oxidável por KMnO_4 (C-POX) em sistemas agroflorestais com dendezeiro, comparando-os ao sistema de monocultura e a uma floresta sucessional, a fim de verificar a qualidade do solo desses ecossistemas. O experimento foi conduzido no município de Tomé-Açu, Pará, em três unidades demonstrativas (UD1, UD2 e UD3) do Projeto SAF-Dendê. Cada UD conta com dois sistemas agroflorestais cuja espécie principal é o dendezeiro, sendo um com predominância de espécies frutíferas e madeireiras, denominado SAF-Biodiverso (SAF-B), e outro com maior frequência de plantas adubadeiras, denominado SAF-Adubadeiras (SAF-A), que são arranjados de forma a intercalar uma linha dupla de dendezeiro e faixas diversificadas (Faixa-SAF). Para comparação com o sistema convencional de produção de dendezeiros, foram selecionados dois monocultivos: MON1, que foi comparado com as UD1 e UD2, e MON2, utilizado como referência para a UD3. Os sistemas agroflorestais das três UD's foram comparados florestas sucessionais (FLO1, FLO2 e FLO3) adjacentes a cada unidade demonstrativa. Em cada sistema foram estabelecidas ao acaso cinco parcelas. Amostras de solo da camada 0-10 cm foram coletadas em locais específicos dentro de cada parcela (zonas de manejo): carreador (CAR), área de coroamento (BAS), empilhamento (PIL) e Faixa-SAF. Foi determinado o teor de carbono oxidável por KMnO_4 (C-POX). Comparando os sistemas de uso do solo da UD1 e UD3, os SAF-A apresentaram maior teor de C-POX (1063 e 812 mg kg^{-1} solo, respectivamente) que os demais sistemas nessas UD's. Na UD2, o maior teor ocorreu no SAF-B, 1048,64 mg kg^{-1} solo, em comparação com os demais sistemas. Não houve efeito significativo da interação entre sistemas de produção de dendezeiro e zonas de manejo que sofrem influência do dendezeiro (CAR, BAS e PIL); no entanto, de modo geral, em todas as UD's, os SAFs com dendezeiro apresentaram teor de C-POX 9 a 40% maior que os sistema de produção convencional. Para o fator zonas de manejo, os resultados obtidos mostraram que a zona de empilhamento apresenta maior conteúdo de C-POX que as demais. O empilhamento e a Faixa-SAF nas três UD's foram superiores significativamente ao CAR e BD. Portanto, conclui-se que o carbono do solo oxidável por KMnO_4 é sensível às mudanças de manejo dos sistemas, permitindo indicar que

sistemas agroflorestais com dendezeiro apresentaram melhor qualidade do solo do que o monocultivo de dendezeiro. A diferença na distribuição espacial de C-POX nos SAFS e monocultivo é consistente com o papel do manejo da matéria orgânica em melhorar a qualidade do solo.

Palavras-chave: Amazônia oriental. Carbono oxidável por KMnO_4 . Floresta secundária, Matéria orgânica do solo. Dendezeiro. Qualidade do solo e Tomé-Açu.

ABSTRACT

For oil palm production, cultivation in agroforestry systems is considered a sustainable alternative to the conventional (monoculture) system, as it combines adequate bunches production with the provision of environmental services, such as maintaining soil quality. Soil quality can be indicated, among other ways, by quantifying fractions of soil organic matter, among which is the fraction oxidized by potassium permanganate. The objective was to evaluate the content of carbon oxidized by KMnO_4 (C-POX) in agroforestry systems with oil palm, comparing them to the monoculture system and a successional forest, in order to verify the soil quality of these ecosystems. The experiment was conducted in the municipality of Tomé-Açu, Pará, in three demonstrative units (UD1, UD2 and UD3) of the SAF-Dendê Project. Each UD has two agroforestry systems whose main species is oil palm, one with a predominance of fruit and timber species, called SAF-Biodiverso (SAF-B), and the other with a higher frequency of fertilizer plants, called SAF-Adubadeira (SAF-A), which are arranged in such a way as to merge a double line of oil palm and diversified bands (Strip-SAF). For comparison with the conventional oil palm production system, two monocultures were selected: MON1, which was compared with UD1 and UD2, and MON2, used as a reference for UD3. The agroforestry systems of the three UDs were compared to successional forests (FLO1, FLO2 and FLO3) adjacent to each demonstrative unit. Five plots were established at random in each system. Soil samples from the 0-10 cm layer were collected at specific locations within each plot (management zones): harvest path (CAR), weeded circle (BAS), frond pile (PIL) and Zone-SAF. The content of oxidizable carbon by KMnO_4 (C-POX) was determined. Comparing the land use systems of UD1 and UD3, the SAF-A s had a higher C-POX content (1063 and 812 mg kg⁻¹ soil, respectively) than the other systems in these UDs. In UD2, the highest content occurred in SAF-B, 1048.64 mg kg⁻¹ soil, compared to the other systems. There was no significant effect of the interaction between oil palm production systems and management zones that are influenced by oil palm (CAR, BAS and PIL); however, in general, in all UDs, SAFs with oil palm had a C-POX 9 content 40% higher than conventional production systems. For the management zones factor, the results obtained showed that the frond pile has a higher C-POX content than the others. The frond pile and the Zone-SAF in the three UDs were significantly higher than the CAR and BAS. Therefore, it is concluded that the labile oxidizable carbon by KMnO_4 is sensitive to changes in the management of the systems, allowing to indicate that agroforestry systems with oil palm presented better soil quality than the monoculture oil palm. The difference in the spatial distribution of C-POX in SAFs and monoculture is consistent with the role of organic matter management in improving soil quality.

Keywords: Eastern Amazon. Oxidizable carbon by KMnO_4 . Secondary forest. Soil organic matter, Oil palm, Soil quality and Tomé-Açu.

SUMÁRIO

RESUMO

ABSTRACT

| | |
|---|-----------|
| 1 CONTEXTUALIZAÇÃO | 15 |
| 1.1 Hipóteses..... | 18 |
| 1.2 Objetivos..... | 18 |
| 1.2.1 Objetivo geral | 18 |
| 1.2.2 Objetivos específicos | 19 |
| 2 REFERENCIAL TEÓRICO..... | 20 |
| 2.1 Dendê na Amazônia..... | 20 |
| 2.2 Sistemas agroflorestais..... | 21 |
| 2.2.1 SAF-Dendê | 22 |
| 2.3 Importância da matéria orgânica para a qualidade do solo | 22 |
| 2.5 Carbono do solo oxidável por permanganato de potássio (C-POX)..... | 24 |
| 2.6 Frações lábeis da matéria orgânica do solo e o carbono oxidável por permanganato de potássio | 25 |
| 3 CARBONO DO SOLO OXIDÁVEL POR PERMANGANATO DE POTÁSSIO EM PLANTIOS DE DENDEZEIRO EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS E MONOCULTIVO | 27 |
| 3.1 Introdução..... | 27 |
| 3.2 Material e Métodos..... | 29 |
| 3.2.1 Área de estudo | 29 |
| 3.2.2 Manejo dos sistemas de produção de dendezeiro | 30 |
| 3.2.3 Coleta e processamento de amostras | 31 |
| 3.2.4 Análise estatística | 32 |
| 3.2 Resultados | 32 |
| 3.3.1 Teor de C-POX em diferentes sistemas de cobertura do solo | 32 |
| 3.3.2 Distribuição espacial de C-POX nas zonas de manejo influenciadas pelo dendezeiro | 33 |
| 3.3.3 Distribuição espacial de carbono oxidável por permanganato de potássio nas zonas de manejo dos sistemas agroflorestais..... | 33 |

| | |
|---|-----------|
| 3.3 Discussão | 33 |
| 3.4.1 Teor de carbono oxidável por permanganato de potássio em diferentes sistemas de uso do solo..... | 33 |
| 3.4.2 Distribuição espacial de carbono do solo oxidável por permanganato de potássio nas zonas de manejo de sistemas de produção de dendezeiro e em sistemas agroflorestais com dendezeiro..... | 35 |
| 3.4 Conclusão | 36 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 37 |
| ANEXO A - SISTEMA AGROFLORESTAL MAIS BIODIVERSO (SAF-B) NA UNIDADE DEMONSTRATIVA 2..... | 55 |
| ANEXO B - SISTEMA AGROFLORESTAL MENOS BIODIVERSO (SAF-A) NA UNIDADE DEMONSTRATIVA 2 | 56 |
| ANEXO C - SISTEMA DE MONOCULTIVO DE DENDEZEIRO (MONOCULTIVO1) | 57 |
| APÊNDICE D – MAPA DE LOCALIZAÇÃO DAS UNIDADES DEMONSTRATIVAS E MONOCULTIVOS DE DENDEZEIRO NO MUNICÍPIO DE TOMÉ-AÇU | 58 |

1 CONTEXTUALIZAÇÃO

O dendezeiro (*Elaeis guineensis* Jacq.) é uma palmeira pertencente à família Arecaceae. Especula-se que as primeiras sementes de dendê foram trazidas para o território brasileiro em 1500 pelos escravos (HOMMA, 2016). No entanto, somente em meados do século XX o dendê começou a ser cultivado e estudado (HOMMA, 2016). Recentemente, o óleo de dendê passou a ser utilizado por diversos setores: farmacêutico, químico, metalúrgico e, com grande destaque no setor de combustíveis, além de ser historicamente empregado no ramo alimentício (BORGES; COLLICCHIO; CAMPOS, 2016).

Atualmente, o dendezeiro é espécie oleaginosa de maior importância mundial (SHEIL et al., 2009), por apresentar maior produtividade entre as oleaginosas, atingindo até 5.000 quilogramas por hectare, estando a frente da mamona e da soja, cujas produtividades são 700 e 500 quilogramas por hectare, respectivamente (EMBRAPA, 2016). A Indonésia e a Malásia são os maiores produtores mundiais de dendê, sendo responsáveis por cerca de 85% da produção global (FAO, 2018). No Brasil, que ocupa a décima posição neste ranking, a produção nacional de óleo de dendê foi estimada em 500 mil toneladas em 2017 (FAO, 2018). O estado do Pará é responsável por cerca de 90% da produção nacional, favorecido pelo clima adequado ao cultivo e à disponibilidade de terras agricultáveis (RAMALHO FILHO et al., 2010).

Estima-se que a área plantada com dendezeiro no território brasileiro seja 236 mil hectares; o estado do Pará contribui com 88% desta área, seguido por Bahia, com 11% e Roraima, com 1% (BRASIL, 2018). A demanda por óleo de dendê tende a continuar crescendo; estima-se que em 2050 serão necessários mais 13 milhões de hectares de área plantada em todo o mundo (KUSS et al., 2015). Logo, o aumento da conversão de florestas secundárias em áreas agricultáveis é eminente (BUTLER; LAURANCE, 2009). Essa mudança no uso da terra pode representar riscos à biodiversidade dos ecossistemas (KOH; LEVANG; GHAZOUL, 2009) e deve reduzir os estoques de carbono do solo e da vegetação, podendo gerar impactos no equilíbrio ecossistêmico (KOTOWSKA et al., 2015).

A expansão do cultivo do dendezeiro acontece, principalmente, em função de programas de incentivo de produção de óleo de dendê para fins de geração de biocombustível (KUSS et al., 2015). Em 2005, foi criado o Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB) que tem como objetivo implementar a cadeia de produção do biodiesel no território brasileiro, visando a produção sustentável, inclusão social e geração de renda e emprego, por meio da utilização de oleaginosas que se adequem às realidades sociais, econômicas e ambientais de cada região do país (BRASIL, 2005).

A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) elaborou o Zoneamento Agroecológico, Produção e Manejo para a Cultura da Palma de óleo na Amazônia (ZAE-Palma de óleo) como uma ferramenta de avaliação e espacialização de áreas aptas para produção sustentável do dendê (RAMALHO FILHO et al., 2010). Com o mesmo foco, o Governo Federal criou, em 2010, o Programa de Produção Sustentável da Palma de Óleo que visa controlar a expansão do cultivo desordenado de dendê (BRASIL,2010). O Programa foi lançado no município de Tomé-Açu, Pará.

Na região do Nordeste Paraense, onde fica localizado o município de Tomé-Açu, os sistemas produtivos de dendê são predominantemente executados no molde convencional, isto é, monocultivo (BRASIL, 2018). Esse sistema de produção consiste em um ciclo de cultivo de 25 anos, mas somente a partir dos 10 anos de idade torna-se viável economicamente (GOH; NG; LEE, 2009; KUSS et al., 2015). A prática de cultivo convencional é baseada na elevada utilização de insumos industrializados, como fertilizantes e defensivos agrícolas, e maquinário agrícola, o que conflita com a realidade econômica da maioria dos produtores familiares da região amazônica (IPEA, 2013; KATO et al. 2011). Por isso, é necessário buscar sistemas de produção de dendê que sejam viáveis economicamente para pequenas propriedades e que amenizem o impacto desse cultivo, em pequena ou grande escala, ao meio ambiente (KATO et al., 2011).

Dentro desse contexto, há a alternativa que o cultivo de dendezeiro seja conduzido em sistemas agroflorestais, como uma solução promissora para amenizar os impactos ambientais do modelo de produção convencional de dendezeiro (BHAGWAT; WILLIS, 2008). Para a inserção de agricultores familiares no mercado de óleo de dendê, estudos sobre sistemas agroflorestais cuja a espécie-chave é o dendezeiro têm sido desenvolvidos na Amazônia (KATO et al., 2011). Um exemplo é o projeto SAF-Dendê: Inovação e sustentabilidade, implantado no município de Tomé-Açu, em 2008, que visa desenhar um sistema diversificado de produção de dendê garantindo a qualidade do solo, biodiversidade e a diversificação da renda de agricultores familiares.

Na região Amazônica, em função da baixa fertilidade natural dos solos, a matéria orgânica é principal componente desses solos, auxiliando sua fertilidade, liberação de nutrientes para as plantas e, a longo prazo, atua como depósito de C por milhares de anos, tendo papel fundamental no sequestro de carbono (SCHMIDT et al., 2011). Atualmente, há uma lacuna de conhecimento sobre os impactos da expansão do dendê sobre a qualidade do solo na região Amazônica, que é comumente mensurada pela avaliação das frações de matéria orgânica do solo.

