



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais

Larissa Paulina Souza Pinheiro

EFLUXO DE DIÓXIDO DE CARBONO DO SOLO NA TRANSIÇÃO
FLORESTA-SISTEMA AGROFLORESTAL NO MUNICÍPIO DE TOMÉ AÇU,
PARÁ

Belém-PA

2015

LARISSA PAULINA SOUZA PINHEIRO

EFLUXO DE DIÓXIDO DE CARBONO DO SOLO NA TRANSIÇÃO FLORESTA-
SISTEMA AGROFLORESTAL NO MUNICÍPIO DE TOMÉ AÇU, PARÁ

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais, do Instituto de Geociências, da Universidade Federal do Pará em convênio com o Museu Paraense Emílio Goeldi e Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária da Amazônia Oriental, como requisito para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

Área de concentração: Clima e Dinâmica
Socioambiental na Amazônia
Orientador: Dr. Steel Silva Vasconcelos

Belém

2015

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFPA

Pinheiro, Larissa Paulina Souza, 1990-
Efluxo de dióxido de carbono do solo na transição
floresta-sistema agroflorestal no município de tomé açu,
pará / Larissa Paulina Souza Pinheiro. - 2015.

Orientador: Steel Silva Vasconcelos.
Dissertação (Mestrado) - Universidade
Federal do Pará, Instituto de Geociências,
Programa de Pós-Graduação em Ciências
Ambientais, Belém, 2015.

1. Solos - Tomé-Açu (PA). 2. Respiração do
solo. 3. Palmeira oleaginosa - Tomé-Açu (PA). I.
Título.

CDD 22. ed. 631.498115

LARISSA PAULINA SOUZA PINHEIRO

EFLUXO DE DIÓXIDO DE CARBONO DO SOLO NA TRANSIÇÃO FLORESTA-
SISTEMA AGROFLORESTAL NO MUNICÍPIO DE TOMÉ AÇU, PARÁ

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais, do Instituto de Geociências, da Universidade Federal do Pará, em convênio com o Museu Paraense Emílio Goeldi e Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária da Amazônia Oriental, como requisito para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

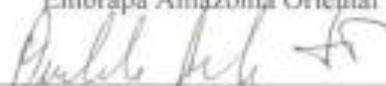
Data de aprovação: 31 / 08 / 2015

Conceito: _____

Banca Examinadora:



Prof. Steel Silva Vasconcelos – Orientador
Doutor em Recursos e Conservação Florestais
Embrapa Amazônia Oriental



Prof. Osvaldo Ryohei Kato – Membro
Doutor em Agricultura Tropical
Embrapa Amazônia Oriental



Prof. Alessandro Carioca de Araújo – Membro
Doutor em Ciências Geoambientais
Embrapa Amazônia Oriental



Prof. Everaldo Barreiros de Souza – Membro
Doutor em Meteorologia
Universidade Federal do Pará

AGRADECIMENTOS

Agradeço,

Ao universo e sua energia divina por todos os encontros e desencontros da vida que me fortalecem e amadurecem minha mente e meu espírito a cada dia.

Aos meus pais Onilda e Juarez, que estão comigo desde sempre me amando e apoiando incondicionalmente minhas escolhas. Todo o meu amor, respeito e gratidão a vocês!

Às amigas Juliana, Nara e Izabela que me escolheram para dividir seu amor e companheirismo. Estamos juntas na busca do descobrimento e crescimento espiritual!

Às mais novas amigas e companheiras de trabalho, Saime e Mábia, por toda atenção e doação que me ofertaram sem nem mesmo me conhecer. Sou muito grata por ter encontrado vocês no meu caminho. Nenhuma palavra de agradecimento vai bastar para o tamanho da minha gratidão. Tenho uma dívida eterna com vocês, minhas queridas! Obrigada por todo o aprendizado e trabalho duro nesses 4 meses.

Ao orientador Dr. Steel Silva Vasconcelos por aceitar o desafio que foi esse mestrado. Sem sua aposta no meu potencial e na minha evolução não sei se teria conseguido terminar essa etapa da vida profissional.

Ao coordenador do PPGCA Prof. Edson Rocha pela atenção e comprometimento com a conclusão desse mestrado e aos secretários Gheryt Alonso e Luciana Borges, incansáveis “resolvedores” de problemas!

Às incansáveis equipes de campo (Everson Rocha, Saime Rodrigues, Mábia Alcântara, Madlene Cardoso, Liliane Cunha e Helen Monique) e aos bolsistas que participaram das coletas (Raissa Lopes, William Campos e Sandro Henrique) pelas memoráveis viagens à Tomé Açú.

Aos técnicos do Laboratório de Análise de Sistemas Sustentáveis (LASS), Cléo Marcelo, Neusa Ferreira e Ivanildo Trindade, pela colaboração nesta pesquisa.

Aos financiadores desta pesquisa Natura Inovação e Tecnologia de Produtos LTDA, Cooperativa Mista de Tomé-Açú (CAMTA) e Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) e à financiadora da bolsa de mestrado Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

E, é claro, à todos os novos colegas e amigos da equipe LASS adquiridos nesse tempo de trabalho, muito obrigada pelos momentos eternos de laboratório, das festinhas “surpresas” e dos corujões.

RESUMO

O efluxo de dióxido de carbono (CO₂) do solo corresponde ao principal fluxo de carbono da biosfera para a atmosfera. Os solos tropicais, que geralmente apresentam umidade e temperatura elevadas, oferecem condições bastante propícias para a produção de CO₂, pois favorecem a decomposição da matéria orgânica, a respiração das raízes e a respiração microbiana, aumentando a emissão de CO₂ do solo para a atmosfera. As práticas de manejo do solo influenciam as variáveis controladoras do estoque de carbono e da emissão de CO₂ de solos agrícolas. Um maior entendimento dessa influência tem motivado estudos em todos os ecossistemas, os quais, entre outros objetivos, procuram identificar e/ou desenvolver práticas que aumentem o estoque de carbono e reduzam a emissão de CO₂ do solo, como é o caso dos sistemas agroflorestais (SAFs). Devido ao grande interesse científico mundial no entendimento dos processos físicos e biológicos envolvendo fluxos de CO₂ entre a superfície e a atmosfera, objetivou-se com esta pesquisa avaliar os efeitos da transição entre uma floresta secundária e sistemas agroflorestais com cultivo de palma de óleo (*Elaeis guineensis* Jaq.) sobre o efluxo de CO₂ e fatores bióticos e abióticos do solo. O experimento foi conduzido no município de Tomé Açu, Nordeste Paraense, em um projeto que avalia modelos de sistemas de produção de palma de óleo em arranjos agrosilviculturais que contemplem o produtor rural familiar. O efluxo de CO₂ do solo foi medido com sistema portátil de medição de fotossíntese (LI-6400) acoplado a uma câmara de respiração do solo. Também foram medidas a temperatura e a umidade gravimétrica do solo, a respiração basal (RB), o teor de carbono da biomassa microbiana do solo (CBMS), o teor de carbono orgânico total, o estoque de raízes finas e o estoque de serapilheira em dois SAFs e em uma floresta secundária remanescente. As medições de efluxo de CO₂ e coleta de materiais ocorreram entre janeiro e abril de 2015. O efluxo de CO₂ do solo foi influenciado principalmente pela temperatura e umidade do solo nos dois sistemas avaliados. O efeito da transição floresta-SAFs foi significativo em relação a efluxo de CO₂, raízes finas, CBMS e RB. A transição de floresta secundária para SAFs com palma de óleo e a variabilidade espacial ou arranjo das espécies dos sistemas afetam a qualidade ambiental do solo. Essas alterações devem estar ligadas a impactos decorrentes de mudanças na estrutura e na composição de espécies dos sistemas, assim como do manejo da matéria orgânica do solo.

Palavras-chave: Respiração do solo. Fatores bióticos e abióticos. Palma de óleo. Pará.

ABSTRACT

The soil carbon dioxide (CO₂) efflux corresponds to the principal flow of carbon from the biosphere to the atmosphere. Tropical soils, which usually show high moisture and temperature, offer very favorable conditions for the production of CO₂ resulting from, the decomposition of organic matter, root respiration and microbial respiration, increasing soil CO₂ emission to the atmosphere. Soil management practices influence the controlling factors of the soil carbon stock and CO₂ emission. A greater understanding of this influence has stimulated studies on all ecosystems, which, among other things, seek to identify and/or develop practices that increase carbon storage and reduce the emission of soil CO₂, as is the case of agroforestry. Due to the large global scientific interest in understanding the physical and biological processes involving CO₂ fluxes between the surface and the atmosphere, the aim of this research was to evaluate the effects of the transition from secondary forest to oil palm-based agroforestry systems on the soil CO₂ efflux and soil biotic and abiotic factors. The experiment was conducted in the municipality of Tomé Açu, northeast Pará, in a project which has been investigating models of palm oil production systems in agrosilvicultural arrangements in the context of smallholder agriculture. The soil CO₂ efflux was measured with a portable photosynthesis measurement system (LI-6400) coupled to a soil respiration chamber. We also measured soil gravimetric moisture and temperature, soil respiration (SR), microbial biomass carbon (MBC), soil organic carbon, fine roots stock and litter stock in two AFS and a remaining secondary forest. Measurements of CO₂ efflux and soil and plant sampling were taken between January and April 2015 and were carried out fortnightly. The soil CO₂ efflux was mainly influenced by soil temperature and moisture in both agroforestry systems. The forest-AFS transition significantly affected the soil CO₂ efflux, fine roots, MBC and SR. The transition from secondary forest to AFS with oil palm and the spatial variability of the species or arrangement of the systems affected the soil quality. These changes may be linked to impacts of changes in the structure and species composition of the systems and the management of soil organic matter.