Os cultivos de dendezeiro têm como característica marcante a heterogeneidade na forma de manejo do espaço que, conseqüentemente, apresentam diferenças na qualidade do solo (LAW et al., 2010). As áreas de cultivo convencional de dendezeiro podem ser divididas em três zonas de manejo: carreador, onde há o tráfego de máquina e de pessoas para a colheita e manutenção do sistema; área de coroamento, onde é feita a aplicação de defensivos agrícolas e adubação para o dendezeiro; o empilhamento ou pilha, que é o local onde são depositadas as folhas podadas. Essa variação nas práticas de manejo adotadas para as três zonas ocasionam diferenças na estocagem de carbono no solo (CARVALHO et al., 2014; FRAZÃO et al., 2013; GOODRICK et al., 2015; RAMOS et al., 2017) e em diferentes frações da MOS, como na biomassa microbiana do solo (HARON et al., 1998) e fração leve da MOS (CARVALHO, 2014). Os sistemas agroflorestais com dendezeiro desenvolvidos no município de Tomé-Açu, além das três zonas de manejo mencionadas, incluem uma faixa diversificada com espécies frutíferas, madeireiras e leguminosas (KATO et al., 2011).

A quantificação das variações nos atributos do solo em sistemas de plantio de dendezeiro, decorrentes da intensificação do sistema de uso e manejo, pode fornecer informações importantes para o melhor gerenciamento dos sistemas. Dentre esses atributos, a matéria orgânica do solo pode ser considerada como uma indicadora promissora dessas mudanças, principalmente as frações lábeis, que diferem das frações recalcitrantes principalmente por apresentarem menor tempo de ciclagem (CUNHA; MENDES; GIONGO, 2016).

As frações lábeis da matéria orgânica são definidas como as frações prontamente mineralizáveis, ou seja, que estão facilmente sujeitas ao ataque de microrganismos (BLAIR; LEFROY; LISLE, 1995; CAMBARDELLA; ELLIOTT, 1992). Devido à alta sensibilidade dessas frações às alterações no uso do solo, são consideradas excelentes indicadoras da qualidade do solo (BAAH-ACHEAMFOUR et al., 2015; CHAN; BOWMAN; OATES, 2001). Essas frações sofrem alterações em função da quantidade tempo e qualidade de resíduo orgânico que é depositado sobre o solo, o qual influencia o tamanho, taxa de ciclagem e distribuição entre os estoques de C orgânico (CAMPBELL et al., 1999; KASS; SYLVESTER-BRADLEY; NYGREN, 1997).

As mais conhecidas frações lábeis da matéria orgânica são: matéria orgânica particulada, obtida pelo método de fracionamento granulométrico (CAMBARDELLA; ELLIOTT, 1992); fração leve, obtida pelo fracionamento densimétrico (CAMBARDELLA; ELLIOTT, 1993); biomassa microbiana do solo, determinada pelo método de fumigação-extração (JENKINSON; POWLSON, 1976) e; o carbono oxidável por permanganato de

potássio (C-POX) (BLAIR; LEFROY; LISLE, 1995). Estudos são promissores em relação à sensibilidade do C-POX para indicar mudanças na qualidade do solo (GRUVER, 2015; WEIL et al., 2003). Essa fração reflete açúcares simples, aminoácidos, exsudatos de raízes (BLAIR; LEFROY; LISLE, 1995) e, algumas pesquisas sugerem que também reflete substâncias mais processadas (CULMAN et al., 2012a; SKJEMSTAD; SWIFT; MCGOWAN, 2006).

Entretanto, são escassos os trabalhos sobre os efeitos dos cultivos de espécies agrícolas perenes e espécies madeireiras sobre o conteúdo de carbono oxidável por permanganato de potássio, em especial cultivos de dendezeiro. Além disso, a necessidade de entendimento de como sistemas agroflorestais com dendezeiro influenciam na qualidade do solo motivou a elaboração deste estudo que busca respostas ao seguinte questionamento: Qual o efeito dos sistemas agroflorestais cuja espécie principal é o dendezeiro sobre o conteúdo de carbono oxidável por permanganato de potássio, em comparação a sistemas de monocultivo de dendezeiro e florestas sucessionais?

1.1 Hipóteses

(1) Os teores de C-POX seriam menores no monocultivo de dendezeiro, intermediários nos SAFs e maiores na floresta secundária

(2) A variação espacial dos teores de C-POX seguiria um padrão relacionado com o aporte de matéria orgânica do solo em sistemas de produção de dendezeiro, que é maior no empilhamento, intermediário na base de dendezeiro e menor no carreador.

(3) A variação espacial dos teores de C-POX seguiria um padrão relacionado com o aporte de matéria orgânica do solo em sistemas agroflorestais com dendezeiro, que é maior no empilhamento e faixa diversificada, intermediário na base de dendezeiro e menor no carreador.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

Avaliar se o carbono oxidável por permanganato de potássio varia entre sistemas de produção de dendezeiro e como se comparam com áreas de floresta secundária (áreas de referência).

1.2.2 Objetivos específicos

- a) Determinar o conteúdo de carbono oxidável por permanganato de potássio em sistemas agroflorestais com dendezeiro, sistemas de monocultura de dendezeiro e florestas sucessionais;
- b) Determinar a distribuição espacial do conteúdo de carbono oxidável por permanganato de potássio em de sistemas agroflorestais e monocultivo, considerando as zonas de manejo influencia pelo dendezeiro;
- c) Determinar a distribuição espacial do conteúdo de carbono oxidável por permanganato de potássio em sistemas agroflorestais com dendezeiro, considerando as zonas de manejo desses sistemas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Dendê na Amazônia

Atualmente, o Brasil está em décimo lugar no *ranking* dos maiores produtores mundiais de óleo dendê (BRASIL, 2018), com cerca de 1,6 milhão de toneladas de cachos produzidos e 142 mil hectares de área plantada em 2016 (FAO, 2018). No Brasil, o estado do Pará tem destaque como maior produtor nacional, produzindo aproximadamente 1,48 milhão de toneladas de cachos (BRASIL, 2018). A região do Nordeste paraense é a que reúne municípios com maior expressividade na produção de dendezeiro, sendo o município de Tailândia responsável por 25% do total produzido no estado, enquanto o município de Tomé-Açu produz cerca de 10% do total estadual (BRASIL, 2018).

A elevada produtividade da cultura de dendezeiro na Amazônia acontece em função da grande quantidade de áreas antropizadas, que são consideradas aptas a esse cultivo, e do clima favorável a esse tipo cultivo (BRASIL, 2018). Em condições edafoclimáticas favoráveis ao dendezeiro apresenta produtividade elevada, contudo, pode ser cultivada em solos considerados menos férteis, com a devida correção da fertilidade, seja feita de forma química ou orgânica (RAMALHO FILHO et al., 2010). Por isso, existe a tentativa de restringir a expansão e cultivo do dendezeiro somente a áreas consideradas degradadas, com o Projeto de Lei 7.326, aproveitando a alta adaptabilidade da cultura a condições consideradas adversas (BRASIL, 2010).

Apesar do destaque que a região Norte tem na produção de dendezeiro nacionalmente, essa cultura começou a ser cultivada inicialmente na Bahia e somente em meados do século XX que passou a ser plantada no Norte do país. A agricultura do dendê no Brasil é concentrada, principalmente, por grandes empresas (BRASIL, 2018; RAMALHO FILHO et al., 2010). No entanto, a adesão a este tipo de monocultivo também tem ocorrido entre pequenos agricultores em detrimento de sistemas mais diversificados, como sistemas agroflorestais (SAFs) (ASMAH et al., 2017; BHAGWAT; WILLIS, 2008), devido a dificuldades técnicas e logísticas que prejudicam a viabilidade de adoção dos SAFS, como a preparação da terra, tempo de retorno, etc (KOH; LEVANG; GHAZOUL, 2009).

No entanto, estudos revelam que apesar dessas adversidades a diversificação do sistema de cultivo de dendezeiro é uma opção viável para pequenos agricultores, devido a diminuição da necessidade de mão-de-obra e de manutenção do sistema (NCHANJI et al., 2016) e por proporcionar segurança alimentar aos agricultores (CURRY; BUE; KOCZBERSKI, 2012;

OREWA, 2008). Além da prestação de serviços ambientais, como preservação da biodiversidade, melhoria da qualidade do ar, água e solo e a estocagem de carbono na biomassa vegetal e no solo.

2.2 Sistemas agroflorestais

Sistema agroflorestal (SAF) pode ser definido como um sistema de uso da terra que associa plantas lenhosas perenes com agricultura e/ou pecuária, no qual ocorre uma sinergia econômica e ecológica entre seus componentes, seja de forma temporal ou espacial (MONTAGNINI; NAIR, 2004). Os sistemas agroflorestais são considerados sistemas de uso da terra sustentáveis, uma vez que apresentam características que promovem competitividade econômica, e benefícios sociais e ecológicos (KITAMURA, 2003). Os SAFs podem proporcionar produtos considerados bens privados, que são os que podem ser comercializados, como madeira, frutos, gado, entre outros, e bens públicos, como os serviços ambientais, que são: manutenção dos ciclos biogeoquímicos, manutenção do clima, proteção da biodiversidade de fauna e flora e sequestro/estocagem de carbono (KITAMURA, 2003; NAIR, 2012).

Os SAFs são reconhecidos como umas das formas mais apropriadas para sequestrar o carbono da atmosfera e estocá-lo, seja em biomassa e/ou no solo (CARVALHO et al., 2014; RAMESH et al., 2015; RAMOS et al., 2017; TORRES et al., 2014). Esses sistemas podem contribuir para a melhoria da qualidade e fertilidade do solo e controle da erosão, em função da diversidade de espécies que exploram o solo, água e luz de forma otimizada, possibilitando maior produtividade e sustentabilidade do agroecossistema (CASANOVA-LUGO et al., 2016). Melhoria da qualidade do ar e da água, enriquecimento do solo, conservação da biodiversidade e sequestro de carbono são alguns dos serviços ecossistêmicos prestados pelos sistemas agroflorestais que os caracterizam como uma alternativa ecologicamente sustentável à agricultura convencional (JOSE, 2009).

A principal característica da agricultura familiar na região amazônica é o preparo da área de cultivo baseado no corte e queima da vegetação de cobertura (VOSTI; WITCOVER, 1996), que causa uma vasta gama de efeitos como emissão de gases do efeito estufa, perda de biodiversidade, erosão do solo, redução da fertilidade do solo e, principalmente, reduz a capacidade do ecossistema de recuperar suas características originais (VAN VLIET et al., 2012; VILLA et al., 2018). Por isso os SAFs são atestados como uma solução viável, nos aspectos social e ambiental, para a agricultura tradicional (BRIENZA JUNIOR; GAZEL YARED, 1991;

POLLINI, 2009). Além disso, os SAFs possibilitam a inserção de produtores da agricultura familiar no mercado de frutíferas e madeireiras, contribuindo para a segurança alimentar e redução da pobreza (NEUPANE; THAPA, 2001; OLIVEIRA et al., 2010).

2.2.1 SAF-Dendê

Para a Amazônia, os sistemas agroflorestais de preparo sem queima, além de serem utilizados em substituição aos sistemas de corte-e-queima, são eficientes para a recuperação de áreas degradadas (LUIZÃO et al., 2006). No município de Tomé-Açu, sistemas agroflorestais orgânicos que têm como espécie principal o dendezeiro (SAF-Dendê) foram implantados em áreas degradadas por meio do corte e trituração da vegetação de cobertura, como alternativa para a produção sustentável de dendezeiro por produtores familiares (KATO et al., 2011; MICCOLIS et al., 2016). O SAF-Dendê é classificado em dois tipos de sistemas: biodiverso, com espécies perenes que garantem a diversificação da renda e o adubadeiras, que tem função de reduzir a utilização de fertilizantes (CASTELLANI et al., 2010).

O SAF-Dendê promove o aumento no estoque de carbono, mesmo sendo implantado em área anteriormente coberta com floresta, tornando-se mais eficiente que sistemas agroflorestais tradicionais, nos quais não há a inserção de dendezeiro (CARVALHO et al., 2014). Estudos relatam a contribuição da diversidade de espécies do sistema biodiverso para a maior estocagem de carbono, aumento da biomassa microbiana e, conseqüentemente melhoria da qualidade do solo (CARVALHO et al., 2014; RAMOS et al., 2017; SILVA et al., 2016).

A inserção do dendezeiro em sistemas agroflorestais pode ser considerada uma alternativa sustentável e que permite produtividade semelhante a de monoculturas (BHAGWAT; WILLIS, 2008). Em todo o mundo experiências de consórcio entre dendezeiro e culturas de subsistência são realizados e atestam sua viabilidade econômica e social (GÉRARD et al., 2017; NCHANJI et al., 2016) e favorecem o aumento da biodiversidade que é reduzida em sistemas de monocultura de dendezeiro (ASHRAF et al., 2018; KOH; LEVANG; GHAZOUL, 2009; SYAFIQ et al., 2016).

2.3 Importância da matéria orgânica para a qualidade do solo

A matéria orgânica do solo (MOS) é definida como todo material orgânico vivo ou morto, depositado sob e sobre o solo, podendo ser de origem animal ou vegetal, em diferentes

estágios de decomposição (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). Os principais constituintes da MOS são os resíduos vegetais, como folhas, galhos e raízes (CUNHA; MENDES; GIONGO, 2016).

A MOS tem capacidade de alterar as propriedades químicas, físicas e biológicas do solo, como pH, poder tampão, fertilidade, aeração, retenção de água no solo, densidade, agregação, infiltração e tamanho e atividade da microbiota do solo. (CUNHA; MENDES; GIONGO, 2016). Por isso, a MOS é essencial para a manutenção da sustentabilidade de um sistema agrícola (BLAIR; LEFROY; LISLE, 1995). A MOS é considerada como a principal fonte de C para os microrganismos do solo, mas uma parte desse carbono pode ser perdido por outros processos, como mineralização (CUNHA; MENDES; GIONGO, 2016) que é a transformação dos nutrientes da forma orgânica para a forma absorvível pelas plantas (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

Conceitos de qualidade do solo têm sido estudados em função da elevada demanda por terras agricultáveis (BÜNEMANN et al., 2018; KARLEN et al., 1997; SCHLOTTER; DILLY; MUNCH, 2003). A qualidade do solo pode ser definida como a capacidade do solo de funcionar dentro de um ecossistema natural ou com interferência humana, promover a produtividade animal ou vegetal, além de apoiar a habitação e a saúde humana (KARLEN et al., 1997). Atualmente, a matéria orgânica é considerada um dos indicadores mais eficientes para avaliação da qualidade do solo, devido a sua interação com os componentes físicos, químicos e biológicos do solo (CUNHA; MENDES; GIONGO, 2016).

Com a conversão da vegetação natural em sistemas de produção agrícola, a perda de carbono tende a ser acentuada devido à elevação das taxas de decomposição e erosão do solo (ROSSI et al., 2012). A demanda por matéria prima para os setores alimentício, cosmético e de biodiesel acarretam na expansão de plantios de dendezeiro, que em sua maioria são monoculturas. Em relação a monocultivos de dendezeiro, estudos divergem sobre a quantidade de carbono que esses sistemas podem estocar. Frazão et al. (2014) relatam valores maiores de estoque de C em plantio de dendezeiro em comparação com sistemas agroflorestais com dendezeiro e floresta nativa. No estudo realizado por CARVALHO et al. (2014), foram encontrados maiores valores de estoque de carbono para sistemas agroflorestais baseados em dendezeiro em comparação a floresta secundária e SAF tradicional, sugerindo o potencial desse arranjo em estocar C, devido, principalmente ao aporte de resíduos orgânicos.

2.5 Carbono do solo oxidável por permanganato de potássio (C-POX)

O conteúdo de carbono do solo é o balanço entre deposição e decomposição, erosão e lixiviação de material orgânico no solo (BLAIR; LEFROY; LISLE, 1995). A matéria orgânica do solo (MOS) é constituída por diversos compartimentos, que diferem na labilidade e/ou recalcitrância (CUNHA; MENDES; GIONGO, 2016). As frações lábeis são definidas como as que estão prontamente sujeitas à mineralização ou ao ataque de microrganismos do solo, sendo compostas por material em estágio inicial de decomposição, carboidratos e açúcares simples, aminoácidos e exsudatos de raízes. Logo, as recalcitrantes incluem material húmico, macromoléculas ligadas fortemente a superfície mineral ou protegidas fisicamente protegidas em agregados.

Estudos mostram que o conteúdo da fração lábil varia de 1 a 5% do carbono orgânico do solo (COS) do solo (DELL, 2009). As frações lábeis podem ser definidas do ponto de vista de compartimentos: físicos (carbono orgânico particulado e fração leve, oriundos de fracionamento granulométrico e fracionamento densimétrico da matéria orgânica do solo, respectivamente) química (carbono oxidável por KMnO_4 , fração “F1” determinada através do fracionamento químico com H_2SO_4), e biológico (carbono da biomassa microbiana do solo) (GREGORICH et al., 1994). Estes compartimentos de carbono sofrem alteração mais facilmente que a fração considerada mais recalcitrante, ou seja, menos suscetível a decomposição (NAHRAWI; HUSNI; RADZIAH, 2012).

O carbono oxidável por permanganato de potássio (C-POX) é considerado um dos compartimentos mais ativos do solo, ou seja, apresenta um dos menores tempos de residência no solo em comparação às frações recalcitrantes (CULMAN et al., 2012a). O C-POX é utilizado como indicador da qualidade do solo devido a sua sensibilidade à mudanças no manejo (BLAIR; LEFROY; LISLE, 1995; WEIL et al., 2003), a ser de fácil e rápida mensuração, ter baixo custo e mensuração também pode ser feita em campo (WEIL et al., 2003).

Apesar de o C-POX ser considerado um indicador eficiente da qualidade do solo, há divergências entre as concentrações de KMnO_4 a serem utilizadas para a oxidação do carbono orgânico do solo. Blair et al. (1995) considera o carbono do solo oxidável a fração oxidada por uma solução de permanganato de potássio a $0,333 \text{ mol L}^{-1}$, sendo capaz de oxidar até 30% do COS, enquanto que, outros estudos propõem a redução da concentração de KMnO_4 para $0,033 \text{ mol L}^{-1}$ (SHANG; TIESSEN, 2000) e $0,02 \text{ mol L}^{-1}$, oxidando até 3% do COS (WEIL et al., 2003). Baseado na relação estequiométrica da concentração e alíquota da solução de permanganato no método proposto Weil et al. (2003), a máxima concentração que pode ser

mensurada em uma amostra é de 1.400 g C-POX kg⁻¹ solo, quando a massa de solo utilizada é 2,5 g. O método proposto por Weil et al. (2003) é o considerado mais adequado e é o mais frequentemente utilizado para a determinação do C-POX (GRUVER, 2015).

Entre os compostos que são oxidáveis por KMnO₄ estão os que são constituídos por grupos cetona, carboxílicos, carboidratos simples, açúcares e, estudos destacam a lignina (CALDERÓN et al., 2017; PADRE; LADHA, 2004), que é considerado um composto de difícil de degradação. No momento da análise laboratorial, a degradação da amostra de solo para a quantificação do C-POX dificulta a determinação dos compostos realmente oxidados pelo KMnO₄ (SKJEMSTAD; SWIFT; MCGOWAN, 2006), possibilitando dúvidas quanto ao que realmente é oxidado.

2.6 Frações lábeis da matéria orgânica do solo e o carbono oxidável por permanganato de potássio

A MOS pode ser dividida em três compartimentos com funções distintas: a) Lábil: compostos orgânicos instáveis, que permanece no solo por pouco tempo, e são fonte de energia para a biomassa microbiana do solo e essencial na ciclagem de nutrientes (STROSSER, 2010); b) estável: fica localizada dentro de agregados onde acontece a troca de cátions; e seu tempo de permanência varia de anos a décadas (SOLLINS; HOMANN; CALDWELL, 1996) e; c) inerte: é a matéria orgânica capaz de afetar as propriedades físicas do solo, não é suscetível a decomposição, permanece no solo de décadas a séculos, e é responsável pelo sequestro de carbono (SIX et al., 2002).

Atualmente, inúmeros tipos de fracionamento da matéria orgânica do solo propõem-se a separar as frações em compartimentos de comportamento semelhante, que podem ser relacionados a sua dinâmica no solo (STROSSER, 2010). Esses procedimentos são divididos em: a) químico, oxidação ou solubilidade dos compostos; b) físico, localização no solo, por exemplo, intragregados ou livre na matriz do solo, tamanho das partículas e densidade das partículas e c) biológico, quantificação da biomassa microbiana.

O fracionamento por tamanho, conhecido como fracionamento granulométrico, é baseado na separação das frações da MOS que estão associadas às partículas minerais areia, silte ou argila (CAMBARDELLA; ELLIOTT, 1992). O fracionamento físico pela densidade, ou método densimétrico, baseia-se na separação de frações leves (leve-livre e leve-oclusa) da

matéria orgânica da fração pesada, que está associada aos organominerais (ROSCOE; MACHADO, 2002).

O fracionamento químico divide o carbono total do solo em carbono orgânico e mineral, por meio da oxidação com dicromato de potássio (WALKLEY; BLACK, 1934; YEOMANS; BREMNER, 1988) e, mais recentemente, foram desenvolvidos métodos de oxidação com permanganato de potássio (KMnO_4) (BLAIR; LEFROY; LISLE, 1995) e com ácido sulfúrico (H_2SO_4), a fim de determinar as frações lábeis do carbono orgânico do solo.

O compartimento biológico é considerado o mais ativo do solo, responsável pela ciclagem de nutrientes e um indicador extremamente sensível às mudanças no manejo (ANDERSON; DOMSCH, 1993; VANCE; BROOKES; JENKINSON, 1987). A quantificação da biomassa microbiana é feita principalmente pelo método de fumigação-extração que, devido a fumigação com o biocida clorofórmio, causa a liberação do C intracelular na matriz do solo (VANCE; BROOKES; JENKINSON, 1987). A atividade microbiana e potencial de mineralização são mensurados pela evolução do CO_2 liberado pelos microrganismos em função de todos os seus processos metabólicos (JENKINSON, 1976; PAUL; MORRIS; BÖHM, 2001).

Com a intenção de validar os resultados obtidos nos fracionamentos, comparações entre os métodos são feitas. C-POX e carbono orgânico particulado (POC) foram comparados houve baixa relação entre esses (CULMAN et al., 2012b) e sim com a fração menos lábil, diferente do esperado, que era que a correlação fosse mais forte com a fração particulada, que é considerada mais lábil (CAMBARDELLA; ELLIOTT, 1992). Comparações entre o C-POX e biomassa microbiana do solo (BMS) mostram forte relação, sugerindo que o C-POX é tão eficiente quanto o BMS na detecção de mudanças na qualidade do solo. Além da correlação entre essas frações, várias pesquisas demonstram que as frações lábeis são controladas pelos mesmos fatores, os principais são: textura (DIEKOW et al., 2005; MCLAUCHLAN, 2006; SILVER et al., 2000); adição de material orgânico (XAVIER et al., 2006; GUILLAUME et al., 2016; HARON et al., 1998; RAMESH et al., 2015); e mudanças no manejo (BRUUN et al., 2013; RAMESH et al., 2015; SILVA et al., 2016).

3. CARBONO DO SOLO OXIDÁVEL POR PERMANGANATO DE POTÁSSIO EM PLANTIOS DE DENDEZEIRO EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS E MONOCULTIVO

3.1 Introdução

O dendezeiro (*Elaeis guineensis* Jacq.) é uma oleaginosa perene de grande importância econômica, comumente utilizada em indústrias de alimentos, cosméticos e biocombustível. No Brasil, as plantações de dendezeiro têm substituído áreas de pastagens e de agricultura tradicional degradadas e áreas de fragmentos de floresta (MONTEIRO DE CARVALHO et al., 2015). No estado do Pará, responsável por 90% da produção de óleo de palma no Brasil, a área plantada com dendezeiro cresceu mais de 200% entre 2006 e 2014 (BENAMI et al., 2018).

O cultivo de dendezeiro no Brasil é realizado em sua grande maioria nos moldes do sistema convencional, com elevada utilização de defensivos agrícolas, fertilizantes e maquinários (BORGES; COLLICCHIO; CAMPOS, 2016; RAMALHO FILHO et al., 2010). Esse modelo de produção tem sido mundialmente associado à perda de biodiversidade (KOH; WILCOVE, 2008), destruição de florestas (CARLSON et al., 2012), emissão de gases do efeito estufa (AGUS et al., 2013) e diminuição do estoque de carbono no solo (GUILLAUME; DAMRIS; KUZYAKOV, 2015; SOMMER; DENICH; VLEK, 2000).

Como alternativa ao monocultivo, têm sido propostos sistemas de produção com bases sustentáveis (BHAGWAT; WILLIS, 2008; KOH; LEVANG; GHAZOUL, 2009), como os sistemas agroflorestais. Na Amazônia Oriental, sistemas agroflorestais baseados em dendezeiro têm se mostrado alternativas promissoras para aumentar o estoque de carbono acima e abaixo do solo e melhorar a qualidade do solo (CARVALHO et al., 2014; RAMOS et al., 2017).

Estudos reportam aumento (CARVALHO et al., 2014; FRAZÃO et al., 2013; GOODRICK et al., 2015) ou diminuição (BRUUN et al., 2013; FRAZÃO et al., 2014; RAHMAN et al., 2018) do estoque de carbono orgânico após a conversão para áreas de plantio de dendezeiro. Mudanças no SOC são frequentemente utilizadas para avaliar alterações no uso da terra e práticas de manejo, entretanto, o SOC não é considerado um indicador sensível a essas variações a curto prazo (GRUVER, 2015).

Por isso, estudos têm sugerido frações lábeis de carbono orgânico que são promissoras quanto a sensibilidade ao clima e mudanças no manejo e no uso da terra; como carbono orgânico particulado (CAMBARDELLA; ELLIOTT, 1992), biomassa microbiana do solo (JENKINSON; POWLSON, 1976) e carbono oxidável por permanganato de potássio (BLAIR; LEFROY; LISLE, 1995). A fração oxidada pelo C-POX desempenha um papel fundamental

em relação a funções da matéria orgânica no solo, como ciclagem de nutrientes e carbono e fonte de energia para os microrganismos (SHARMA et al., 2014).

O carbono do solo em regiões tropicais, principalmente na Amazônia, está fortemente relacionado com a quantidade de material orgânico de origem vegetal depositado sobre o solo. Em plantios de dendezeiro é importante considerar a distribuição espacial de carbono do solo (LAW et al., 2010; NELSON et al., 2014), resultante do efeito do manejo sobre o acúmulo de matéria orgânica (FRAZÃO et al., 2013; GOODRICK et al., 2015). A variação no teor de matéria orgânica do solo (e de outras variáveis químicas e físicas) (FRAZÃO et al., 2014; RAMOS et al., 2018) estão associadas às zonas de manejo características do plantio da dendezeiro: (a) carreador, área de tráfego de maquinário; (b) área de coroamento e (c) empilhamento ou pilha, zona de deposição das folhas da poda.

Em plantações de dendezeiro em regiões tropicais há uma forte relação entre C-POX e SOC e a eficiência do C-POX em identificar mudanças na qualidade do solo em função da modificação do uso da terra (BRUUN et al., 2013). No entanto, não há relatos sobre o C-POX em sistemas agroflorestais com dendezeiro e do efeito das zonas de manejo desses sistemas sobre o C-POX. Diante disso, o objetivo principal desse trabalho foi avaliar se o carbono oxidável por permanganato de potássio varia entre sistemas de produção de dendezeiro e como se comparam com áreas de floresta secundária (áreas de referência). O objetivo secundário foi avaliar se o carbono oxidável por permanganato de potássio do solo varia espacialmente em sistemas de produção de dendezeiro.

As hipóteses desse trabalho foram (1) os teores de C-POX seriam menores no monocultivo de dendezeiro, intermediários nos SAFs e maiores na floresta secundária, (2) a variação espacial dos teores de C-POX seguiria um padrão relacionado com o aporte de matéria orgânica do solo em sistemas de produção de dendezeiro, que é maior no empilhamento, intermediário na base de dendezeiro e menor no carreador. (3) A variação espacial do teor de C-POX seguiria um padrão relacionado com o aporte de matéria orgânica do solo em sistemas agroflorestais com dendezeiro, que é maior no empilhamento e faixa diversificada, intermediário na base de dendezeiro e menor no carreador.

3.2 Material e Métodos

3.2.1 Área de estudo

O estudo foi conduzido no estado do Pará, na Amazônia Oriental, em três unidades demonstrativas (UD) do Projeto SAF-Dendê e em dois monocultivos comerciais de dendezeiro (MON) localizados no município de Tomé-Açu, no Distrito de Quatro Bocas: UD1 (Latitude - 02 24' 08,71671" Longitude - 48 14' 50,42774"), UD2 (Latitude - 02 20' 59,68037" Longitude - 48 15' 36,06262") e UD3 (Latitude - 02 38' 54,88752" Longitude - 48 20' 46,30510"). De acordo com a classificação de Koppen, o clima é tropical quente úmido (Ami). A precipitação média anual é de 2300 mm ano⁻¹ e a temperatura média anual é 26,8 °C. Em geral, a precipitação é mais alta em março (440,3 mm) e mais baixa em agosto (51,8 mm). A média anual da umidade relativa do ar é 85% (PACHÊCO; BASTOS; CREÃO, 2009). A vegetação original das áreas era floresta ombrófila densa, que foi intensamente antropizada, resultando no predomínio de florestas sucessionais. O solo da região é predominantemente do tipo Latossolo amarelo.