Key-words: Soil respiration. Biotic and abiotic factors. Oil palm. Pará.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de localização da área de estudo.....	39
Figura 2. Croqui do arranjo das espécies no Sistema Adubadeiras (A) e do Sistema Biodiverso (B).....	41
Figura 3. Variação temporal do efluxo de CO ₂ do solo em cultivos de palma de óleo em sistemas agroflorestais com alta (Biodiverso) e baixa (Adubadeiras) diversidade de espécies cultivadas comparados com floresta secundária....	46
Figura 4. Estoque de raízes muito finas (diâmetro ≤ 1 mm) na camada 0-10 cm do solo em cultivos de palma de óleo em sistemas agroflorestais com baixa (Adubadeiras) e alta (Biodiverso) diversidade de espécies plantada. Letras diferentes indicam diferença significativa entre componentes (Tukey, $P < 0,05$).....	47
Figura 5. Respiração basal em cultivos de palma de óleo em sistemas agroflorestais com alta (Biodiverso) e baixa (Adubadeiras) diversidade de espécies e floresta secundária. Letras diferentes indicam diferença significativa entre os sistemas (Tukey, $P < 0,05$).....	48
Figura 6. Carbono da biomassa microbiana em cultivos de palma de óleo em sistemas agroflorestais com alta (Biodiverso) e baixa (Adubadeiras) diversidade de espécies e floresta secundária. Letras diferentes indicam diferença significativa entre os sistemas (Tukey, $P < 0,05$).....	49
Figura 7. Teor de carbono (A) e nitrogênio (B) do solo (camada 0-10 cm) de cultivos de palma de óleo em sistemas agroflorestais com alta (Biodiverso) e baixa (Adubadeiras) diversidade de espécies cultivadas comparados com floresta secundária.....	50
Figura 8. Efluxo de CO ₂ do solo (A), temperatura do solo (B) e umidade do solo (C) em cultivo de palma de óleo em sistema agroflorestal com baixa diversidade de espécies plantadas (Adubadeiras).....	54
Figura 9. Efluxo de CO ₂ do solo (A), temperatura do solo (B) e umidade do solo (C) em cultivo de palma de óleo em sistema agroflorestal com alta diversidade de espécies plantadas (Biodiverso).....	56

Figura 10. Estoque de raízes muito finas (diâmetro ≤ 1 mm) na camada 0-10 cm do solo em diferentes locais em sistemas agroflorestais com palma de óleo.....	58
Figura 11. Estoque de raízes muito finas (diâmetro ≤ 1 mm) na camada 0-10 cm do solo nas áreas ocupadas pelas linhas de dendê e das outras espécies (SAF) em sistemas agroflorestais com palma de óleo. Letras diferentes indicam diferença significativa entre componentes (Tukey, $P < 0,05$).....	59
Figura 12. Respiração basal em cultivos de palma de óleo em sistemas agroflorestais com alta (Biodiverso) (A) e baixa (Adubadeiras) (B) diversidade de espécies. Letras diferentes indicam diferença significativa entre coletas para cada sistema (Tukey, $P < 0,05$).....	60
Figura 13. Carbono da biomassa microbiana do solo em cultivos de palma de óleo em sistemas agroflorestais com alta (Biodiverso) (A) e baixa (Adubadeiras) (B) diversidade de espécies. Letras diferentes indicam diferença significativa entre coletas para cada sistema (Tukey, $P < 0,05$).....	61
Figura 14. Teor de carbono (A) e nitrogênio (B) do solo nos diferentes locais de amostragem.....	63

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1. Valores do teste estatístico (F) e do nível descritivo (P) das fontes de variação analisadas em cultivo de palma de óleo em sistema agroflorestal com baixa diversidade de espécies plantada (Adubadeiras) e com alta diversidade de espécies plantada (Biodiverso)..... 49
- Tabela 2. Serapilheira em (Mg ha^{-1}), considerando os locais de coleta (Pilha, SAF, Carreador e Palma), em sistemas de cultivo de palma de óleo com baixa (Adubadeiras) e alta (Biodiverso) diversidade de espécies plantadas (n=5). Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste Dunnet a 5%..... 59

SUMÁRIO

1	CONTEXTUALIZAÇÃO.....	12
2	HIPÓTESES.....	15
3	OBJETIVOS.....	16
3.1	Objetivo geral.....	16
3.2	Objetivos específicos.....	16
4	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	17
4.1	Mudanças Climáticas e os Agroecossistemas.....	17
4.2	Efluxo de CO₂ do Solo.....	19
4.3	A Biomassa Microbiana do Solo e o Efluxo de CO₂.....	22
4.4	Sistemas Agroflorestais (SAFs).....	24
4.5	A Palma de Óleo.....	26
4.6	Florestas Sucessionais (Ou Secundárias).....	27
5	EFLUXO DE DIÓXIDO DE CARBONO DO SOLO NA TRANSIÇÃO FLORESTA-SISTEMA AGROFLORESTAL NO MUNICÍPIO DE TOMÉ AÇU, PARÁ.....	29
	RESUMO.....	29
	INTRODUÇÃO.....	30
	MATERIAL E MÉTODOS.....	31
	RESULTADOS.....	39
	DISCUSSÃO.....	56
	CONCLUSÃO.....	60
	REFERÊNCIAS.....	61

	ANEXO 1 - Efluxo de CO₂ do solo (A), temperatura do solo (B) e umidade do solo (C) em cultivo de palma de óleo em sistema agroflorestal com baixa diversidade de espécies plantadas (Adubadeiras).....	65
	ANEXO 2 - Efluxo de CO₂ do solo (A), temperatura do solo (B) e umidade do solo (C) em cultivo de palma de óleo em sistema agroflorestal com alta diversidade de espécies plantadas (Biodiverso).....	66
	ANEXO 3 - Coeficiente de correlação de Pearson entre as variáveis analisadas.....	67
	ANEXO 4 – Imagens dos sistemas analisados e dos procedimentos de análise de análise das variáveis.....	68
	ANEXO 5 - Gráfico com os horários de coleta e a temperatura do solonas cinco campanhas nos três sistemas.....	70
	ANEXO 6 - Tabela com a amplitude térmica dos sistemas nas cinco campanhas.....	71
6	CONCLUSÕES.....	72
	REFERÊNCIAS.....	73

1 CONTEXTUALIZAÇÃO

O efluxo de dióxido de carbono (CO₂) do solo, ou a respiração do solo, corresponde ao principal fluxo de carbono do ecossistema para a atmosfera (RYAN; LAW, 2005). Os solos tropicais, que geralmente apresentam umidade e temperatura elevadas, oferecem condições bastante propícias para a produção de CO₂, pois favorecem a decomposição da matéria orgânica, a respiração das raízes e a respiração microbiana, aumentando a emissão de CO₂ do solo para a atmosfera (DIAS, 2006). A capacidade do solo de produzir CO₂ varia em função do: tipo de solo; sazonalidade climática regional; tipo, intensidade e qualidade das técnicas agrícolas utilizadas; umidade e temperatura do solo; tipo de plantas cultivadas e arquitetura das raízes; e quantidade de fertilizantes aplicados (MORARU; RUSU; SOPTEREAN, 2010).

O desmatamento da floresta amazônica representa a perda de um possível sumidouro de carbono (FEARNSIDE, 2003). O carbono originalmente armazenado nas florestas é liberado para atmosfera quando as árvores são queimadas e à medida que se decompõe a matéria orgânica (HOUGHTON, 2005). O manejo inadequado do solo pode levar a um rápido declínio dos estoques de carbono, colaborando para o aumento das emissões de CO₂ para a atmosfera (LAL, 1999). A produção de CO₂ no solo origina-se da respiração das raízes e da respiração microbiana na rizosfera e no solo (BUCHMANN, 2000), bem como da difusão de gases na camada superficial do solo, basicamente através da saturação hídrica (eventos microclimáticos) e da compactação do solo (técnicas de manejo).

O processo inverso à emissão de gases de efeito estufa (GEE), em particular o CO₂, é o sequestro de carbono, que pode ser definido como qualquer processo que remova esses gases da atmosfera (MORARU; RUSU; SOPTEREAN, 2010). Uma forma de amenizar os efeitos do aquecimento global é o aumento da adoção de práticas de manejo do solo que levem ao sequestro de carbono (LAW *et al.*, 2009). Em atividades agropecuárias, a redução da concentração de GEE na atmosfera pode ocorrer pela fixação do carbono no solo (MORARU; RUSU; SOPTEREAN, 2010), resultante da adoção de práticas que visem a otimização do uso dos recursos disponíveis sem exauri-los, como é o caso dos sistemas agroflorestais (SAFs).

O município de Tomé Açu, localizada no nordeste paraense, vivenciou sérios problemas fitossanitários na década de 1960 com o monocultivo da pimenta-do-reino (*Piper nigrum*). Em busca de novas alternativas e incentivados por subsídios

governamentais, os agricultores começaram a investir em diversos arranjos de SAFs com outras culturas, visto que o mercado da pimenta-do-reino tornou-se muito instável (CARVALHO, 2011).

A partir do ano de 2007, começaram a ser realizadas pesquisas no território paraense, especialmente no município de Tomé Açu, visando avaliar a viabilidade socioeconômica e ambiental de modelos de sistemas de produção de palma de óleo em arranjos agrosilviculturais que contemplassem o produtor rural familiar (SANTIAGO, 2012). Essa proposta inovadora de investigar SAFs como alternativa ao monocultivo de palma de óleo é resultado da ação conjunta de iniciativas pública e privada, por meio da parceria entre Empresa Natura Inovação e Tecnologia de Produtos LTDA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) e Cooperativa Agrícola Mista de Tomé-Açu (CAMTA). Tal parceria resultou na implantação do “Projeto dendê: sistemas agroflorestais na agricultura familiar” no município de Tomé-Açu, que é um dos maiores pólos produtores de palma de óleo da região norte do Brasil. Atualmente, Tomé Açu é considerada a capital brasileira do biodiesel (BIODIESEL, 2014) e do SAF.

A palma de óleo (*Elaeis guineensis* Jacq.) é uma cultura perene de grande porte, sendo muito útil para recobrimento de solo quando adulta. O cultivo da palma de óleo é considerado como um sistema de boa estabilidade ecológica com baixos impactos negativos ao meio ambiente (EMBRAPA, 2002), dependendo do tipo de manejo, além de proporcionar altas taxas de empregabilidade. A expansão da cultura da palma de óleo na Amazônia aumentou consideravelmente nas décadas de 1980 e 1990, incentivada por recursos oriundos de incentivos fiscais e subsídios do Governo Federal, tornando-se uma das formas agressivas de exploração da floresta primária no estado do Pará, quando se fala em monocultivo (CARVALHO, 2011).

Existem várias discussões socioeconômicas e ambientais sobre a expansão da palma de óleo no mundo, porém, o fato é que ela fornece 30% do óleo comestível do mundo (CARTER *et al.*, 2007) e, essa produção deve aumentar 9% a cada ano devido, em grande parte, à expansão do mercado de biocombustíveis na União Europeia (EUROPEAN COMMISSION, 2006) e à demanda por alimentos na Indonésia, Índia e China (CLAY, 2004). Alguns pesquisadores falam também sobre a importância dessa cultura para a redução da pobreza e desenvolvimento rural nos trópicos, já que proporciona altas taxas de empregabilidade (SARGEANT, 2001; BASIRON, 2007).

Quando se fala em biocombustíveis, admite-se que eles neutralizam o carbono, comparando-os aos combustíveis fósseis. Porém, apenas os dendezeiros plantados em

áreas degradadas com baixo teor de carbono são susceptíveis a se tornarem sumidouros de carbono líquido (GERMER; SAUERBORN, 2007). Outras questões sobre as vantagens da palma de óleo são explicitadas por Bockey (2008), quando comparada a outras oleaginosas (colza e soja), como maior teor de sequestro de carbono, menores exigências de terra e menor emissão de gases de efeito estufa (GEE) gerados durante o processo de produção do óleo (análise do ciclo de vida do produto). Portanto, o cultivo de palma de óleo possui menor pegada de carbono que outras oleaginosas.

No Brasil, diferente dos demais países produtores de óleo de palma, foi realizado um programa de zoneamento sustentável para a expansão da palma de óleo chamado “Programa de Produção Sustentável para a Palma de Óleo (PPSPO)”, que entrou em vigor em 2010, autorizando o plantio de dendê somente em áreas já desmatadas e antropizadas, como forma de recuperar essas áreas e torná-las produtivas, sem que seja necessário derrubar florestas nativas (PPSPO, 2010).

Esta preocupação com o cultivo sustentável do dendê é justificável, já que o estado do Pará é o maior produtor brasileiro, tanto de óleo de palma (óleo da polpa), quanto de óleo de palmiste (retirado da semente), responsável por 80% da produção nacional (EMBRAPA, 2001). No entanto, a participação do Brasil no mercado internacional ainda é baixa, comparando-se com os maiores produtores mundiais, porém, as limitações de disponibilidade de área nesses países tradicionalmente produtores e a necessidade que terão para produzir grãos (demanda interna) darão aos países que dispõem de área e tecnologia uma grande oportunidade de crescimento no mercado internacional (EMBRAPA, 2002).

É importante ressaltar que o estudo sobre o efluxo de CO₂ do solo em SAFs possui um caráter interdisciplinar, visto que a quantificação deste efluxo é imprescindível para a obtenção de informações sobre atividade heterotrófica (respiração microbiana), taxas de respiração das raízes, interação solo-atmosfera, energia do solo, balanço de carbono e produtividade das plantas (RAICH; BOWDEN; STEUDLER, 1990), além de os SAFs propiciarem diversificação da produção, possibilitarem otimização no uso dos recursos disponíveis (água, solo e nutrientes), podendo ser uma alternativa viável para agricultura familiar (KATO *et al.*, 2004).

Objetiva-se com esta pesquisa avaliar os efeitos da transição de uma floresta sucessional para sistemas agroflorestais com cultivo de palma de óleo sobre o efluxo de CO₂ e fatores bióticos e abióticos do solo no município de Tomé Açu, no nordeste paraense.

2 HIPÓTESES

- **H₁:** A conversão de floresta secundária para sistemas agroflorestais com palma de óleo afeta o efluxo de CO₂ e fatores bióticos e abióticos do solo.
- **H₂:** A composição de espécies vegetais dos sistemas agroflorestais com palma de óleo influencia o efluxo de CO₂ do solo e fatores bióticos e abióticos.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

Avaliar os efeitos da transição de uma floresta sucessional para sistemas agroflorestais com cultivo de palma de óleo sobre o efluxo de CO₂ e fatores bióticos e abióticos do solo no município de Tomé Açu, no nordeste paraense.

3.2 Objetivos específicos

- Avaliar a variação temporal e espacial do efluxo de CO₂ do solo em cultivos de palma de óleo em sistemas agroflorestais e floresta secundária;
- Avaliar a variação temporal e espacial de variáveis bióticas (carbono da biomassa microbiana do solo, respiração basal, carbono orgânico total, estoque de raízes finas e estoque de serapilheira) e abióticas (temperatura e umidade do solo) em sistemas agroflorestais e floresta secundária;
- Analisar a relação entre o efluxo de CO₂ do solo e fatores bióticos e abióticos.

4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

4.1 Mudanças Climáticas e os Agroecossistemas

Existem evidências históricas de que a Terra passa por mudanças climáticas periodicamente desde a sua origem, com ou sem interferência humana. O clima da Terra, portanto, varia naturalmente de extremos de temperaturas com idades de gelo de até 100 mil anos sucedidas por períodos quentes mais curtos, semelhantes ao que se encontra atualmente (PEIXOTO; MARTINS; SILVA, 2001). Estes períodos quentes só acontecem porque a atmosfera terrestre é constituída por gases que permitem a passagem da radiação solar e absorvem parte do calor emitido pela superfície terrestre (MOLION, 1995).

Os GEE absorvem parte da energia advinda da superfície da Terra, sendo responsável pela manutenção térmica do planeta, constituindo-se como o fenômeno chamado de Efeito Estufa. Molion (1995) afirma que o efeito estufa é um fenômeno natural que mantém a temperatura média do ar na superfície terrestre em torno de 15 °C. Caso este não ocorresse, a temperatura média do planeta seria de, aproximadamente, 18 °C abaixo de zero, o que não permitiria existência de vida na Terra. Cabe destacar que grande parte do efeito estufa natural se deve à presença de água na atmosfera (vapor d'água com 85 % e partículas de água com 12 %) devido esta possuir grande absorvidade na atmosfera (TOLENTINO; ROCHA-FILHO, 1998).

Entretanto, o que se discute atualmente é o agravamento desse efeito resultante da emissão demasiada de GEE, como dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O) pelas atividades humanas e o próprio vapor d'água (H₂O) devido o ciclo hidrológico, que pode causar o aumento médio da temperatura do ar na superfície do planeta. Entre os GEE, o CO₂, depois do vapor d'água, é o gás que mais contribui para o aquecimento global devido à quantidade em que é emitido, o que o torna prioridade nas discussões sobre mudanças climáticas globais.

A floresta amazônica deve sofrer grandes impactos decorrentes dessas mudanças climáticas por meio de suas interações com a variabilidade natural do clima, por exemplo, o El Niño, exploração madeireira, fragmentação florestal e incêndios (FEARNSIDE, 1985). O aquecimento e esfriamento das águas superficiais do Oceano Pacífico Tropical correspondem aos fenômenos El Niño e La Niña, respectivamente, que interferem no regime de ventos sobre toda a região equatorial do Pacífico. O El

Niño, um dos fenômenos mais importantes para a região amazônica, resulta em mudanças na posição do regime de chuvas do Oceano Pacífico, causando alterações climáticas em várias regiões continentais, inclusive no Brasil, onde os efeitos mais marcantes deste fenômeno são o aumento da seca na região Nordeste e na Amazônia, e o aumento da chuva na região Sul (MARENGO, 2007).

É importante destacar a participação da agricultura nas emissões de GEE de origem antrópica, onde, globalmente, é responsável por 23 % das emissões oriundas de práticas agrícolas (15 %) e mudança do uso da terra (8 %). Porém, o cenário brasileiro é bastante diferente, pois sua agricultura contribui com 75 % das emissões de CO₂ e mais de 90 % de CH₄ e N₂O, reflexo das queimadas na região amazônica, da grande área cultivada e do rebanho de bovinos, entre outras atividades. Nesse cenário, a mitigação dessas emissões no Brasil envolve a identificação ou desenvolvimento de sistemas de produção agropecuária com potencial de retenção de CO₂ atmosférico na matéria orgânica do solo e redução das emissões de CH₄ e N₂O para a atmosfera (COSTA; ZANATTA; BAYER, 2008).

No solo, o CO₂ é gerado na decomposição aeróbia da matéria orgânica e/ou de resíduos vegetais por microrganismos heterotróficos e na respiração de raízes (PAUL; CLARK, 1996). A emissão de CO₂ do solo à atmosfera é influenciada por fatores ambientais (climáticos e edáficos) ao longo do ano e entre anos, e pelas práticas agrícolas inerentes aos diferentes sistemas de manejo. As variações estacionais da temperatura do ar e do solo e da umidade do solo, como resultado de precipitações pluviométricas, modificam os processos microbianos e a intensidade destes, alterando as emissões de CO₂, independente do sistema de manejo do solo adotado (COSTA; ZANATTA; BAYER, 2008).

As práticas de manejo do solo influenciam as variáveis controladoras do estoque de carbono e da emissão de CO₂ de solos agrícolas. Um maior entendimento dessa influência tem motivado estudos em todos os ecossistemas, os quais, entre outros objetivos, procuram identificar e/ou desenvolver práticas que aumentem o estoque de carbono e reduzam a emissão de CO₂ do solo (BUYANOVSKY; ASLAM; WAGNER, 1994; DICK; BREAKWELL; TURCO, 1996; JANZEN *et al.*, 1998; BAYER; MIELNICZUK; MARTIN NETO, 2000; DUIKER; LAL, 2000; AMADO *et al.*, 2001). Paralelamente, é importante destacar que a seleção de espécies vegetais para a composição de sistemas de consórcio, rotação ou sucessão de culturas deve objetivar a produção de alta quantidade de biomassa (AMADO *et al.*, 2001; BAYER *et al.*, 2006).

Atualmente, a agricultura tem passado por uma fase de transição, na qual adquire múltiplos propósitos ao invés de ter um único objetivo específico. Além de produzir alimentos e fibras, a agricultura contemporânea é uma fonte de energia renovável e deve ainda ser pouco poluidora e oferecer a opção de mitigar as emissões de GEE a um custo baixo (RICE; REED, 2007).