Em cada UD foram instalados dois tipos de sistemas agroflorestais (SAFs) que variavam na composição de espécies. Uso e cobertura da terra era diferente entre UD's: pomar abandonado com cerca de 10 anos na UD1, floresta sucessional com aproximadamente 10 anos de idade na UD2 e pastagem degradada com 25 anos de uso na UD3. O preparo de área foi realizado por corte e trituração (UDs 1 e 2) e gradagem (UD3).

Em cada UD escolhemos um fragmento de floresta secundária (denominada de FLO) como área de referência para comparação. Na UD1, o fragmento de floresta (FLO1) de 30 anos se estabeleceu após cultivo de *Piper nigrum*. Na UD3, o fragmento de floresta (FLO3) de 40 anos se estabeleceu após agricultura de derruba-e-queima. A floresta selecionada na UD2 (FLO2) de 20 anos não tinha histórico de uso conhecido pelo proprietário.

Também selecionamos duas áreas de monocultivo de dendezeiro, denominadas de MON1 (12 anos de idade) e MON2 (9 anos de idade). MON1 foi implantado em área previamente coberta por floresta secundária de aproximadamente 13 anos, formada após repetidos ciclos de corte-e-queima; o preparo de área consistiu de supressão da floresta com trator de esteira seguida de queima e gradagem dos resíduos remanescentes. MON2 foi implantado em uma pastagem degradada; o preparo de área foi realizado com queima. MON1 serviu de referência para os SAFs das UD's 1 e 2, enquanto que MON2 foi a referência para os

SAFs da UD3. Solo e clima das áreas de monocultivo eram semelhantes aos dos respectivos SAFs.

3.2.2 Manejo dos sistemas de produção de dendezeiro

Em cada unidade demonstrativa foram implantados dois tipos de SAF com composições de espécies diferentes (UD1 – Tabela 1, UD2 – Tabela 2 e UD3 – Tabela 3). Um tipo de SAF (doravante denominado de SAF-A) apresentava menor diversidade de espécies plantadas (Figura 1) e se baseava na associação de dendezeiro com espécies com função de adubos verdes, principalmente *G. sepium* e *I. edulis*. O outro tipo de SAF — doravante denominado de SAF-B (Figura 1) tinha maior diversidade de espécies plantadas (arbóreas e arbustivas) com objetivo de produção de frutos (principalmente *T. cacao*), madeira e outros produtos não-madeireiros, além da adubação verde. Nas UDs 1 e 3 os agricultores introduziram outras espécies (frutíferas e madeireiras) nos SAFs menos diversos, tornando-os mais diversificados.

Todos os SAFs são compostos por linhas duplas de dendezeiro intercaladas por faixas onde estão as outras espécies plantadas (doravante denominada de faixa diversificada). Mudanças do híbrido intraespecífico Tenera, com aproximadamente 15 meses de idade e 2 m de altura, foram plantadas em formato de triângulo equilátero (9.0 m x 9.0 m x 9.0 m). A largura da faixa diversificada média 15 m, exceto no SAF-B da UD1 (SAF-1B), cuja medida era 21 m. Na faixa-SAF, o cacau foi plantado com espaçamento de 3.0 m entre plantas; nas linhas de cacau foram plantadas espécies madeireiras e frutíferas, espaçadas aproximadamente 5.0 m entre si.

Em 2007, na área onde estão implantados os SAFs, foi aplicado 1,3 Mg ha⁻¹ de calcário dolomítico para a correção da acidez do solo. A adubação na cova foi uma combinação de 0,3 kg de fosfato natural reativo de Arad e 10 kg de carvão vegetal moído, por planta de dendê, assim como para as espécies da faixa-SAF (Tabela 4).

A adubação de manutenção dos SAFs foi realizada como descrito na Tabela 4. No decorrer dos anos foi realizada periodicamente a adição de fitomassa proveniente da poda das espécies da Faixa-SAF. Nos SAFs e monocultivo as folhas podadas da palma de óleo foram depositadas ao lado das linhas de plantio da cultura (Figura 2).

Na implantação do monocultivo, em 2006, 800 g de superfosfato triplo foram aplicados por cova. Em 2007, foram aplicados 200 g de uréia, 100 g de cloreto de potássio (KCl), 100 g de sulfato de magnésio (MgSO₄), 13 g de borax e 8 g de fonte micronutrientes (Zincop 101) por planta. A adubação de manutenção foi realizada com NPK (12-2-20).

Coletamos amostras de solo em locais específicos nos SAFs e monocultivo para avaliar a variabilidade espacial de atributos do solo, a caracterização química e textural do solo dos sistemas avaliados estão descritas na Tabela 5 e Tabela 6, respectivamente. Nos SAFs coletamos em (1) zona de coroamento do dendezeiro (BAS), onde as plantas invasoras são removidas e fertilizantes e resíduos de cacho vazios são aplicados; (2) carreador (CAR), a área de tráfego de maquinário e onde o único manejo é a roçagem das gramíneas; (3) empilhamento (PIL), a área onde são depositadas as folhas podadas de dendezeiro; e (4) faixa diversificada (Faixa-SAF) (Figura 2). Nos monocultivos coletamos em BAS, CAR e PIL. A área relativa ocupada por cada zona de manejo está descrita na Tabela 7.

3.2.3 Coleta e processamento de amostras

Definimos cinco parcelas medindo 22,5 m × 18 m nos SAFs e monocultivos e 10 m × 10 m nas florestas secundárias. Nos SAFs, cada parcela incluía uma fila dupla de dendezeiro no centro e duas faixa-SAF (Figura 2). Nos monocultivos, as parcelas incluíam duas filas duplas de dendezeiro e duas zonas de empilhamento.

Foram coletadas amostras deformadas de solo na camada 0-10 cm em março de 2018 em FLO-3 e julho de 2018 nas outras áreas. Em cada local de amostragem, reunimos cinco amostras simples para formar uma composta. Os locais de amostragem nos SAFs e monocultivos foram supramencionados; nas florestas secundárias, coletamos duas amostras compostas por parcela em locais aleatórios. Após secagem ao ar, peneiramos as amostras a 2 mm e as moemos a 100 mesh para as análises químicas.

O teor de carbono oxidável por permanganato de potássio (C-POX) segundo Weil et al. (2003). Em tubos de centrífuga com capacidade para 50 mL, pesamos 2,5 g de solo e adicionamos 20 mL de KMnO_4 0,02 M em CaCl_2 0,1 M a pH 7,2. As amostras foram agitadas por 2 minutos a 180 rpm em mesa agitadora de movimento orbital e, em seguida, decantadas por 10 minutos. Adicionamos 0,2 mL do sobrenadante e 10 mL de água destilada para diluição em tubo de ensaio e determinamos a absorvância a 550 nm em espectrofotômetro *Bioespectro* SP-220.

A mudança nas concentrações de KMnO_4 foi utilizada para estimar o total de C oxidado de acordo com a equação 1. Desse modo, assumiu-se que 1 mM KMnO_4 é consumido na oxidação de 0,75 mM de carbono (9 g).

$$\text{POx} - \text{C} (\text{g kg}^{-1}) = [0,02 \text{ M} - (a + b \times \text{absorbancia})] \times (9 \text{ g Cmol}^{-1}) \times \left(\frac{0,02 \text{ L solução}}{0,0025 \text{ kg solo}} \right) \quad (1)$$

Onde 0.02 M é a molaridade da solução de KMnO_4 , a é a interceptação, b é a inclinação da curva padrão, g é a massa de C oxidada por 1 mol de MnO_4 , 0.02 L é o volume de solução de KMnO_4 utilizada na reação e 0.0025 kg é a massa de solo usada.

3.2.4 Análise estatística

Para testar os efeitos dos sistemas de uso do solo sobre o C-POX foi utilizada a ANOVA de um fator. Foi empregada a ANOVA de dois fatores para testar o efeito de: a) interação entre tipos de plantio de dendezeiro (SAFs e MON) e zonas de manejo (CAR, BAS e PIL) e b) interação entre tipos de SAFs e zonas de manejo (CAR, BAS, PIL e Faixa-SAF) sobre o conteúdo de C-POX. Aplicou-se o teste de comparação de médias de Tukey a 5% de probabilidade.

3.2 Resultados

3.3.1 Teor de C-POX em diferentes sistemas de cobertura do solo

O teor de C-POX foi afetado significativamente pelo efeito de sistemas em todas as UD's (UD1: $p < 0,001$, UD2: $p < 0,001$ e UD3: $p = 0,004$). De modo geral, o teor de C-POX nos SAFs foi igual ao de FLO e maior que o de MON, exceto na UD2, onde o teor de C-POX foi maior em SAF-2B do que em FLO-2. Os sistemas agroflorestais das três unidades demonstrativas apresentaram teor de C-POX maior que seus respectivos sistemas de referência: MON1 ($691 \pm 21 \text{ mg kg}^{-1}$) e MON2 ($635 \pm 38 \text{ mg kg}^{-1}$) (Figura a, b e c). Não houve diferença significativa entre os SAFs 1-B ($946 \pm 67 \text{ mg kg}^{-1}$) e 1-A ($1062 \pm 50 \text{ mg kg}^{-1}$) (Figura a), assim como entre SAF3-B ($784 \pm 17 \text{ mg kg}^{-1}$) e SAF3-A ($812 \pm 34 \text{ mg kg}^{-1}$) (Figura c). Na UD2, o SAF2-B (1048 ± 27) apresentou conteúdo de C-POX significativamente maior que o de SAF2-A ($902 \pm 47 \text{ mg kg}^{-1}$) (Figura b). Na UD1, não houve diferença significativa entre os SAFs e a FLO1 ($883 \pm 89 \text{ mg kg}^{-1}$) (Figura a). Na UD2, o teor de C-POX do SAF-2B foi maior que a FLO2 ($806 \pm 41 \text{ mg kg}^{-1}$) (Figura b).

3.3.2 Distribuição espacial de C-POX nas zonas de manejo influenciadas pelo dendezeiro

Em todos as UDs, a distribuição espacial do teor de C-POX seguiu o padrão $PIL > BAS = CAR$ (Tabela 8), com efeito significativo (UD1: $p=0,004$, UDs 2 e 3: $p<0,001$). Apesar do efeito das interações entre sistemas e zonas de manejo não ter sido significativo, houve uma forte tendência de teores mais elevados de C-POX nas zonas de manejo dos sistemas agroflorestais em relação aos das monoculturas, que apresentaram teores de C-POX similares entre si (Tabela 8).

Em geral, os SAFs apresentaram teores de C-POX significativamente mais altos do que os monocultivos nas três UDs ($p<0,001$) (Tabela 8). Nas UDs 1 e 3, teor de C-POX não diferiu entre SAFs; na UD2, o teor de C-POX foi significativamente maior no SAF-2B do que no SAF-2A (Tabela 8).

3.3.3 Distribuição espacial de carbono oxidável por permanganato de potássio nas zonas de manejo dos sistemas agroflorestais

O teor de C-POX foi afetado significativamente por sistemas (UD1 e 2: $p<0,001$ e UD3: $p=0,035$), e locais (UD1: $p=0,024$ e UD2: $p<0,002$), exceto na UD3, mas não pela interação entre esses fatores (Tabela 9). A distribuição espacial de C-POX apresentou padrões distintos entre as UDs: $PIL = Faixa-SAF \geq BAS \geq CAR$ na UD1; $PIL \geq Faixa-SAF \geq BAS = CAR$ na UD2; e $PIL > Faixa-SAF > BAS > CAR$ na UD3.

O teor de C-POX variou entre SAFs nas UDs 1 e 2 (Tabela 9). Na UD1 o teor de C-POX foi maior em SAF-1A do que em SAF-1B (Tabela 9). Ao contrário, na UD2, o teor de C-POX foi maior em SAF-2B do que em SAF-2A.

3.3 Discussão

3.4.1 Teor de carbono oxidável por permanganato de potássio em diferentes sistemas de uso do solo

De modo geral, o padrão de variação de C-POX nas três UDs foi $SAFs=FLO>MON$. Contudo, a magnitude desses valores foi distinta entre as três UDs, o que pode estar relacionado ao uso prévio da terra. O teor de C-POX foi sensível para diferenciar o impacto dos sistemas

avaliados sobre o solo, consistente com outros estudos que avaliaram diferentes usos da terra em áreas subtropicais (GU et al., 2016) e tropicais (RAMESH et al., 2015; SHARMA et al., 2014).

Era esperado que as florestas apresentassem níveis de C-POX mais elevados que os demais sistemas (AUMTONG et al., 2009; BENBI et al., 2015; SHARMA et al., 2014): visto que as florestas são consideradas como sistemas ecologicamente mais estáveis que sistemas agrícolas, que geralmente sofrem constantes intervenções no solo, possibilitando maior oxidação da matéria orgânica (HOK et al., 2015). No entanto, os teores de C-POX nos SAFs foram, de modo geral, iguais aos encontrados nas florestas, o que nós sugerimos que ocorra devido ao aporte de C via adubação orgânica e poda periódica de espécies como *T. cacao*, *G. sepium* e *E. guineensis*.

O histórico de uso das áreas parece influenciar o teor de C-POX encontrado na maioria dos sistemas, exceto para os monocultivos. Os maiores valores de C-POX encontrados nos SAFs das UD1 e 2 provavelmente estão relacionados com o maior aporte de material orgânico no momento de preparo da área, visto que esses eram um pomar e uma floresta sucessional, respectivamente. Enquanto que os SAFs da UD3 eram uma pastagem degradada. Estudos reportam que o C-POX tem grande afinidade com frações mais recalcitrantes de carbono do solo (CULMAN et al., 2012a), principalmente a molécula de lignina (SKJEMSTAD; SWIFT; MCGOWAN, 2006), que está presente em grande quantidade em resíduos de material lenhoso, como o encontrado nas UD1 e 2. Assim, sugerimos que o teor de C-POX ainda reflete efeitos dos sistemas de cobertura anteriores à implantação dos SAFs.

Nos monocultivos, a diferença na composição da vegetação anterior à implantação dos sistemas parece não ter influenciado no teor de C-POX, uma vez que os teores foram muito semelhantes, sendo o MON-1 (histórico de uso: floresta sucessional) apenas 5% maior que o MON-2 (histórico de uso: pastagem). Nós sugerimos que esses resultados estão relacionados as baixas entradas de C orgânico no solo desses sistemas, que se dão basicamente pelo empilhamento das folhas podadas, que são consideradas de baixa qualidade devido à grande proporção de C:nutrientes (YUSUYIN; TAN; WONG, 2015).