Análises econômicas sugerem que o sequestro de carbono em solos agrícolas é uma das opções mais viáveis para reduzir as emissões de GEE, particularmente nos próximos 30 anos (CALDEIRA *et al.*, 2004). Embora as práticas de mitigação de GEE pela agricultura sejam consideradas de curta duração, os efeitos na qualidade do solo proporcionados pelo incremento da matéria orgânica podem ter longa duração, contribuindo para a sustentabilidade agrícola (RICE; REED, 2007).

A mitigação das emissões de GEE, portanto, deve envolver a identificação ou desenvolvimento de sistemas de produção agropecuária com potencial de retenção de CO₂ atmosférico na matéria orgânica do solo e redução das emissões de CH₄ e N₂O para atmosfera (SANTOS *et al.*, 2008) e recrescimento das florestas secundárias (FEARNSIDE, 1985). Entretanto, a conservação das florestas se configura como a forma de mitigação do efeito estufa mais importante devido não só ajudar a diminuir o acúmulo de dióxido de carbono na atmosfera como ser essencial para o equilíbrio do ecossistema (GLOBAL CARBON PROJECT, 2003).

4.2 Efluxo de CO₂ do Solo

O efluxo de CO₂ do solo é resultado de dois processos: produção de CO₂ do solo pela respiração de raízes e microrganismos, e o transporte de CO₂ para a atmosfera (FANG; MONCRIEFF, 2001), prioritariamente, por difusão gasosa e fluxo de massa (THORSTENSON; POLLOCK, 1989). A difusão gasosa é dirigida pelo gradiente de concentração entre o solo e a atmosfera, enquanto fluxo de massa depende do balanceamento feito pelas flutuações da pressão atmosférica ou pelas turbulências (KIMBALL; LEMON, 1971).

A respiração do solo corresponde à liberação do carbono para a atmosfera produzido pelas raízes das plantas, animais (AKINREMI; MCGINN; MCLEAN, 1998; CHAPIN III; MATSON; MOONEY, 2002) e pela decomposição da matéria orgânica por microrganismos do solo (PANOSSO *et al.*, 2008). A definição do termo respiração

do solo, como evolução do CO₂ da superfície do solo, tem mais de oitenta anos, ou seja, a respiração do solo vem sendo alvo de estudos há bastante tempo (KUTSCH; BAHN; EHEINEMEYER, 2009).

Estima-se que em escala global a respiração do solo envia para a atmosfera 75 bilhões de toneladas de carbono por ano, sendo que essa emissão só é menor do que a realizada pelos oceanos (PANOSSO *et al.*, 2008). Higa *et al.* (2012) dizem que aproximadamente 80% do CO₂ liberado no Brasil vem da mudança do uso do solo e o apenas o restante da queima de combustíveis fósseis.

O solo, portanto, constitui-se como compartimento chave no processo de emissão, estoque e sequestro de carbono e, quando manejado adequadamente, funciona como sumidouro deste. Mudanças inadequadas no uso do solo afetam fortemente o armazenamento de carbono (GUO; GIFFORD, 2002).

A respiração realizada pelas raízes é chamada de autotrófica, enquanto que a respiração realizada pelos animais e microrganismos do solo é chamada de heterotrófica (SOTTA *et al.*, 2004). Entre os fatores que influenciam a respiração do solo pode-se citar: a biomassa e atividades das plantas e microrganismos do solo (ADACHI *et al.*, 2009), a disponibilidade de substrato de carbono para que a respiração ocorra (KUTSCH; BAHN; EHEINEMEYER, 2009), a temperatura e a umidade do solo (SOTTA *et al.*, 2004).

Os fatores abióticos, como temperatura e umidade do solo têm sido frequentemente identificados como fatores dominantes que controlam o efluxo de CO₂ do solo (SOTTA *et al.*, 2004; DAVIDSON *et al.*, 2000). Uma possível explicação para isso é que estes fatores são definidos como fatores primários que influenciam diretamente na mineralização da matéria orgânica do solo (SOTTA *et al.*, 2006).

A transferência do CO₂ do solo para a atmosfera também sofre influência do processo de difusão, que é controlado pelo gradiente de concentração de CO₂ entre o solo e a atmosfera, onde o gás se desloca do meio mais concentrado para o menos concentrado (PANOSSO *et al.*, 2008), da topografia e da vegetação (VINCENT *et al.*, 2006; FLANGAN; JOHNSON, 2005).

A respiração do solo exhibe grande variabilidade espacial, que pode ser explicada tanto por fatores bióticos quanto abióticos (VINCENT *et al.*, 2006). No caso específico da Amazônia, como ocorre pouca flutuação na temperatura entre os anos e durante o ano, espera-se que mudanças na umidade do solo sejam o principal controlador da variação sazonal do efluxo de CO₂ do solo (SOTTA *et al.*, 2006).

As mudanças sazonais na temperatura do ar e do solo, como resultado da precipitação pluviométrica, modificam os processos microbianos e a intensidade destes, alterando as emissões de CO₂, independentemente do sistema de manejo do solo adotado (SANTOS *et al.*, 2008). No entanto, as mudanças ou aumento na taxa de respiração do solo também podem ocorrer sem o aumento da temperatura do solo (SUWA *et al.*, 2004). Apesar de ainda não ser bem compreendida, poucos estudos abordam a interação entre emissão de CO₂ pelo solo, temperatura e umidade do solo na Amazônia.

As práticas de manejo do solo influenciam as variáveis controladoras do estoque e da emissão de carbono dos solos agrícolas (SANTOS *et al.*, 2008). Quando se substituem florestas por pastagens e culturas agrícolas, as interações físicas e químicas entre o solo, a vegetação e o clima são modificadas (PINTO-JUNIOR *et al.*, 2009). A aração e a gradagem, por exemplo, são práticas agrícolas que estimulam a ação microbiana pelo aumento da aeração, aumentando o contato solo/resíduo vegetal e a ruptura dos agregados do solo, propiciando maior emissão de CO₂ do solo (SANTOS *et al.*, 2008).

Para estimar a quantidade de respiração do solo e sua variabilidade temporal é essencial avaliar a relação entre respiração do solo e variáveis ambientais que podem ser continuamente monitoradas, como umidade do solo e temperatura (KOSUGI *et al.*, 2007; PINTO-JUNIOR *et al.*, 2009). A respiração do solo pode variar no tempo e no espaço devido a fatores como a química e a física do solo, a distribuição de raízes (SOE; BUCHMANN, 2005), a umidade (MERBOLD *et al.*, 2011) e a temperatura do solo. Em escala global, as taxas de respiração do solo se correlacionam positivamente com a média anual de temperatura do ar, com a precipitação anual e com a interação entre essas duas variáveis (RAICH; SCHLESINGER, 1992). Por exemplo, o solo exhibe baixas taxas de respiração quando as condições são de seca ou umidade extrema (VAN STRAATEN *et al.*, 2009).

De acordo com Zanchi *et al.* (2009), para melhorar a compreensão da variabilidade sazonal do efluxo de CO₂ do solo, outras variáveis são requeridas, como, por exemplo, a estrutura do solo e, mais importante, a produtividade primária líquida e liteira, que se correlacionam com a temperatura e umidade nos trópicos e, finalmente, a dependência das espécies. As primeiras análises de regulação da respiração do solo pelo clima e fatores edáficos foram feitas em meados do século XX, a partir de medições da respiração do solo, propriedades do solo, fertilidade e perfis de dióxido de carbono

(KUTSCH; BAHN; EHEINEMEYER, 2009). Ainda hoje existem grandes dificuldades para medir o CO₂ atmosférico devido a dificuldades frequentes em medir a respiração microbiana e das raízes em múltiplas profundidades (SUWA *et al.*, 2004).

É importante quantificar o efluxo de CO₂ do solo para a obtenção de informações sobre atividade heterotrófica, taxas de respiração das raízes, interação solo-atmosfera, energia do solo e balanço de carbono e produtividade das plantas (RAICH; BOWDEN; STEUDLER, 1990). Entender a variação das taxas de respiração do solo e seus fatores determinantes é importante para reduzir erros na avaliação do fluxo de carbono do solo (ADACHI *et al.*, 2009). Além disso, com o aumento da taxa de CO₂ atmosférico, é importante entender melhor o funcionamento das fontes e sumidouros de carbono e suas respostas as mudanças climáticas, principalmente porque o aumento da temperatura tem um forte impacto na respiração do solo (RAICH; POTTER; BHAGAWATI, 2002).

O processo inverso à emissão de gases do efeito estufa é o sequestro de carbono, que pode ser definido como qualquer processo que remova GEE da atmosfera (MORARU; RUSU; SOPTERAN, 2010). Uma forma de amenizar os efeitos do aquecimento global é o aumento ou a disseminação de práticas que levem ao sequestro de carbono (LAW *et al.*, 2009). Em atividades agropecuárias, a redução da concentração de gases do efeito estufa na atmosfera pode ocorrer pela introdução do carbono no solo (MORARU; RUSU; SOPTERAN, 2010) através da adoção de práticas que visem a otimização no uso dos recursos disponíveis sem exauri-los, como é o caso dos SAFs.

4.3 A Biomassa Microbiana do Solo e o Efluxo de CO₂

A biomassa microbiana do solo (BMS) é definida como a parte viva da matéria orgânica do solo, excluindo-se raízes de plantas e animais do solo maiores que $5 \times 10^3 \text{ mm}^3$, a BMS contém, em média, de 2 a 5 % do carbono orgânico do solo e, funcionalmente, atua como agente de transformação da matéria orgânica do solo no ciclo de nutrientes e no fluxo de energia (JENKINSON; LADD, 1981; WARDLE, 1992; HARGREAVES; ASCE; ALLEN, 2003; FERNANDES; BETTIOL; CERRI, 2005; GAMA-RODRIGUES; GAMA-RODRIGUES, 2008). O conceito de BMS é holístico, o que pressupõe integralidade, implicando a necessidade de considerar a população microbiana do solo como uma entidade única (POWLSON, 1994).

A BMS é um importante componente ecológico, pois é responsável pela decomposição e mineralização dos resíduos vegetais no solo, utilizando esses materiais como nutrientes e energia para a formação e o desenvolvimento de suas células, bem como para a síntese de substâncias orgânicas no solo (GAMA-RODRIGUES; GAMA-RODRIGUES, 2008).