Além do histórico de uso, nós sugerimos que os teores de C-POX dos SAFs são grandemente influenciados pela diversidade de espécies e pelo manejo. A diversidade de espécies está relacionado à adição frequente de C orgânico ao solo proveniente do *litterfall* e raízes, que diferem na qualidade de C e quantidade de acordo com a espécie (HOK et al., 2015; SÁ et al., 2018; SCHNEIDEWIND et al., 2019). O manejo via adubação orgânica promove maior oferta de nutrientes e C responsáveis pelo maior acúmulo de C na fração lábil do solo

(GRUVER, 2015; LIU et al., 2018), que nos SAFs estudados é realizada com composto orgânico de origem animal e vegetal, cachos vazios de dendê, resíduos da indústria de dendê e torta de mamona.

Ainda não há consenso em relação à composição do C-POX. Alguns estudos relacionam o C-POX a uma fração de C mais processada (CALDERÓN et al., 2017; CULMAN et al., 2012; PADRE; LADHA, 2004; SKJEMSTAD; SWIFT; MC GOWAN, 2006), enquanto outros estudos sugerem que carboidratos simples, açúcares, e exsudatos de raízes compõem esta fração de C (BLAIR; LEFROY; LISLE, 1995). Apesar das divergências quanto à natureza do material oxidado, nossos resultados indicam que o C-POX é um eficiente indicador do tipo de manejo adotado (HURISSO et al., 2016) e de qualidade do solo (FINE; SCHINDELBECK, 2017).

3.4.2 Distribuição espacial de carbono do solo oxidável por permanganato de potássio nas zonas de manejo de sistemas de produção de dendezeiro e em sistemas agroflorestais com dendezeiro

Nossos resultados ratificam a interferência das zonas de manejo nas frações de C do solo em plantios de dendezeiro (FRAZÃO et al., 2013, 2014; LAW et al., 2010; RAHMAN et al., 2018). De modo geral, em todos os sistemas avaliados o teor de C-POX foi maior no empilhamento em relação a base do dendezeiro e carreador, consistente com estudos em monocultivo de dendezeiro no Brasil (FRAZÃO et al., 2013, 2014) e Malásia (HARON et al., 1998; LAW et al., 2010; RAHMAN et al., 2018).

A alta concentração dessa fração de C no empilhamento pode estar relacionada a frequente deposição das folhas podadas de dendezeiro no monocultivo, e nos SAFs, além do dendezeiro, ao material vegetativo do cacau. A maior concentração de nutrientes e C nessa zona atraem as raízes de dendê para esse sentido. Na zona de manejo base da palma, a entrada de C no solo é por meio da ciclagem de raízes oriundas da própria planta, da adubação química, no monocultivo e orgânica, nos SAFs, e. No carreador, a entrada de C é resultante da rápida ciclagem de material orgânico das gramíneas.

De modo geral, o padrão encontrado para as zonas de manejo dos SAFs para o C-POX foi Faixa-SAF=PIL>BAS>CAR. A faixa-SAF contribuiu significativamente para o aumento dos teores de C orgânico do solo em relação às demais zonas de manejo, conforme encontrado em sistemas agroflorestais com dendezeiro na Amazônia (CARVALHO et al., 2014; RAMOS et al., 2018). Assim como a zona de empilhamento, na faixa-SAF, existe uma entrada contínua

de serapilheira formando uma camada permanente de *litteira* sobre o solo, o que possibilita um frequente aporte de carbono nessa zona.

3.4 Conclusão

Os nossos resultados sugerem que os SAFs baseados em dendezeiro são alternativas mais eficientes que os monocultivos na melhoria da qualidade do solo com base no C-POX. As práticas de manejo nas áreas influenciaram no teor de C-POX dos sistemas, sendo esse eficaz para diferenciar zonas de maior e menos deposição de material orgânico. O C-POX é um indicador apropriado para identificar mudanças na dinâmica da matéria orgânica e na qualidade do solo.

3.5 Considerações finais

Pouco se sabe sobre as frações lábeis da matéria orgânica do solo em sistemas agroflorestais baseados em dendezeiro, monocultivo e florestas na Amazônia, por isso existe a necessidade de se avaliar as demais frações para validar os resultados encontrados. É interessante que se avalie o C-POX com mais frequência a fim de conhecer a dinâmica dessa fração nesses sistemas, pois a determinação de C-POX é um método de fácil execução, de baixo custo e sensível a diferenças no manejo, o que o caracteriza como um eficiente indicador de qualidade do solo.

Com base nos resultados encontrados, sugere-se que os sistemas agroflorestais com dendezeiro são uma alternativa viável para produção de dendezeiro sustentável. Além disso, recomenda-se a manutenção das zonas de maior deposição de material orgânico oriundo dos SAFs (empilhamento e Faixa-SAF) ou distribuição das folhas podadas de dendezeiro por toda área dos sistemas de produção de dendezeiro, a fim de proporcionar a melhoria da qualidade do solo de toda a área e maior acúmulo de C orgânico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUS, F. et al. Historical CO₂ emissions from land use and land use change from the oil palm industry in Indonesia, Malaysia and Papua New Guinea. **Reports from the Technical Panels of RSPOs 2nd Greenhouse Gas Working Group**, p. 65–88, 2013.
- ANDERSON, T. H.; DOMSCH, K. H. The metabolic quotient for CO₂ (qCO₂) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 25, n. 3, p. 393–395, 1993.
- ASHRAF, M. et al. Alley-cropping system can boost arthropod biodiversity and ecosystem functions in oil palm plantations. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 260, n. 19–26, 2018.
- ASMAH, S. et al. Effects of polyculture and monoculture farming in oil palm smallholdings on tropical fruit-feeding butterfly diversity. **Agricultural and Forest Entomology**, v. 19, n. 1, p. 70–80, 2017.
- AUMTONG, S. et al. Relating soil carbon fractions to land use in sloping uplands in northern Thailand. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 131, n. 3–4, p. 229–239, 2009.
- BAAH-ACHEAMFOUR, M. et al. Carbon pool size and stability are affected by trees and grassland cover types within agroforestry systems of western Canada. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 213, p. 105–113, 2015.
- BENAMI, E. et al. Oil palm land conversion in Pará, Brazil, from 2006-2014: Evaluating the 2010 Brazilian Sustainable Palm Oil Production Program. **Environmental Research Letters**, v. 13, n. 3, 2018.
- BENBI, D. K. et al. Total and labile pools of soil organic carbon in cultivated and undisturbed soils in northern India. **Geoderma**, v. 237, p. 149–158, 2015.
- BHAGWAT, S. A.; WILLIS, K. J. Agroforestry as a solution to the oil-palm debate. **Conservation Biology**, v. 22, n. 6, p. 1368–1369, 2008.
- BLAIR, G. J.; LEFROY, R. D. B.; LISLE, L. Soil carbon fractions based on their degree of oxidation, and the development of a carbon management index for agricultural systems. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 46, p. 1459–1466, 1995.
- BORGES, A. DE J.; COLLICCHIO, E.; CAMPOS, G. A. A cultura da palma de óleo (*Elaeis*

guineenses Jacq.) no Brasil e no mundo: aspectos agronômicos e tecnológicos -uma revisão. **Revista Liberato**, v. 17, n. 27, p. 01–118, 2016.

BRASIL. Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel. p. 48, 2008.

BRASIL. **Diagnóstico da produção sustentável da palma de óleo**. Brasília: 2018.

BRIENZA JUNIOR, S.; GAZEL YARED, J. A. Agroforestry systems as an ecological approach in the Brazilian Amazon development. **Forest Ecology and Management**, v. 45, n. 1–4, p. 319–323, 1991.

BRUUN, T. B. et al. Improved sampling methods document decline in soil organic carbon stocks and concentrations of permanganate oxidizable carbon after transition from swidden to oil palm cultivation. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 178, p. 127–134, 2013.

BÜNEMANN, E. K. et al. **Soil quality – A critical review** **Soil Biology and Biochemistry**, 2018.

BUTLER, R. A.; LAURANCE, W. F. Is oil palm the next emerging threat to the Amazon? **Tropical Conservation Science**, v. 2, n. 1, p. 1–10, 2009.

CALDERÓN, F. J. et al. Quantification of Soil Permanganate Oxidizable C (POXC) Using Infrared Spectroscopy. **Soil Science Society of America Journal**, v. 81, n. 2, p. 277, 2017.

CAMBARDELLA, C. A.; ELLIOTT, E. T. Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence. **Soil Science Society of America Journal**, v. 56, n. 3, p. 777–783, 1992.

CAMBARDELLA, C. A.; ELLIOTT, E. T. Methods for physical separation and characterization of soil organic matter fractions. **Geoderma**, v. 56, p. 449–457, 1993.

CAMPBELL, C. A. et al. Seasonal trends in soil biochemical attributes: Effects of crop management on a Black Chernozem. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 79, n. 1, p. 85–97, 1999.

CARLSON, K. M. et al. Committed carbon emissions, deforestation, and community land conversion from oil palm plantation expansion in West Kalimantan, Indonesia. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 109, n. 19, p. 7559–7564, 2012.

CARVALHO, W. R. et al. Short-term changes in the soil carbon stocks of young oil palm-

based agroforestry systems in the eastern Amazon. **Agroforestry Systems**, v. 88, n. 2, p. 357–368, 2014.

CASANOVA-LUGO, F. et al. Environmental services from tropical agroforestry systems. **Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y del Ambiente**, v. 22, p. 269–284, 2016.

CASTELLANI, D. C. et al. Espécies adubadeiras como fonte de nutrientes para o cultivo de dendê (*Elaeis Guineensis*) em sistemas agrofloretais , Tomé-Açu (PA). 2010.

CHAN, K. Y.; BOWMAN, A.; OATES, A. Oxidizable organic carbon fractions and soil quality changes in an oxic paleustalf under different pasture leys. **Soil Science**, v. 166, n. 1, p. 61–67, 2001.

CULMAN, S. W. et al. Permanganate Oxidizable Carbon Reflects a Processed Soil Fraction that is Sensitive to Management. **Soil Science Society of America Journal**, 2012a.

CULMAN, S. W. et al. Permanganate Oxidizable Carbon Reflects a Processed Soil Fraction that is Sensitive to Management. v. 76, n. 2, 2012b.

CUNHA, T. J. DA; MENDES, A. M. S.; GIONGO, V. Matéria orgânica do solo. Embrapa Semiárido-Capítulo em livro científico (ALICE). In: **Recurso solo: propriedades e usos**. São Carlos: 2015. p. 273–293.

CURRY, G. N.; BUE, V.; KOCZBERSKI, G. Oil palm, food security and adaptation among smallholder households in Papua New Guinea. **Asia Pacific Viewpoint**, 2012.

DIEKOW, J. et al. Carbon and nitrogen stocks in physical fractions of a subtropical Acrisol as influenced by long-term no-till cropping systems and N fertilisation. **Plant and Soil**, v. 268, p. 319–328, 2005.

FINE, A. K.; SCHINDELBECK, R. R. Statistics, Scoring Functions, and Regional Analysis of a Comprehensive Soil Health Database. **Soil & Water Management & Conservation Statistics**, v. 81, p. 589–601, 2017.

FRAZÃO, L. A. et al. Soil carbon stocks and changes after oil palm introduction in the Brazilian Amazon. **GCB Bioenergy**, v. 5, n. 4, p. 384–390, 2013.

FRAZÃO, L. A. et al. Soil carbon stocks under oil palm plantations in Bahia State, Brazil. **Biomass and Bioenergy**, v. 62, p. 1–7, 2014.

GÉRARD, A. et al. Oil-palm yields in diversified plantations: Initial results from a biodiversity

enrichment experiment in Sumatra, Indonesia. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 240, p. 253–260, 2017.

GOH, K. J.; NG, P. H. C.; LEE, C. T. Fertilizer management and productivity of oil palm in Malaysia. **AAR Newsletter**, p. 2–24, 2009.

GOODRICK, I. et al. Soil carbon balance following conversion of grassland to oil palm. **GCB Bioenergy**, v. 7, p. 263–272, 2015.

GREGORICH, E. G. et al. Towards a minimum data set to assess soil organic matter quality in agricultural soils. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 74, p. 367–385, 1994.

GRUVER, J. Evaluating the Sensitivity and Linearity of a Permanganate-Oxidizable Carbon Method. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 46, n. 4, p. 490–510, 2015.

GU, C. et al. Dynamic changes of soil surface organic carbon under different mulching practices in citrus orchards on sloping land. **PLoS ONE**, v. 11, n. 12, p. 1–16, 2016.

GUILLAUME, T. et al. Sensitivity and resistance of soil fertility indicators to land-use changes: New concept and examples from conversion of Indonesian rainforest to plantations. **Ecological Indicators**, v. 67, p. 49–57, 2016.

GUILLAUME, T.; DAMRIS, M.; KUZYAKOV, Y. Losses of soil carbon by converting tropical forest to plantations: Erosion and decomposition estimated by $\delta^{13}\text{C}$. **Global Change Biology**, v. 21, n. 9, p. 3548–3560, 2015.

HARON, K. et al. Microbial biomass and soil organic matter dynamics in oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) plantations, West Malaysia. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 30, n. 5, p. 547–552, 1998.

HOK, L. et al. Short-term conservation agriculture and biomass-C input impacts on soil C dynamics in a savanna ecosystem in Cambodia. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 214, p. 54–67, 2015.

HOMMA. **Cronologia do Cultivo do Dendezeiro na Amazônia** Belém, 2016.

HURISSO, T. T. et al. Comparison of Permanganate-Oxidizable Carbon and Mineralizable Carbon for Assessment of Organic Matter Stabilization and Mineralization. **Soil Science Society of America Journal**, 2016.

IPEA. *Marcha das Margaridas : perfil socioeconômico e condições de vida das mulheres*

trabalhadoras do campo e da floresta - Relatório de pesquisa. 2013.

JENKINSON, D. S. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil-IV. The decomposition of fumigated organisms in soil. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 8, n. 3, p. 203–208, 1976.

JENKINSON, D. S.; POWLSON, D. S. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil-V. A method for measuring soil biomass. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 8, p. 209–213, 1976.

JOSE, S. Agroforestry for ecosystem services and environmental benefits: An overview. **Agroforestry Systems**, v. 76, n. 1, p. 1–10, 2009.

KARLEN, D. L. et al. Soil Quality: A Concept, Definition, and Framework for Evaluation (A Guest Editorial). **Soil Science Society of America Journal**, v. 61, n. 1, p. 4, 1997.

KASS, D. C. L.; SYLVESTER-BRADLEY, R.; NYGREN, P. The role of nitrogen fixation and nutrient supply in some agroforestry systems of the Americas. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 29, n. 5–6, p. 775–785, 1997.

KATO, O. R. et al. Projeto Dendê em Sistemas Agroflorestais na Agricultura Familiar. **Congresso Brasileiro De Sistemas Agroflorestais**, v. 8, n. 1, p. 7, 2011.

KITAMURA, P. C. Valoração de serviços ambientais em sistemas agroflorestais : métodos , problemas e perspectivas. 2003.

KOH, L. P.; LEVANG, P.; GHAZOUL, J. Designer landscapes for sustainable biofuels. **Trends in Ecology and Evolution**, v. 24, n. 8, p. 431–438, 2009.

KOH, L. P.; WILCOVE, D. S. Is oil palm agriculture really destroying tropical biodiversity? **Conservation Letters**, v. 1, n. 2, p. 60–64, 2008.

KUSS, V. V. et al. Potential of biodiesel production from palm oil at Brazilian Amazon. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 50, p. 1013–1020, 2015.

LAW, M. C. et al. Spatial variability of soil organic Carbon in oil palm. **International Journal of Soil Science**, v. 4, p. 93–103, 2010.

LIU, H. et al. 16-Year fertilization changes the dynamics of soil oxidizable organic carbon fractions and the stability of soil organic carbon in soybean-corn agroecosystem. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 265, n. June, p. 320–330, 2018.

MCLAUCHLAN, K. K. Effects of soil texture on soil carbon and nitrogen dynamics after cessation of agriculture. **Geoderma**, v. 136, p. 289–299, 2006.

MICCOLIS, A. et al. **Restauração ecológica com Sistemas Agroflorestais: Como conciliar conservação com produção**. Brasília: 2016.

MONTAGNINI, F.; NAIR, P. K. R. Carbon sequestration: An underexploited environmental benefit of agroforestry systems. **Agroforestry Systems**, v. 61–62, n. 1–3, p. 281–295, 2004.

MONTEIRO DE CARVALHO, C. et al. Deforested and degraded land available for the expansion of palm oil for biodiesel in the state of Pará in the Brazilian Amazon. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 44, p. 867–876, 2015.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. Microbiologia e Biotecnologia do Solo. **Editora UFLA**, v. ed. 2, p. 729, 2006.

NAHRAWI, H.; HUSNI, M. H. A.; RADZIAH, O. Labile Carbon and Carbon Management Index in Peat Planted with Various Crops. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 43, n. 12, p. 1647–1657, 2012.

NAIR, P. K. R. Carbon sequestration studies in agroforestry systems: A reality-check. **Agroforestry Systems**, v. 86, n. 2, p. 243–253, 2012.

NCHANJI, Y. K. et al. Efficacy of oil palm intercropping by smallholders. Case study in South-West Cameroon. **Agroforestry Systems**, v. 90, p. 509–519, 2016.

NELSON, P. N. et al. Methods to account for tree-scale variability in soil- and plant-related parameters in oil palm plantations. **Plant and Soil**, v. 374, p. 459–471, 2014.

NEUPANE, R. P.; THAPA, G. B. Impact of agroforestry intervention on farm income under the subsistence farming system of the middle hills, Nepal. **Agroforestry Systems**, v. 53, p. 31–37, 2001.

OLIVEIRA, J. S. R. et al. Evaluation of sustainability in Eastern Amazon under proambiente program. **Agroforestry Systems**, v. 78, n. 3, p. 185–191, 2010.

OREWA, S. I. Designing agricultural development projects for the small scale farmers: Some lessons from the World Bank Assistance Small holder Oil Palm development scheme in Nigeria. **Journal of Applied Sciences**, v. 8, p. 295–301, 2008.

PACHÊCO, N. A.; BASTOS, T. X.; CREÃO, L. G. C. Boletim Agrometeorológico de 2008

para Tomé-Açu, PA. p. 38, 2009.

PADRE, A.; LADHA, J. Assessing the Reliability of Permanaganate-Oxidizable Carbon as an Index of Soil Labile Carbon. **Soil Science Society of America Journal**, 2004.

PAUL, E. A. A.; MORRIS, S. J. J.; BÖHM, S. The determination of soil C pool sizes and turnover rates: biophysical fractionation and tracers. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 133, n. 1–2, p. 48–60, 2001.

POLLINI, J. Agroforestry and the search for alternatives to slash-and-burn cultivation: From technological optimism to a political economy of deforestation. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, 2009.

RAHMAN, N. et al. Changes in soil organic carbon stocks after conversion from forest to oil palm plantations in Malaysian Borneo. **Environmental Research Letters**, v. 13, n. 10, 2018.

RAMALHO FILHO, A. et al. **Zoneamento Agroecológico, Produção e Manejo para a Cultura da Palma de Óleo na Amazônia**. v. 1, 2010.

RAMESH, T. et al. Assessment of soil organic carbon stocks and fractions under different agroforestry systems in subtropical hill agroecosystems of north-east India. **Agroforestry Systems**, v. 89, n. 4, p. 677–690, 2015.

RAMOS, H. M. N. et al. Above- and belowground carbon stocks of two organic, agroforestry-based oil palm production systems in eastern Amazonia. **Agroforestry Systems**, v. 92, n. 2, p. 221–237, 2018.

ROSSI, C. Q. et al. Frações orgânicas e índice de manejo de carbono do solo em Latossolo Vermelho sob plantio de soja no cerrado goiano. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 7, n. 2, p. 233–241, 2012.

SÁ, J. C. et al. Soil carbon fractions and biological activity based indices can be used to study the impact of land management and ecological successions. **Ecological Indicators**, v. 84, n. January 2017, p. 96–105, 2018.

SCHLOTTER, M.; DILLY, O.; MUNCH, J. C. Indicators for evaluating soil quality. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 98, p. 255–262, 2003.

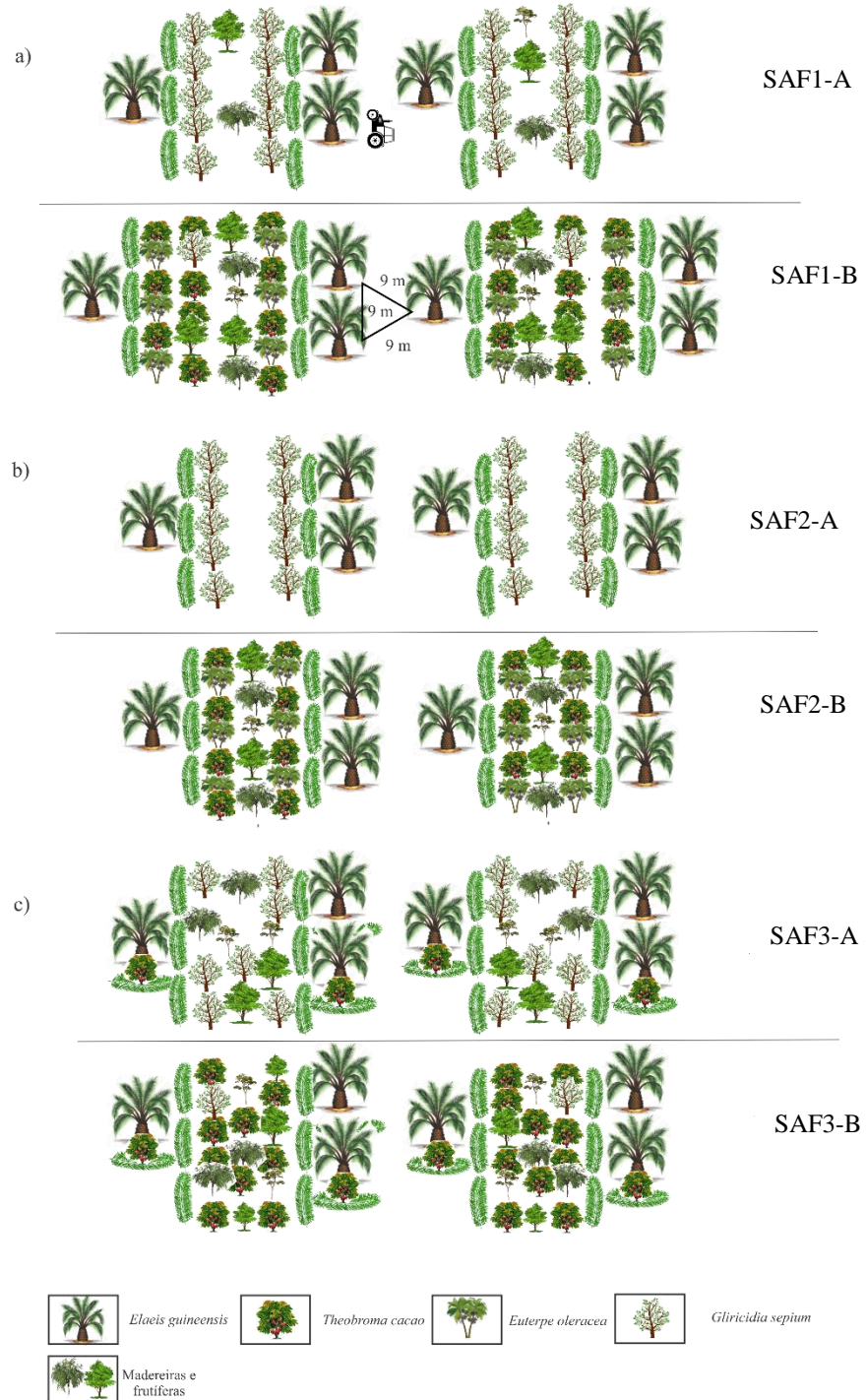
SCHMIDT, M. W. I. et al. Persistence of soil organic matter as an ecosystem property. **Nature**, v. 478, n. 7367, p. 49–56, 2011.

- SCHNEIDEWIND, U. et al. Carbon stocks, litterfall and pruning residues in monoculture and agroforestry cacao production systems. **Experimental Agriculture**, v. 55, n. 3, p. 452–470, 2019.
- SHANG, C.; TIESSEN, H. Carbon turnover and Carbon-13 natural abundance in organo-mineral fractions of a tropical dry forest soil under cultivation. **Soil Science Society of America Journal**, v. 64, p. 2149–2155, 2000.
- SHARMA, V. et al. Labile carbon pools and soil organic carbon stocks in the foothill Himalayas under different land use systems. **Geoderma**, v. 232–234, p. 81–87, 2014.
- SHEIL, D. et al. **The impacts and opportunities of oil palm in Southeast Asia: What do we know and what do we need to know?** Bogor, Indonesia: 2009.
- SILVA, C. M. et al. Variação temporal do efluxo de CO₂ do solo em sistemas agroflorestais com palma de óleo na amazônia oriental. **Acta Amazonica**, v. 46, n. 1, p. 1–12, 2016.
- SILVA XAVIER, F. A. et al. Biomassa microbiana e matéria orgânica leve em solos sob sistemas agrícolas orgânico e convencional na Chapada da Ibiapaba - CE. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 30, p. 247–258, 2006.
- SILVER, W. L. et al. Effects of soil texture on belowground carbon and nutrient storage in a lowland Amazonian forest ecosystem. **Ecosystems**, v. 3, p. 193–209, 2000.
- SIX, J. et al. Stabilization mechanisms of soil organic matter: Implications for C-saturation of soils. **Plant and Soil**, v. 241, p. 155–176, 2002.
- SKJEMSTAD, J. O.; SWIFT, R. S.; MCGOWAN, J. A. Comparison of the particulate organic carbon and permanganate oxidation methods for estimating labile soil organic carbon. **Australian Journal of Soil Research**, v. 44, p. 255–263, 2006.
- SOLLINS, P.; HOMANN, P.; CALDWELL, B. A. Stabilization and destabilization of soil organic matter: Mechanisms and controls. **Geoderma**, v. 74, p. 65–105, 1996.
- SOMMER, R.; DENICH, M.; VLEK, P. L. G. Carbon storage and root penetration in deep soils under small-farmer land-use systems in the Eastern Amazon region, Brazil. **Plant and Soil**, v. 219, p. 231–241, 2000.
- SOUZA, P. A. R. et al. A agricultura familiar e a geração de renda na Amazônia: uma abordagem empreendedora no município de Parintins AM. p. 1–17, 2013.

- STROSSER, E. Methods for determination of labile soil organic matter: An overview. **Journal of Agrobiology**, v. 27, n. 2, p. 49–60, 2010.
- SYAFIQ, M. et al. Responses of tropical fruit bats to monoculture and polyculture farming in oil palm smallholdings. **Acta Oecologica**, v. 74, p. 11–18, 2016.
- TORRES, C. M. M. E. et al. Sistemas Agroflorestais no Brasil: Uma abordagem sobre a estocagem de carbono. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 34, n. 79, p. 235, 2014.
- VAN VLIET, N. et al. Trends, drivers and impacts of changes in swidden cultivation in tropical forest-agriculture frontiers: A global assessment. **Global Environmental Change**, v. 22, n. 2, p. 418–429, 2012.
- VANCE, E. D.; BROOKES, P. C.; JENKINSON, D. S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 19, n. 6, p. 703–707, 1987.
- VILLA, P. M. et al. Intensification of shifting cultivation reduces forest resilience in the northern Amazon. **Forest Ecology and Management**, v. 430, p. 312–320, 2018.
- VOSTI, S. A.; WITCOVER, J. Slash-and-burn agriculture - Household perspectives. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 58, p. 23–38, 1996.
- WALKLEY, A.; BLACK, I. An examination of the Degtjareff method for determining organic carbon in soils: effect of variations in digestion conditions and of inorganic soil constituents. **Soil Science**, v. 27, n. 1, p. 29–38, 1934.
- WEIL, R. R. et al. Estimating active carbon for soil quality assessment: A simplified method for laboratory and field use. **American Journal of Alternative Agriculture**, v. 18, n. 1, p. 3–17, 2003.
- YEOMANS, J. C.; BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 19, n. 13, p. 1467–1476, 1988.
- YUSUYIN, Y.; TAN, N. P.; WONG, M. K. Nutrient status of frond heaps and the underlying soils at an 18-year-old oil palm field in Central Pahang, Malaysia. **Tropical Agriculture and Development**, v. 59, n. 4, p. 212–220, 2015.