Os métodos mais utilizados para a quantificação de BMS são observação direta, fumigação-incubação (JENKINSON; POWLSON, 1976), taxa de respiração em resposta à adição de glicose (ANDERSON; DOMSCH, 1978), índice de ATP (OADES; JENKINSON, 1979), fumigação-extração (BROOKES *et al.*, 1985; VANCE; BROOKES; JENKINSON, 1987; TATE; ROSS; FELTHAM, 1988) e irradiação-extração (FERREIRA *et al.*, 1999).

A atividade dos microrganismos é geralmente medida em termos metabólicos, através de indicadores como CO₂ liberado, O₂ absorvido, atividades enzimáticas e caloríficas, N, P, S mineralizados (GRISI, 1995; DE-POLLI; GUERRA, 2008). A BMS não é uma estimativa da atividade dos microrganismos, mas da massa microbiana viva total, com base na concentração de algum elemento ou de alguma substância celular, por exemplo, o carbono (DE-POLLI; GUERRA, 2008).

A respiração microbiana do solo, ou respiração basal, é definida como a absorção de O₂ ou a liberação de CO₂ pelas bactérias, fungos, algas e protozoários no solo, incluindo as trocas gasosas que resultam de ambos os metabolismos aeróbio e anaeróbio. A respiração basal tem sido largamente usada para estudos sobre a influência de diversos atributos físicos do solo, como umidade, temperatura e aeração em relação à mineralização da matéria orgânica do solo (ANDERSON, 1982).

Flutuações temporais na BMS tem sido observadas (ROSS, 1988; CATTELAN; VIDOR, 1990; TATE *et al.*, 1991; PERROTT; SARATHCHANDRA; DOW, 1992; DIAZ-RAVIÑA; ACEA; CARBALLAS, 1995), normalmente associadas com os atributos climáticos. Porém, a BMS parece demonstrar um comportamento irregular em relação à variabilidade climática estacional devido a complexidade das interações entre umidade, temperatura, crescimento vegetal e aporte de matéria orgânica no solo, bem como a taxa de mudanças desses fatores (WARDLE; PARKINSON, 1990; WARDLE, 1992).

A avaliação da BMS fornece informações importantes para o entendimento da ciclagem de nutrientes, pois a decomposição e a mineralização dos resíduos vegetais dependem da atividade microbiana (PAUL; CLARK, 1996). Entretanto, mais

importante que o valor absoluto é o fluxo de nutrientes para as plantas. Nesse caso, considerando a biomassa microbiana a fração mais ativa da matéria orgânica, é o compartimento responsável pelo fluxo e pela rápida ciclagem de nutrientes. A precipitação e a temperatura são variáveis importantes na formação da matéria orgânica do solo, dentre outros fatores que controlam a dinâmica do carbono orgânico (PARTON *et al.*, 1987).

Dessa forma, tomadores de decisão necessitam de medidas da biomassa microbiana para alimentar modelos de para desenvolver sistemas agrícolas sustentáveis, como é o caso dos SAFs (DE-POLLI; GUERRA, 2008).

4.4 Sistemas Agroflorestais (SAFs)

Os SAFs são sistemas de produção agrícola caracterizados pelo cultivo integrado de espécies agrícolas, vegetal e/ou animal, e silviculturais, simultânea ou sucessionalmente em uma mesma área. De forma mais abrangente, os SAFs caracterizam-se como uma combinação integrada de árvores, arbustos, cultivos agrícolas e/ou animais na mesma área, de maneira simultânea ou sequencial, com foco na otimização da agregação de valores socioeconômico-culturais e ambientais (ASSIS-JUNIOR *et al.*, 2003).

Não existe um conceito universal sobre SAF, que se desenvolveram como uma interface entre a agricultura e a silvicultura em resposta às necessidades e condições especiais dos países subdesenvolvidos nos trópicos. Assim, os SAFs se distinguem dos sistemas agropecuários convencionais, essencialmente, pela presença do componente arbóreo (lenhoso perene) como requisito obrigatório (NAIR, 1993).

Apesar de apenas recentemente, especialmente a partir da década de 1970, os SAFs terem se tornado objeto de investigação científica, práticas agroflorestais tem sido adotadas há décadas por comunidades nativas e/ou tradicionais, como indígenas, caboclas e ribeirinhas, sobretudo nos trópicos, inclusive na Amazônia (CASTRO *et al.*, 2009; COSTA; MITJA, 2010). Por isso, Nair (1993) diz que sistema agroflorestal nada mais é do que um novo conceito para um conjunto de práticas antigas.

Estima-se que mundialmente haja uma área de aproximadamente 1,023 milhão de hectares cultivados com SAFs (NAIR; KUMAR; NAIR, 2009). Majoritariamente a adoção de práticas agroflorestais está fortemente associada com aspectos socioculturais,

baseando-se essencialmente na tradição e no saber local, sendo ainda pouco explorada empresarialmente.

Em países subdesenvolvidos, normalmente as práticas agroflorestais visam contribuir para o alívio da pobreza e segurança alimentar, enquanto que em países desenvolvidos os SAFs estão fortemente associados com a prestação de serviços ambientais, como conservação do solo, da água e da biodiversidade, e sequestro de carbono (NAIR; GORDON; MOSQUERA-LOSADA, 2008; SHIBU, 2009). Os SAFs, além de propiciarem a diversificação da produção, possibilitam a otimização no uso dos recursos disponíveis, como água, solo e nutrientes, em relação aos monocultivos, podendo ser uma alternativa viável para agricultura familiar.

A associação de SAFs com técnicas conservacionistas de preparo de área pode representar uma combinação promissora de manejo sustentável de pequenas propriedades agrícolas. Entre as técnicas conservacionistas recomendadas para a agricultura familiar, destaca-se o preparo de área sem uso do fogo por meio da trituração manual ou mecanizada da vegetação secundária (KATO *et al.*, 2004).

No Brasil, a agricultura contribui com 75 % das emissões de CO₂ e mais de 90 % das emissões de CH₄ e N₂O, reflexo das queimadas na região amazônica, da grande área cultivada e do rebanho de bovinos, entre outras atividades. A mitigação dessas emissões deve envolver a identificação ou desenvolvimento de sistemas de produção agropecuária com potencial de retenção de CO₂ atmosférico na matéria orgânica do solo e redução das emissões de CH₄ e N₂O para a atmosfera (COSTA; ZANATTA; BAYER, 2008). Por meio do manejo agroflorestal, por exemplo, é possível adicionar ao solo quantidades de resíduos vegetais capazes de afetar a biomassa microbiana e sua atividade (ALMEIDA, 1991; ESPINDOLA *et al.*, 2001; WUTHRICH *et al.*, 2002), que estão ligadas diretamente ao efluxo de CO₂ do solo.

Portanto, as práticas de manejo do solo influenciam as variáveis controladoras do estoque de carbono e da emissão de CO₂ de solos agrícolas. Um maior entendimento dessa influência tem motivado estudos em vários ecossistemas, os quais, entre outros objetivos, procuram identificar e/ou desenvolver práticas que aumentem o estoque de carbono e reduzam a emissão de CO₂ do solo (BUYANOVSKY; ASLAM; WAGNER, 1994; DICK; BREAKWELL; TURCO, 1996; JANZEN *et al.*, 1998; BAYER; MIELNICZUK; MARTIN NETO, 2000; DUIKER; LAL, 2000; AMADO *et al.*, 2001). Paralelamente, é importante destacar que a seleção de espécies vegetais para a

composição de sistemas de consórcio, rotação ou sucessão de culturas deve objetivar a produção de alta quantidade de biomassa (AMADO *et al.*, 2001; BAYER *et al.*, 2006). Em solos sob sistemas agroflorestais, as propriedades biológicas podem ser aprimoradas (UDAWATTA *et al.*, 2008; YADAV *et al.*, 2010; YAN; MCBRATNEY; COPELAND, 2000). A biomassa microbiana do solo e a sua diversidade são maiores em sistemas agroflorestais, em virtude do maior efeito rizosférico e da maior decomposição de material orgânico no solo. Além disso, a presença de uma comunidade microbiana do solo maior e diversificada é fundamental para a produtividade de qualquer agroecossistema (ARAÚJO *et al.*, 2012). Apesar dos vários benefícios dos microrganismos para o solo em práticas agroflorestais, ainda são necessárias mais pesquisas para preencher lacunas do conhecimento, fundamentais para o entendimento e a melhoria da qualidade ambiental (LOVEALL; SULLIVAN, 2006; LOWRANCE; DABNEY; SCHULTZ, 2002).

4.5 A Palma de Óleo

A palma de óleo (*Elaeis guineensis* Jacq.), também conhecida popularmente como dendê, possui origem africana, mais precisamente do Golfo da Guiné (Costa Ocidental da África), daí a origem de seu nome científico. Essa cultura teve sua primeira produção comercial por volta de 1911 na Indonésia e em 1917 na Malásia (CORLEY; TINKEN, 2008). Atualmente, é cultivada em diversos países na faixa do trópico úmido, sendo a Malásia e a Indonésia os dois maiores produtores mundiais.

A produção da Malásia mais do que dobrou entre 1980 e 1990, no mesmo momento em que a Indonésia iniciou uma incomparável corrida para expansão das plantações. Partindo de somente 0,7 milhão de toneladas produzido nos anos 1980, a Indonésia ultrapassou a Malásia, tornando-se a maior produtora mundial. Na safra de 2013/14, a pretensão de produção da Indonésia era de atingir 31 milhões de toneladas (52% da produção global). Hoje, os dois países respondem por aproximadamente 86% da produção mundial de óleo de palma bruto (AGROANALYSIS, 2014).

Ainda de acordo com Agroanalysis (2014) na América do Sul, onde Colômbia e Equador têm registrado grandes aumentos na produção, o Brasil continua retardatário em óleo de palma. O país praticamente não apresentou aumento na produção nas últimas décadas. No entanto, o Brasil possui milhões de hectares de terras degradadas disponíveis para produção sustentável e significativa de óleo de palma.

A palma de óleo é uma cultura perene de grande porte, sendo muito útil para recobrimento de solo quando adulta. Diz-se, então, que o cultivo de dendê é um sistema de boa estabilidade ecológica com baixos impactos negativos ao meio ambiente (EMBRAPA, 2002), além de proporcionar altas taxas de empregabilidade.