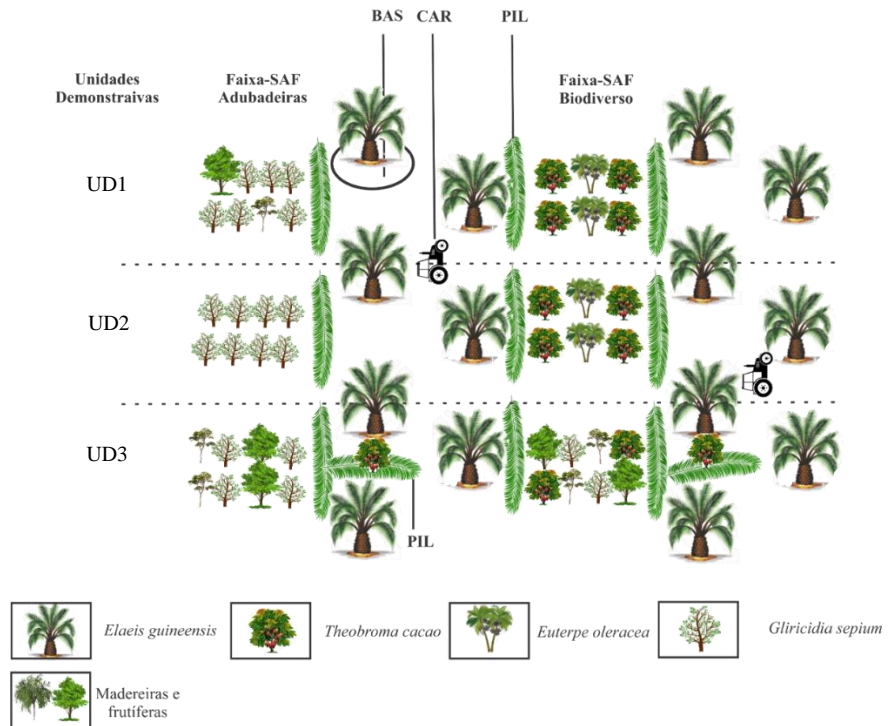
Figuras

Figura 1 Sistemas agroflorestais baseados em palma de óleo. a) SAF A e B – UD1; b) SAF Adubadeiras e Biodiverso – UDII e c) SAF Adubadeiras e Biodiverso – UDIII.



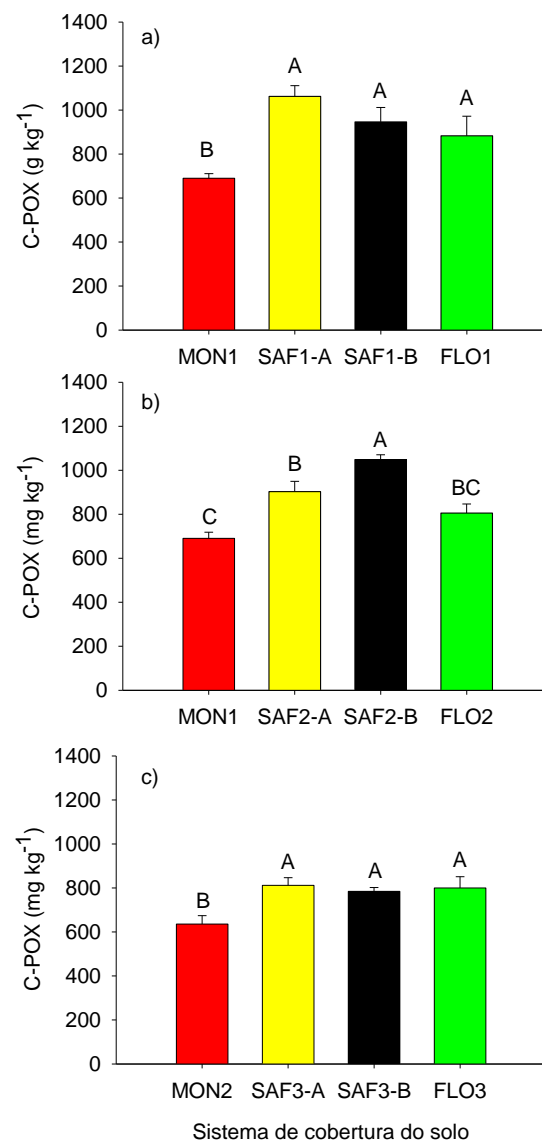
Fonte: Autora.

Figura 2 Disposição dos pontos de coleta em sistemas agroflorestais com dendezeiro nas unidades demonstrativas. CAR: Carreador; BAS: Área de coroamento; PIL: Empilhamento; Faixa-SAF: Faixa diversificada.



Fonte: Autora.

Figura 3 Carbono do solo oxidável por KMnO_4 em diferentes sistemas de uso da terra, nas unidades demonstrativas do Projeto SAF-Dendê: a) UD1, b) UD2 e c) UD3, em Tomé-Açu, Pará. As barras representam a média aritmética ponderada \pm Erro padrão ($n=5$). Letras maiúsculas diferentes acima das barras de erro significam diferenças significativas entre os sistemas de cobertura do solo pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. SAF-B: sistema agroflorestal mais biodiverso; SAF-A: Sistema agroflorestal menos biodiverso; MON- Monocultivo de dendezeiro e; FLO-floresta sucessional.



Fonte: Autora.

Tabelas

Tabela 1 Espécies plantadas em sistemas agroflorestais com dendezeiro (SAF-B sistemas agroflorestais mais biodiverso, SAF-A: sistemas agroflorestais menos biodiversos) na UD1 do Projeto SAF-Dendê, no município de Tomé-Açu, Pará. O tempo de permanência da espécie nos sistemas está sinalizado com células hachuradas.

| SAF | Espécie | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 |
|------------------------------|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| SAF-B | <i>Adenanthera pavonina</i> | | | | | | | | | | | |
| | <i>Bertholletia excelsa</i> | | | | | | | | | | | |
| | <i>Cajanus cajan</i> | | | | | | | | | | | |
| | <i>Calopogonium mucunoides</i> | | | | | | | | | | | |
| | <i>Canavalia ensiformis</i> | | | | | | | | | | | |
| | <i>Crotalaria juncea</i> | | | | | | | | | | | |
| | <i>Desmodium sp.</i> | | | | | | | | | | | |
| | <i>Elaeis guineensis</i> Jacq. | | | | | | | | | | | |
| | <i>Euterpe oleracea</i> Mart. | | | | | | | | | | | |
| | <i>Hymenaea courbaril</i> | | | | | | | | | | | |
| | <i>Inga edulis</i> Mart. | | | | | | | | | | | |
| | <i>Mangifera indica</i> L. | | | | | | | | | | | |
| | <i>Mucuna cinereum</i> | | | | | | | | | | | |
| | <i>Musa paradisiaca</i> L. | | | | | | | | | | | |
| | <i>Pentaclethra macroloba</i> | | | | | | | | | | | |
| | <i>Pueraria phaseoloides</i> (Roxb.) Benth | | | | | | | | | | | |
| | <i>Tabebuia sp.</i> | | | | | | | | | | | |
| <i>Theobroma cacao</i> Linn. | | | | | | | | | | | | |
| <i>Tithonia diversifolia</i> | | | | | | | | | | | | |
| <i>Vigna unguiculata</i> | | | | | | | | | | | | |
| <i>Virola surinamensis</i> | | | | | | | | | | | | |
| SAF-A | <i>Cajanus cajan</i> | | | | | | | | | | | |
| | <i>Calopogonium mucunoides</i> | | | | | | | | | | | |
| | <i>Canavalia ensiformis</i> | | | | | | | | | | | |
| | <i>Carapa guineenses</i> Aubl. | | | | | | | | | | | |
| | <i>Crotalaria juncea</i> | | | | | | | | | | | |
| | <i>Desmodium sp.</i> | | | | | | | | | | | |
| | <i>Elaeis guineensis</i> Jacq. | | | | | | | | | | | |
| | <i>Gliricidia sepium</i> | | | | | | | | | | | |
| | <i>Inga edulis</i> | | | | | | | | | | | |
| | <i>Mucuna cinereum</i> | | | | | | | | | | | |
| | <i>Piper nigrum</i> | | | | | | | | | | | |
| | <i>Pueraria phaseoloides</i> (Roxb.) Benth | | | | | | | | | | | |
| | <i>Tabebuia sp.</i> | | | | | | | | | | | |
| <i>Tithonia diversifolia</i> | | | | | | | | | | | | |
| <i>Vigna unguiculata</i> | | | | | | | | | | | | |

Fonte: Priscila Barros e Natura.

Tabela 2 Espécies plantadas em sistemas agroflorestais com dendezeiro (SAF-B sistemas agroflorestais mais biodiverso, SAF-A: sistemas agroflorestais menos biodiversos) na UD2 do Projeto SAF-Dendê, no município de Tomé-Açu, Pará O tempo de permanência da espécie nos sistemas está sinalizado com células hachuradas.

| SAF | Espécie | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 |
|------------------------------|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| SAF-B | <i>Acacia mangium</i> Willd. | | | | | | | | | | | |
| | <i>Adenanthera pavonina</i> | | | | | | | | | | | |
| | <i>Cajanus cajan</i> | | | | | | | | | | | |
| | <i>Calophyllum brasiliense</i> Cambess. | | | | | | | | | | | |
| | <i>Calopogonium mucunoides</i> | | | | | | | | | | | |
| | <i>Canavalia ensiformis</i> | | | | | | | | | | | |
| | <i>Carapa guineenses</i> Aubl. | | | | | | | | | | | |
| | <i>Crotalaria juncea</i> | | | | | | | | | | | |
| | <i>Desmodium</i> sp | | | | | | | | | | | |
| | <i>Elaeis guineensis</i> Jacq. | | | | | | | | | | | |
| | <i>Euterpe oleracea</i> Mart. | | | | | | | | | | | |
| | <i>Hymenaea courbaril</i> | | | | | | | | | | | |
| | <i>Inga edulis</i> Mart. | | | | | | | | | | | |
| | <i>Mangifera indica</i> L. | | | | | | | | | | | |
| | <i>Mucuna cinereum</i> | | | | | | | | | | | |
| | <i>Musa paradisiaca</i> L. | | | | | | | | | | | |
| | <i>Pueraria phaseoloides</i> (Roxb.) Benth | | | | | | | | | | | |
| | <i>Oenocarpus mapora</i> H. Karsten | | | | | | | | | | | |
| | <i>Sclerolobium paniculatum</i> | | | | | | | | | | | |
| | <i>Spondias lutea</i> L. | | | | | | | | | | | |
| <i>Tabebuia</i> sp. | | | | | | | | | | | | |
| <i>Theobroma cacao</i> Linn. | | | | | | | | | | | | |
| <i>Tithonia diversifolia</i> | | | | | | | | | | | | |
| <i>Vigna unguiculata</i> | | | | | | | | | | | | |
| SAF-A | <i>Cajanus cajan</i> | | | | | | | | | | | |
| | <i>Calopogonium mucunoides</i> | | | | | | | | | | | |
| | <i>Canavalia ensiformis</i> | | | | | | | | | | | |
| | <i>Crotalaria juncea</i> | | | | | | | | | | | |
| | <i>Desmodium</i> sp. | | | | | | | | | | | |
| | <i>Elaeis guineensis</i> Jacq. | | | | | | | | | | | |
| | <i>Gliricidia sepium</i> | | | | | | | | | | | |
| | <i>Inga edulis</i> | | | | | | | | | | | |
| | <i>Mucuna cinereum</i> | | | | | | | | | | | |
| | <i>Pueraria phaseoloides</i> (Roxb.) Benth | | | | | | | | | | | |
| | <i>Tithonia diversifolia</i> | | | | | | | | | | | |
| | <i>Vigna unguiculata</i> | | | | | | | | | | | |

Fonte: Priscila Barros e Natura.

Tabela 3 Espécies plantadas em sistemas agroflorestais com dendezeiro (SAF-B sistemas agroflorestais mais biodiverso, SAF-A: sistemas agroflorestais menos biodiversos) na UD3 do Projeto SAF-Dendê, no município de Tomé-Açu, Pará. O tempo de permanência da espécie nos sistemas está sinalizado com células hachuradas.

| SAF | Espécie | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | |
|-------------------------------|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--|
| SAF-B | <i>Acacia mangium</i> Willd | | | | | | | | | | | | |
| | <i>Bixa orellana</i> L. | | | | | | | | | | | | |
| | <i>Cajanus cajan</i> | | | | | | | | | | | | |
| | <i>Calopogonium mucunoides</i> | | | | | | | | | | | | |
| | <i>Canavalia ensiformis</i> | | | | | | | | | | | | |
| | <i>Calophyllum brasiliense</i> Cambess. | | | | | | | | | | | | |
| | <i>Crotalaria juncea</i> | | | | | | | | | | | | |
| | <i>Desmodium</i> sp. | | | | | | | | | | | | |
| | <i>Elaeis guineensis</i> Jacq. | | | | | | | | | | | | |
| | <i>Gliricidia sepium</i> Jacq. | | | | | | | | | | | | |
| | <i>Inga edulis</i> Mart. | | | | | | | | | | | | |
| | <i>Mangifera indica</i> L. | | | | | | | | | | | | |
| | <i>Mucuna cinereum</i> | | | | | | | | | | | | |
| | <i>Musa paradisiaca</i> L. | | | | | | | | | | | | |
| | <i>Passiflora edulis</i> | | | | | | | | | | | | |
| | <i>Piper nigrum</i> | | | | | | | | | | | | |
| | <i>Platonia insignis</i> Mart. | | | | | | | | | | | | |
| | <i>Pueraria phaseoloides</i> (Roxb.) Benth | | | | | | | | | | | | |
| | <i>Spondias lutea</i> L. | | | | | | | | | | | | |
| | <i>Swietenia macrophylla</i> King | | | | | | | | | | | | |
| <i>Tabebuia</i> sp. | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Theobroma cacao</i> Linn. | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Theobroma grandiflorum</i> | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Tithonia diversifolia</i> | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Vigna unguiculata</i> | | | | | | | | | | | | | |
| SAF-A | <i>Acacia mangium</i> | | | | | | | | | | | | |
| | <i>Adenantha pavonina</i> | | | | | | | | | | | | |
| | <i>Artocarpus heterophyllus</i> | | | | | | | | | | | | |
| | <i>Bertholletia excelsa</i> | | | | | | | | | | | | |
| | <i>Bixa orellana</i> L. | | | | | | | | | | | | |
| | <i>Cajanus cajan</i> | | | | | | | | | | | | |
| | <i>Calopogonium mucunoides</i> | | | | | | | | | | | | |
| | <i>Canavalia ensiformis</i> | | | | | | | | | | | | |
| | <i>Carapa guineenses</i> Aubl. | | | | | | | | | | | | |
| | <i>Crotalaria juncea</i> | | | | | | | | | | | | |
| | <i>Desmodium</i> sp | | | | | | | | | | | | |
| | <i>Elaeis guineensis</i> Jacq. | | | | | | | | | | | | |
| | <i>Gliricidia sepium</i> | | | | | | | | | | | | |
| | <i>Inga edulis</i> | | | | | | | | | | | | |
| | <i>Mangifera indica</i> L. | | | | | | | | | | | | |
| | <i>Manihot esculenta</i> | | | | | | | | | | | | |
| | <i>Mucuna cinereum</i> | | | | | | | | | | | | |
| | <i>Pueraria phaseoloides</i> (Roxb.) Benth | | | | | | | | | | | | |
| | <i>Spondias lutea</i> L. | | | | | | | | | | | | |
| | <i>Theobroma cacao</i> Linn. | | | | | | | | | | | | |
| <i>Theobroma grandiflorum</i> | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Tithonia diversifolia</i> | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Vigna unguiculata</i> | | | | | | | | | | | | | |

Fonte: Priscila Barros e Natura.