Os solos da Amazônia Oriental foram utilizados intensamente nos últimos 100 anos e o monocultivo da palma de óleo foi uma das formas agressivas de exploração da floresta primária, concentrando-se no estado do Pará. A expansão da cultura da palma de óleo na Amazônia aumentou consideravelmente nas décadas de 1980 e 1990, incentivada por recursos oriundos de incentivos fiscais e subsídios do Governo Federal (CARVALHO, 2011).

Na última década, com a justificativa de reflorestamento das áreas degradadas por pastagens e da inserção dos biocombustíveis na matriz energética do país, novo impulso vem sendo dado ao cultivo da palma de óleo. Desta vez, o governo está buscando inserir o produtor rural como ator da integração da agricultura familiar com a agroindústria dos biocombustíveis. O programa atual de biodiesel tem um viés social voltado para a inclusão de pequenos produtores na cadeia produtiva da palma, sendo que os tributos federais incidentes sobre o biodiesel têm uma redução de quase 70 % quando sua produção é feita a partir de matérias primas adquiridas da agricultura familiar (CARBONO BRASIL, 2013).

Quanto ao controle da emissão de GEE em cultivos de palma de óleo, alguns estudos mostram que plantações mais antigas de palma de óleo são capazes de reter maior quantidade de carbono na zona mais próxima da planta, em função da produção mais elevada de matéria orgânica relacionada ao sistema radicular (LAMADE; DJEGUI; LETERME, 1996; FRAZÃO *et al.*, 2014). O sistema radicular da palma é composto por raízes adventícias e a maior parte das raízes (terciárias e quaternárias) se concentra nos primeiros 30 cm de solo (YAHYA *et al.*, 2010). Resíduos de poda (pilha) adicionados ao solo em plantações de palma de óleo promovem também um maior aporte de matéria orgânica do solo ao longo do tempo, estocando maiores quantidade de carbono no solo (FRAZÃO *et al.*, 2014).

4.6 Florestas Sucessionais (Ou Secundárias)

As florestas são reconhecidamente importantes sumidouros de carbono (MCCARTHY *et al.*, 2001; SOLOMON *et al.*, 2007). Globalmente, estima-se que as

florestas estocam cerca de 283 Gt de carbono apenas na biomassa. Dados recentes sobre desmatamento de florestas e, por outro lado, sobre a manutenção e implantação de novas áreas de plantios silviculturais no mundo, revelam que o estoque de carbono na biomassa de florestas diminuiu na África, Ásia e América do Sul no período de 1990 a 2005, mas aumentou em outras partes do mundo (FAO, 2005).

Na região tropical do mundo, as florestas secundárias (ou capoeiras) e as florestas degradadas estão aumentando em extensão e importância, na medida em que as florestas primárias estão sendo exploradas, fragmentadas e convertidas ao uso agrícola (BROWN; LUGO, 1990). As áreas ocupadas por florestas secundárias aumentam em todo o mundo, a uma taxa de 6,4 % ao ano, sendo que cerca de 40 % da conversão das florestas primárias em secundárias ocorre na América Latina (FAO, 2005).

Em uma definição ampla, floresta secundária é a vegetação arbórea-arbustiva que se desenvolve secundariamente por meio da regeneração natural, após um distúrbio que elimina mais de 90% da cobertura vegetal primária (BROWN; LUGO, 1990). Entretanto, o conceito de floresta secundária não é um consenso entre os diferentes autores, que divergem, principalmente, com relação à natureza do distúrbio que reinicia a sucessão. No contexto amazônico, as capoeiras podem ser definidas como áreas de crescimento espontâneo de vegetação secundária provenientes do processo de substituição dos ecossistemas florestais naturais por agroecossistemas.

Na região amazônica, florestas secundárias são formadas após o abandono de áreas de agricultura e pecuária. Fearnside (1996) estimou que cerca de 50 % das áreas desmatadas na Amazônia Brasileira estavam em algum estágio sucessional em 1990.

Florestas secundárias geralmente representam uma importante fonte de renda em regiões tropicais, através de produtos madeireiros e não-madeireiros, para populações locais (BROWN; LUGO, 1990) e podem promover serviços ambientais relevantes, como sequestro de carbono, restabelecimento do ciclo da água e nutrientes e manutenção da biodiversidade (BROWN; LUGO, 1990; MARKEWITZ *et al.*, 2004; NEPSTAD *et al.*, 2001).

5 EFLUXO DE DIÓXIDO DE CARBONO DO SOLO NA TRANSIÇÃO FLORESTA-SISTEMA AGROFLORESTAL NO MUNICÍPIO DE TOMÉ AÇU, PARÁ

RESUMO

O efluxo de dióxido de carbono (CO_2) do solo corresponde ao principal fluxo de carbono do ecossistema para a atmosfera. Os solos tropicais, que geralmente apresentam umidade e temperatura elevadas, oferecem condições bastante propícias para a produção de CO_2 , pois favorecem a decomposição da matéria orgânica, a respiração das raízes e a respiração microbiana, aumentando a emissão de CO_2 do solo para a atmosfera. As práticas de manejo do solo influenciam as variáveis controladoras do estoque de carbono e da emissão de CO_2 de solos agrícolas. Devido ao grande interesse científico mundial no entendimento dos processos físicos e biológicos envolvendo fluxos de CO_2 entre a superfície e a atmosfera, objetivou-se com esta pesquisa avaliar os efeitos da transição entre uma floresta secundária e sistemas agroflorestais com cultivo de palma de óleo sobre o efluxo de CO_2 e fatores bióticos e abióticos do solo. O experimento está sendo desenvolvido no município de Tomé Açu, Nordeste Paraense, fruto de incentivos público e privado, onde estão sendo desenvolvidos modelos de sistemas de produção de palma de óleo em arranjos agrosilviculturais que contemplam o produtor rural familiar. O efluxo de CO_2 do solo foi medido com sistema portátil de medição de fotossíntese (LiCor LI-6400) acoplado a uma câmara de respiração do solo. Também foram medidas a temperatura e umidade gravimétrica do solo, respiração basal (RB), carbono da biomassa microbiana do solo (CBMS), carbono orgânico total, estoque de raízes finas e serapilheira em dois SAFs e em uma floresta secundária remanescente. As medições de efluxo de CO_2 e coleta de materiais se deram entre os meses de janeiro a abril de 2015 e foram realizadas quinzenalmente. De acordo com os dados coletados, observou-se que o efluxo de CO_2 do solo foi influenciado principalmente pela temperatura e umidade do solo nos dois sistemas avaliados. O efeito da transição floresta-SAFs apresentou efeito significativo para efluxo de CO_2 , raízes finas, CBMS e RB. A transição de floresta secundária para SAFs com palma de óleo e a variabilidade espacial ou arranjo das espécies dos sistemas afetam a qualidade ambiental do solo. Essas alterações devem estar ligadas a impactos decorrentes de mudanças na estrutura e na composição de espécies dos sistemas, assim como do manejo da matéria orgânica do solo.

Palavras-chave: Respiração do solo. Fatores bióticos e abióticos. Palma de óleo. Pará.

INTRODUÇÃO

O efluxo de CO₂ do solo corresponde ao principal fluxo de carbono do ecossistema para a atmosfera (RYAN; LAW, 2005). Os solos tropicais, que geralmente apresentam umidade e temperatura elevadas, oferecem condições bastante propícias para a produção de CO₂, pois favorecem a decomposição da matéria orgânica, a respiração das raízes e a respiração microbiana, aumentando a emissão de CO₂ do solo para a atmosfera (DIAS, 2006). A capacidade do solo de produzir CO₂ varia em função do: tipo de solo; sazonalidade climática regional; tipo, intensidade e qualidade das técnicas agrícolas utilizadas; umidade e temperatura do solo; tipo de plantas cultivadas e arquitetura das raízes; e quantidade de fertilizantes aplicados (MORARU; RUSU; SOPTEREAN, 2010).

O processo inverso à emissão de gases do efeito estufa (GEE) é o sequestro de carbono, que pode ser definido como qualquer processo que remova gases do efeito estufa da atmosfera (MORARU; RUSU; SOPTEREAN, 2010). Uma forma de amenizar os efeitos do aquecimento global é o aumento da adoção de práticas de manejo do solo que levem ao sequestro de carbono (LAW *et al.*, 2009). Em atividades agropecuárias, a redução da concentração de GEE na atmosfera pode ocorrer pela introdução do carbono no solo (MORARU; RUSU; SOPTEREAN, 2010), resultante da adoção de práticas que visem a otimização do uso dos recursos disponíveis sem exauri-los, como é o caso dos sistemas agroflorestais (SAFs).

A palma de óleo é uma cultura perene de grande porte, sendo muito útil para recobrimento de solo quando adulta. O cultivo da palma de óleo é considerado como um sistema de boa estabilidade ecológica com baixos impactos negativos ao meio ambiente (EMBRAPA, 2002). A expansão da cultura da palma de óleo na Amazônia aumentou consideravelmente nas décadas de 1980 e 1990, incentivada por recursos oriundos de incentivos fiscais e subsídios do Governo Federal, tornando-se uma das formas agressivas de exploração da floresta primária no estado do Pará (CARVALHO, 2011).

Dessa forma, a partir do ano de 2007, começaram a ser realizadas pesquisas no território paraense, visando avaliar a viabilidade socioeconômica e ambiental de modelos de sistemas de produção de palma de óleo em arranjos agrosilviculturais que contemplassem o produtor rural familiar (SANTIAGO, 2012). Essa proposta inovadora de investigar SAFs, como alternativa ao monocultivo da palma de óleo, é resultado da ação conjunta de iniciativas pública e privada, por meio da parceria entre Empresa

Natura Inovação e Tecnologia de Produtos LTDA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) e Cooperativa Agrícola Mista de Tomé-Açu (CAMTA). Tal parceria resultou na implantação do “Projeto dendê: sistemas agroflorestais na agricultura familiar” no município de Tomé-Açu (PA), que é um dos maiores pólos produtores de palma de óleo da região Norte do Brasil. Atualmente, Tomé Açu é considerada a capital brasileira do biodiesel (BIODIESEL, 2014) e do SAF.

Objetivou-se com esta pesquisa avaliar os efeitos da transição de uma floresta sucessional para sistemas agroflorestais com cultivo de palma de óleo (*Elaeis guineensis* Jacq.) sobre o efluxo de dióxido de carbono e fatores bióticos e abióticos do solo no município de Tomé Açu, no nordeste paraense.

MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização da área de estudo

A pesquisa foi realizada no município de Tomé Açu, que está inserido na Mesorregião Nordeste Paraense e Microrregião Tomé Açu, distante 200 km da capital Belém (IBGE, 2010). O município está localizado a 02°40'54'' de latitude Sul e a 48°16'11'' de longitude Oeste de Greenwich.

A vegetação original é composta por Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas, atualmente bastante alteradas com a ocorrência de florestas secundárias. Remanescentes florestais são observados principalmente às margens dos cursos d'água, as partes urbanas, sistemas agroflorestais, pecuária e a expansão do cultivo de palma de óleo completam a paisagem da região (SOUZA, 2013).

Descrição do experimento

O estudo foi realizado na Unidade Demonstrativa II (UD II) do “Projeto dendê: Sistemas agroflorestais na agricultura familiar”, que tem como principal objetivo investigar o impacto de sistemas agroflorestais com palma de óleo sobre a biodiversidade, polinização, qualidade do solo e ciclagem de carbono e nutrientes, em função da técnica de preparo de área e do arranjo de espécies agrícolas e florestais, tendo como público alvo os produtores rurais familiares. O projeto, iniciado em 2008, está sendo desenvolvido pela empresa Natura Inovação e Tecnologia de Produtos LTDA em parceria com a Cooperativa Agrícola Mista de Tomé Açu (CAMTA) e com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA).

Neste experimento foi avaliado um SAF de produção de palma de óleo com 2 hectares que constituía-se anteriormente em uma floresta secundária. Na UD II foram analisados dois sistemas: Adubadeiras e Biodiverso. O primeiro com pouca diversidade de espécies e o segundo com alta diversidade, ambos com preparo de área sem uso do fogo feita através de trituração mecanizada com protótipo de triturador, denominado TRITUCAP, que deixa sobre o solo a vegetação triturada na forma de cobertura morta (mulch). Em cada sistema, foram estabelecidas ao acaso 4 parcelas de 30 m x 30 m, incluindo uma linha dupla de palma de óleo no centro da parcela.

Nos dois sistemas, foram plantadas linhas duplas de palma de óleo (espaçamento 7,5 m x 9 m) intercaladas por faixas (15 m) com nove linhas de espécies herbáceas, arbustivas e arbóreas. A composição de espécies implantada nas áreas foi definida de forma participativa e de acordo com os interesses dos produtores, envolvendo uma alta diversidade de espécies frutíferas e madeireiras, e sistemas com elevada densidade de leguminosas e forrageiras para adubação verde, como pode ser visto na Figura 2.

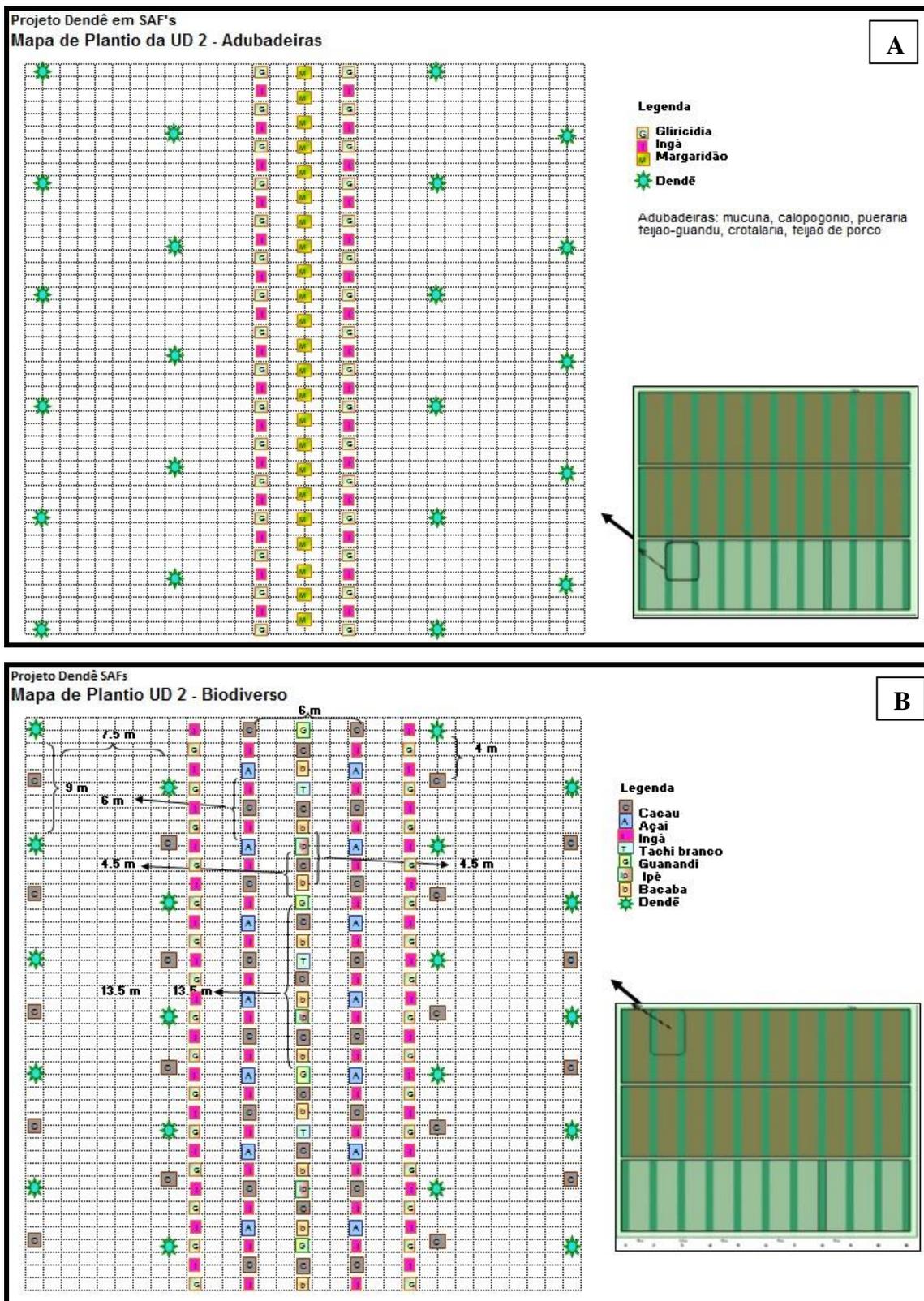


Figura 2. Croqui do arranjo das espécies no Sistema Adubadeiras (A) e do Sistema Biodiverso (B).

Os sistemas de cultivo de palma de óleo foram comparados com um fragmento remanescente da floresta sucessional de referência, que foi cortada e triturada no

preparo da área, adjacente aos cultivos de palma de óleo. Em 2008, a floresta sucessional, com aproximadamente 10 anos de idade, apresentava altura média do dossel de 15 m e densidade média de 520 árvores ha⁻¹ (árvores com diâmetro à altura do peito > 10 cm). As espécies de maior ocorrência na floresta sucessional eram *Tapirira guianensis* Aubl., *Vismia guianensis* Aubl., *Inga alba* Willd. e *Apeiba burchellii* Sprague.

As medições de efluxo de CO₂ e coletas de amostras de solo foram realizadas na área circundante da palma de óleo (base, carreador e pilha) de cada planta, entrelinhas e linhas das outras espécies dos SAFs nas quatro parcelas, totalizando 5 (cinco) pontos amostrais em cada parcela. Na floresta sucessional também foram delimitadas aleatoriamente 4 (quatro) parcelas de 30 m x 30 m e distribuídos 2 (dois) pontos em cada, totalizando 8 (oito) pontos amostrais para validação dos dados. Dessa forma, foram coletados 48 (quarenta e oito) pontos amostrais no total.

Foram avaliadas as seguintes variáveis: respiração do solo (ou efluxo de CO₂ do solo), umidade e temperatura do solo, carbono orgânico total do solo, respiração microbiana do solo, carbono da biomassa microbiana, estoque de raízes finas e serapilheira.

Efluxo de CO₂ do solo

As medições de efluxo de CO₂ solo foram realizadas quinzenalmente com um sistema portátil de medição de fotossíntese (LI-COR LI-6400) acoplado a uma câmara de respiração do solo. As medições foram feitas entre 7h e 11h da manhã entre janeiro e abril de 2015 para verificar o comportamento quinzenal do efluxo de CO₂.

Foram instalados 48 anéis de PVC (cloreto de polivinila), de 10 cm de diâmetro e 8,5 cm de altura, inseridos cerca de 2 cm no solo, onde foram feitas as medições. A distribuição dos anéis foi feita da seguinte forma: no Sistema Biodiverso, foram colocados 3 (três) anéis na área circundante a palma de óleo (base da planta, carreador e pilha), 1 (um) próximo ao cacau e 1 (um) próximo ao ingá nas quatro parcelas, totalizando 20 anéis; no Sistema Adubadeiras, a distribuição foi a mesma, sendo que as espécies integrantes do SAF foram ingá e gliricídia, totalizando 20 anéis; e 8 distribuídos na floresta sucessional de referência.

Temperatura e umidade do solo

A temperatura foi monitorada com um termômetro instalado a 10 cm de profundidade, no momento da medição do efluxo de CO₂.

Foram coletadas amostras de solo composta de 3 amostras simples com trado sonda, a uma profundidade de 10 cm e distantes pelo menos 50 cm do anel, para determinação da umidade gravimétrica do solo (EMBRAPA, 1997). As amostras foram transportadas para o laboratório e a massa úmida pesada. Em seguida, foram secas em estufa a 105 °C por 24 horas, resfriadas em dessecador, e a massa seca foi determinada. A umidade gravimétrica foi determinada com a seguinte equação:

$$\text{Umidade gravimétrica} = \frac{100x (\text{Massa Úmida (g)} - \text{Massa Seca (g)})}{\text{Massa Seca (g)}}$$

Coleta de amostras de solo

Foram realizadas coletas de solo, separadas das coletas para umidade gravimétrica, para determinação de carbono orgânico total do solo, respiração microbiana do solo e carbono da biomassa microbiana do solo.