Tabela 4 Tipos e taxas de aplicação de fertilizantes e calcário nos sistemas agroflorestais com dendezeiro nas unidades demonstrativas do Projeto SAF-Dendê no município de Tomé-Açu, Pará.

| Insumos externos | Unidade | Palma de óleo | | | | | | | | | | | Faixa-SAF | | | | | | | |
|---------------------------------------|---------------------|---------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|-----------|-------|------|-------|------|------|------|-----|
| | | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2008 | 2017 | | 2018 | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | Cacau | Açaí | Cacau | Açaí | | | |
| Calcário dolomítico ^a | Mg ha ⁻¹ | 1,3 | | | | | | | | | | | | 2,05 | | | | | | |
| Fosfato de Arad ^b | kg pI ⁻¹ | 0,3 | | 1,0 | 1,5 | | | | | | | | | 0,7 | 2,5 | 0,3 | 0,7 | 0,7 | 2,5 | 2,5 |
| Moinha de carvão ^c | kg pI ⁻¹ | 10,0 | | | | | | | | | | | | | | 10,0 | | | | |
| Cama de Frango ^d | L pI ⁻¹ | 10,0 | | | | | | | | | | | | | | 10,0 | | | | |
| Composto da CAMTA ^e | L pI ⁻¹ | 40,0 | 40,0 | | | | | | | | | | | | | 40,0 | | | | |
| Farinha de Osso ^f | kg pI ⁻¹ | 0,0 | 1,0 | 0,5 | 0,5 | | | | | | | | | | | | | | | |
| Torta de Mamona ^g | kg pI ⁻¹ | 0,0 | 2,0 | 2,0 | 4,0 | | | | | | | | | | | | | | | |
| Torta de dendê ^h | kg pI ⁻¹ | 0,0 | | | | | | | | 30,0 | 30,0 | 40,0 | | | | 30,0 | 30,0 | 40,0 | 40,0 | |
| Cacho vazio de dendê ⁱ | kg pI ⁻¹ | 0,0 | | 100,0 | 221,0 | 150,0 | 200,0 | 240,0 | 240,0 | | | | | | | 9,0 | 2,6 | 2,6 | 9,0 | 9,0 |
| Polissulfato de potássio ^j | kg pI ⁻¹ | 0,0 | | 0,0 | | | | | | | | | | | 2,6 | | | | | |
| Sulfato de potássio ^k | kg pI ⁻¹ | 0,0 | | 0,0 | | | 0,8 | 0,8 | 0,4 | 1,8 | | | | | | | | | | |
| FTEBR12 ^l | kg pI ⁻¹ | 0,0 | | 0,3 | 0,2 | | | | | | | | | | | | | | | |
| Bórax | kg pI ⁻¹ | 0,0 | | 0,1 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Produbor 10 ^m | kg pI ⁻¹ | 0,0 | | | | | | | | | | | | 0,1 | | | | 0,1 | | |
| Yoorin ⁿ | kg pI ⁻¹ | 0,0 | | | | | | | | | | | 1,5 | | | | | | | |

Fonte: Adaptado de Ramos et al., 2017.

^aAplicação em toda a área dos SAFs. ^bP:10%; Ca:37%. ^cK:5,9%; Ca: 15,4%; Mg:2,8%. ^dN: 0,8%; P: 0,4%; K: 0,3%. Mg: 0,10%. Ca: 0,23%; S: 0,03%. ^eN: 2%; P2O5: 20%; K2O: 0,12%; Mg: 0,24%; Ca: 30%; C/N: 9. ^fN: 5,44%; P2O5: 1,91%; K2O: 1,54%; Mg: 0,5%; Ca: 1,8%; C/N: 10. ^gN:2,4%; P:0,56%; K: 0,61%; Ca: 4%; Mg:0,01%; S:0,4%; B:0,05%; Zn: 0,01%. ^hN: 0,33%; P: 0,04%; K:0,55%; Mg: 0,09%; Ca: 0,28%; S:0,04%. ⁱK:14%; Ca:12%; Mg:3,5%; S:19%. ^jK:50%; S:18%. ^kS:3,9%; B:1,8%; Zn:9%; Mn: 2%; Cu:0,85%. ^lB:10% ^mP:16%; Ca:18%; Mg:7%; S:6%;B:0,1%; Zn:0,55%

Tabela 5 Caracterização química do solo dos sistemas de produção de dendezeiro (SAF-B sistemas agroflorestais mais biodiverso, SAF-A: sistemas agroflorestais menos biodiversos e MON: monocultivo de dendezeiro) e áreas de referências (FLO) das três unidades do Projeto SAF-Dendê no município de Tomé-Açu, Pará.

| Unidade demonstrativa | Sistema de cobertura do solo | pH (CaCl ₂) | P (Mehlich I) | K | Ca | Mg | Al | H+Al | CTC | V |
|-----------------------|------------------------------|-------------------------|---------------|-------|-----|-----|-----|------|-----|------|
| | | | | | | | | | | |
| UD1 | SAF-B | 5,1 | 24,3 | 55,5 | 3,6 | 1,2 | 0,1 | 3,3 | 8,2 | 59,5 |
| | SAF-A | 5,2 | 21,3 | 58,0 | 3,3 | 1,0 | 0,0 | 2,5 | 6,9 | 63,5 |
| | MON | 4,3 | 10,0 | 28,0 | 1,9 | 0,5 | 0,3 | 5,8 | 8,3 | 29,7 |
| | FLO | 4,1 | 15,0 | 30,0 | 1,4 | 0,5 | 0,2 | 7,8 | 9,8 | 20,0 |
| UD2 | SAF-B | 5,6 | 21,8 | 103,5 | 4,3 | 1,1 | 0,0 | 1,9 | 7,5 | 74,3 |
| | SAF-A | 5,4 | 15,8 | 66,5 | 4,0 | 1,7 | 0,0 | 2,4 | 8,2 | 70,8 |
| | MON | 4,3 | 10,0 | 28,0 | 1,9 | 0,5 | 0,3 | 5,8 | 8,3 | 29,7 |
| | FLO | 4,2 | 3,0 | 34,0 | 1,3 | 0,5 | 0,3 | 6,1 | 8,0 | 24,0 |
| UD3 | SAF-B | 5,3 | 33,7 | 37,0 | 3,0 | 1,3 | 0,0 | 2,9 | 7,3 | 59,3 |
| | SAF-A | 5,2 | 13,0 | 43,0 | 3,4 | 1,6 | 0,0 | 2,8 | 8,0 | 63,0 |
| | MON | 4,7 | 10,7 | 50,0 | 2,1 | 0,9 | 0,0 | 3,7 | 5,0 | 43,7 |

Tabela 6 Caracterização textural dos solos sistemas agroflorestais com dendezeiro (SAF-B sistemas agroflorestais mais biodiverso, SAF-A: sistemas agroflorestais menos biodiversos e MON: monocultivo de dendezeiro) e áreas de referências (FLO) das três unidades do Projeto SAF-Dendê no município de Tomé-Açu, Pará.

| Unidade demonstrativa | Sistema de cobertura do solo | Areia | Silte | Argila | Textura |
|-----------------------|------------------------------|--------------------|-------|--------|---------|
| | | g kg ⁻¹ | | | |
| UD1 | SAF-B | 620 | 135 | 245 | Média |
| | SAF-A | 585 | 140 | 275 | Média |
| | MON | 557 | 153 | 290 | Média |
| | FLO | 770 | 110 | 120 | Arenosa |
| UD2 | SAF-B | 678 | 133 | 190 | Média |
| | SAF-A | 690 | 133 | 178 | Média |
| | MON | 557 | 153 | 290 | Média |
| | FLO | 710 | 90 | 200 | Média |
| UD3 | SAF-B | 755 | 105 | 140 | Arenosa |
| | SAF-A | 680 | 107 | 213 | Média |
| | MON | 850 | 57 | 93 | Arenosa |

Tabela 7 Área relativa (%) ocupada pelas zonas de manejo área de coroamento (BAS), carreador (CAR), empilhamento (PIL) e faixa diversificada (Faixa-SAF) em sistemas de produção de dendezeiro em Tomé-Açu, Nordeste Paraense.

| Unidade demonstrativa | Sistema de produção de dendezeiro | Zonas de manejo | | | |
|---------------------------|-----------------------------------|-----------------|-------|-------|-----------|
| | | BAS | CAR | PIL | Faixa-SAF |
| UD1 | SAF-B | 19,32 | 14,52 | 12,96 | 53,2 |
| | SAF-A | 29,51 | 20,84 | 19,8 | 29,85 |
| UD2 | SAF-B | 21,79 | 18,92 | 12,54 | 46,75 |
| | SAF-A | 25,74 | 24,69 | 11,22 | 38,35 |
| UD3 | SAF-B | 18,24 | 20,07 | 24,64 | 37,5 |
| | SAF-A | 21,57 | 20,5 | 20,5 | 37,2 |
| Monocultura de dendezeiro | MON 1 e 2 | 32,58 | 45,74 | 21,7 | - |

Tabela 8 Carbono do solo oxidável por KMnO_4 (mg kg^{-1}) em zonas de manejo influenciadas pelo dendezeiro (CAR: Carreador, BAS: Área de coroamento do dendezeiro e PIL: Empilhamento das folhas de poda do dendezeiro) em três sistemas de uso da terra (SAF-B: sistemas agroflorestais mais biodiverso, SAF-A: sistemas agroflorestais menos biodiversos e MON: monocultivo de dendezeiro), em Tomé-Açu, Pará.

| Unidade demonstrativa | Sistemas | Zona de manejo influenciada pelo dendezeiro | | | |
|-----------------------|----------|---|------------------|------------------|-------------|
| | | PIL ^a | BAS ^a | CAR ^a | Média |
| UD1 | SAF-B | 1066 ± 84 | 922 ± 100 | 718 ± 98 | 902 ± 110 A |
| | SAF-A | 1138 ± 71 | 1065 ± 32 | 914 ± 72 | 1039 ± 71 A |
| | MON1 | 1001 ± 92 | 612 ± 49 | 599 ± 115 | 738 ± 103 B |
| | Média | 1069 ± 81 a | 866 ± 107 b | 744 ± 89 b | |
| UD2 | SAF-B | 1213 ± 46 | 976 ± 32 | 812 ± 33 | 1000 ± 83 A |
| | SAF-A | 986 ± 85 | 858 ± 81 | 792 ± 61 | 879 ± 80 C |
| | MON1 | 1002 ± 92 | 612 ± 49 | 599 ± 115 | 738 ± 103 B |
| | Média | 1067 ± 86 a | 815 ± 88 b | 734 ± 59 b | |
| UD3 | SAF-B | 970 ± 31 | 675 ± 62 | 623 ± 23 | 756 ± 81 AB |
| | SAF-A | 1022 ± 30 | 784 ± 64 | 598 ± 54 | 802 ± 93 A |
| | MON2 | 1004 ± 61 | 561 ± 59 | 513 ± 35 | 693 ± 113 B |
| | Média | 999 ± 41 a | 674 ± 71 b | 578 ± 42 b | |

Tabela 9 Carbono do solo oxidável por KMnO_4 (mg kg^{-1}) em diferentes zonas de manejo (CAR: Carreador, BAS: Área de coroamento do dendezeiro, PIL: Empilhamento das folhas de poda do dendezeiro e Faixa-SAF: faixa diversificada) em dois sistemas de uso da terra (SAF-B: sistemas agroflorestais mais biodiversos e SAF-A: sistemas agroflorestais menos biodiversos), em Tomé-Açu, Pará.

| Unidade demonstrativa | Sistema | Zona de manejo dos sistemas agroflorestais com dendezeiro | | | | |
|-----------------------|---------|---|------------------------|------------------|------------------|-------------|
| | | PIL ^a | Faixa-SAF ^a | BAS ^a | CAR ^a | Média |
| UD1 | SAF-B | 1066 ± 85 | 996 ± 59 | 922 ± 101 | 718 ± 98 | 926 ± 100 B |
| | SAF-A | 1139 ± 71 | 1090 ± 55 | 1065 ± 33 | 914 ± 72 | 1052 ± 67 A |
| | Média | 1103 ± 75 a | 1043 ± 58 a | 993 ± 78 ab | 817 ± 94 b | |
| UD2 | SAF-B | 1212 ± 46 | 1152 ± 44 | 976 ± 32 | 812 ± 33 | 1038 ± 81 A |
| | SAF-A | 986 ± 85 | 984 ± 37 | 868 ± 81 | 792 ± 62 | 908 ± 82 B |
| | Média | 1100 ± 84 a | 1068 ± 55 ab | 922 ± 64 bc | 802 ± 47 c | |
| UD3 | SAF-B | 970 ± 31 | 859 ± 24 | 675 ± 62 | 623 ± 23 | 782 ± 73 A |
| | SAF-A | 1022 ± 30 | 841 ± 20 | 784 ± 64 | 598 ± 34 | 812 ± 81 A |
| | Média | 997 ± 31 a | 850 ± 21 b | 730 ± 65 c | 610 ± 39 d | |

**ANEXO A - SISTEMA AGROFLORESTAL MAIS BIODIVERSO (SAF-B) NA
UNIDADE DEMONSTRATIVA 2**



**ANEXO B - SISTEMA AGROFLORESTAL MENOS BIODIVERSO (SAF-A) NA
UNIDADE DEMONSTRATIVA 2**



ANEXO C - SISTEMA DE MONOCULTIVO DE DENDEZEIRO (MONOCULTIVO1)

APÊNDICE D – MAPA DE LOCALIZAÇÃO DAS UNIDADES DEMONSTRATIVAS E MONOCULTIVOS DE DENDEZEIRO NO MUNICÍPIO DE TOMÉ-AÇU