Foram coletadas 4 amostras simples (subamostras) de solo com trado holandês para formar 1 amostra composta na área ao redor de cada anel nas camadas 0-5 cm e 5-10 cm, distantes aproximadamente 50 cm do anel, ou seja, cada anel teve duas amostras de solo, totalizando 96 amostras de solo. As coletas de solo foram realizadas nos meses de janeiro e abril do ano de 2015.

Respiração Microbiana do Solo (Basal)

Para determinação da respiração microbiana do solo foi utilizado o método da incubação descrito por Jenkinson & Powlson (1976), com adaptações feitas por Silva; Sena; Silva Junior (2007). As amostras de solo foram peneiradas em malha de 2 mm e, em seguida, a umidade foi corrigida a 60 % da capacidade de retenção de água. Após este processo, foi pesado aproximadamente 25 g de solo em duplicata, ou seja, duas repetições, em balança de alta precisão (*Rice Lake MB*). Em seguida, este solo foi colocado juntamente com 25 ml de hidróxido de sódio (NaOH) a 0,5 M e 25 ml de água destilada em um recipiente de vidro de 2 L hermeticamente fechado. Este sistema foi colocado em incubação durante 10 dias em ambiente com ausência de luz a 25 °C, monitorado por aparelho de ar condicionado. Durante a incubação, o dióxido de carbono (CO₂) decorrente da atividade microbiana se desprende do solo e fica retido nos

recipientes, até tornar-se difuso e ser absorvido pela solução de NaOH, formando carbonato de sódio (Na_2CO_3). Após a incubação, foram coletadas alíquotas de 5 ml da solução de NaOH, as quais foi adicionado 2 gotas de solução alcoólica de fenolftaleína como indicador e 1 ml de solução de cloreto de bário (BaCl_2) a 0,2 N, seguido de titulação com ácido clorídrico (HCl) a 0,5 N. Foram utilizados quatro recipientes controles (sem solo), chamados de “branco”, para descontar o CO_2 que já estava no sistema, antes da incubação. As taxas de respiração microbiana serão expressas em $\text{mg C-CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ solo dia}^{-1}$

Carbono da Biomassa Microbiana do Solo (CBMS)

O carbono da biomassa microbiana do solo (BMS) foi determinado pelo método da fumigação-extração (BROOKES *et al.*, 1985; VANCE; BROOKES; JENKINSON, 1987; TATE; ROSS; FELTHAM, 1988). De cada amostra de solo foram retiradas duas subamostras de 20 g cada, sendo uma subamostra submetida à fumigação (amostra fumigada) seguida de extração e, a outra subamostra submetida somente à extração (amostra não-fumigada). A fumigação foi realizada com clorofórmio (CHCl_3) isento de etanol, por 72 horas, em dessecador mantido sob vácuo, livre de luminosidade. A extração consiste na adição de 50 ml de solução de sulfato de potássio (K_2SO_4) a 0,5 M à amostra de solo, seguido de agitação em movimento circular horizontal a 150 rpm, durante 30 minutos, com posterior filtragem em papel filtro para decantação por 30 minutos.

A quantificação do carbono contido nos extratos fumigados e não-fumigados foi realizada colorimetricamente, conforme procedimentos descritos por Knupp & Ferreira (2009). Para tanto, foi adicionado 2 ml de extrato em duplicata, 2 ml de ácido sulfúrico puro (H_2SO_4) e 0,75 ml de dicromato de potássio ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) a 0,17 M. Em seguida, as amostras foram colocadas para agitar em bloco digestor da marca MARCONI por 30 minutos e, posteriormente, lidas as absorvâncias em um espectrômetro visível de marca UNICAM 8675.

O carbono da BMS foi calculado pela diferença entre a quantidade de carbono extraída dos extratos fumigados e não-fumigados, usando-se o fator de correção (KEC) igual a 0,26 para solos da Amazônia (FEIGL *et al.*, 1995). Os dados foram expressos em $\text{mg C kg}^{-1} \text{ solo seco}$.

Carbono Orgânico Total

Após as análises microbiológicas, as amostras de solo foram colocadas para secar ao ar (temperatura ambiente) por 72 horas. Esse procedimento deve ser feito somente após as análises microbiológicas devido estas necessitarem ser realizadas em até 10 dias após a coleta. Posteriormente, foram peneiradas novamente a 2 mm, moídas e peneiradas novamente em malha de 100 mesh. Foi pesado cerca de 0,2 g de solo para análise de carbono total por combustão via seca, em aparelho analisador elementar da marca LECO, modelo CNS 2000. Os resultados foram expressos em g kg^{-1} solo seco. Para análise de carbono orgânico total foi utilizada apenas uma coleta de solo (coleta de janeiro).

Estoque de raízes finas

Foram coletadas no dia 23 de janeiro de 2015 amostras de solo com trado de 196 cm^3 (área de coleta = 19,6 cm^2 ; profundidade = 10 cm), a uma distância de aproximadamente 50 cm dos anéis, para determinação da densidade de raízes finas (g.cm^{-3}). Em laboratório as amostras foram lavadas sobre duas peneiras, com aberturas de malha de 2 mm e 0,84 mm, nesta sequência. Em seguida as raízes foram imersas em bandeja (40 cm x 28 cm) com água para separação manual com pinça metálica. As raízes coletadas na bandeja foram classificadas em intervalos de diâmetro (< 1 mm; 1,1-2,0 mm; 2,1-5,0 mm; e 5,1-10,0 mm) e armazenadas em sacos de papel, os quais foram secos em estufa de circulação forçada de ar a 65 °C por 48 horas para determinação das massas.

Estoque de serapilheira

A serapilheira foi coletada em 08 de janeiro de 2015 usando-se uma grade metálica cortante com área interna de 0,5 m x 0,5 m. A coleta desse material foi feita nos seguintes locais: duas amostras próximo à base da palma de óleo; duas amostras no carreador; duas amostras na pilha; quatro amostras na área das espécies consorciadas do SAF, sendo que no Biodiverso foram coletadas duas amostras próximo ao cacau e duas próximo ao ingá, e no Adubadeiras, duas amostras próximo ao ingá e duas próximo a gliricídia. Dessa forma, foram coletadas 96 amostras de serapilheira. Todo material contido dentro da grade foi coletado e separado nas frações gramínea, lenhoso, ráquis, folhas, material reprodutivo e miscelânea. Em seguida as amostras foram secas a 65 °C

até peso constante e pesadas em balança digital com precisão de 0,01 g. Foram selecionadas as amostras com massa mais representativa, que descrevessem os ecossistemas estudados, e utilizadas para ajudar na discussão dos resultados desta pesquisa.

Análise dos dados

Foi empregada uma análise de variância para dois fatores (Two-way Repeated Measures ANOVA) para avaliar o efeito dos sistemas agroflorestais em relação as coletas e locais de amostragem sobre o efluxo de CO₂, temperatura e umidade do solo. As análises foram realizadas separadamente para cada variável do solo. Para atender os pressupostos da análise paramétrica, alguns dados foram transformados (logaritmo natural ou raiz quadrada), quando necessário, pelo próprio programa utilizado. O teste de Tukey foi aplicado a uma probabilidade de 5 % para testar os fatores analisados e avaliar se havia diferença entre estes. As análises e os gráficos foram realizados utilizando o programa SigmaPlot 11.

RESULTADOS

Valores de F e seus correspondentes níveis descritivos (valor de P) das fontes de variações estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Valores do teste estatístico (F) e do nível descritivo (P) das fontes de variação analisadas em cultivo de palma de óleo em sistema agroflorestral com baixa diversidade de espécies plantadas (Adubadeiras) e com alta diversidade de espécies plantadas (Biodiverso).

Variáveis	<i>Adubadeiras</i>					
	Local de amostragem		Coleta		Local de amostragem x Coleta	
	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
R_{solo}	8,345	<0,001	1,308	0,277	0,835	0,642
T_{solo}	3,739	0,026	22,368	<0,001	2,877	0,002
U_g	3,347	0,038	4,708	0,002	0,484	0,945
CBM	2,518	0,062	81,97	<0,001	0,516	0,725

RB	0,804	0,532	113,389	<0,001	0,762	0,559
R_{<1mm}	5,625	0,006	-	-	-	-
<i>Biodiverso</i>						
R_{solo}	2,709	0,07	4,868	0,002	0,719	0,764
T_{solo}	6,637	0,003	57,22	<0,001	2,047	0,024
Ug	2,107	0,131	7,611	<0,001	0,414	0,973
CBM	0,609	0,659	20,86	<0,001	2,551	0,06
RB	0,854	0,503	26,036	<0,001	0,106	0,979
R_{<1mm}	0,444	0,775	-	-	-	-

EF_{CO₂}: Efluxo de CO₂ do solo; T_{solo}: temperatura do solo; Ug: umidade gravimétrica; CBM: carbono da biomassa microbiana; RB: respiração basal; CT: carbono total; R <1mm: raízes muito finas com diâmetro menor que 1mm.

Variação temporal e espacial do efluxo de CO₂ e das variáveis bióticas e abióticas do solo

O efluxo de CO₂ do solo no sistema Adubadeiras foi influenciado pelo local de amostragem (Tabela 1), sendo maior na área de influência das leguminosas (ingá e gliricídia) e menor na área do carreador (Anexo 1). A temperatura do solo nesse sistema sofreu influência da interação local de amostragem x data de coleta (Tabela 1). Em todos os locais de amostragem, as médias mais altas de temperatura do solo ocorreram em 08 de abril de 2015, porém houve diferença entre locais (Anexo 1). Em 24 de março e 21 de abril de 2015, a temperatura do solo foi mais alta na área de influência das leguminosas em relação a área do carreador e a temperatura mais baixa ocorreu na base da palma na coleta de 21 de abril de 2015 (Anexo 1). A umidade do solo apresentou comportamento inverso ao da temperatura do solo, destacando-se as coletas de 24 de março e 08 de abril de 2015 (Figura 3). A base da palma apresentou menor umidade em todas as coletas e a área de influência do ingá a maior umidade em todas as coletas, com exceção da última (Figura 3).

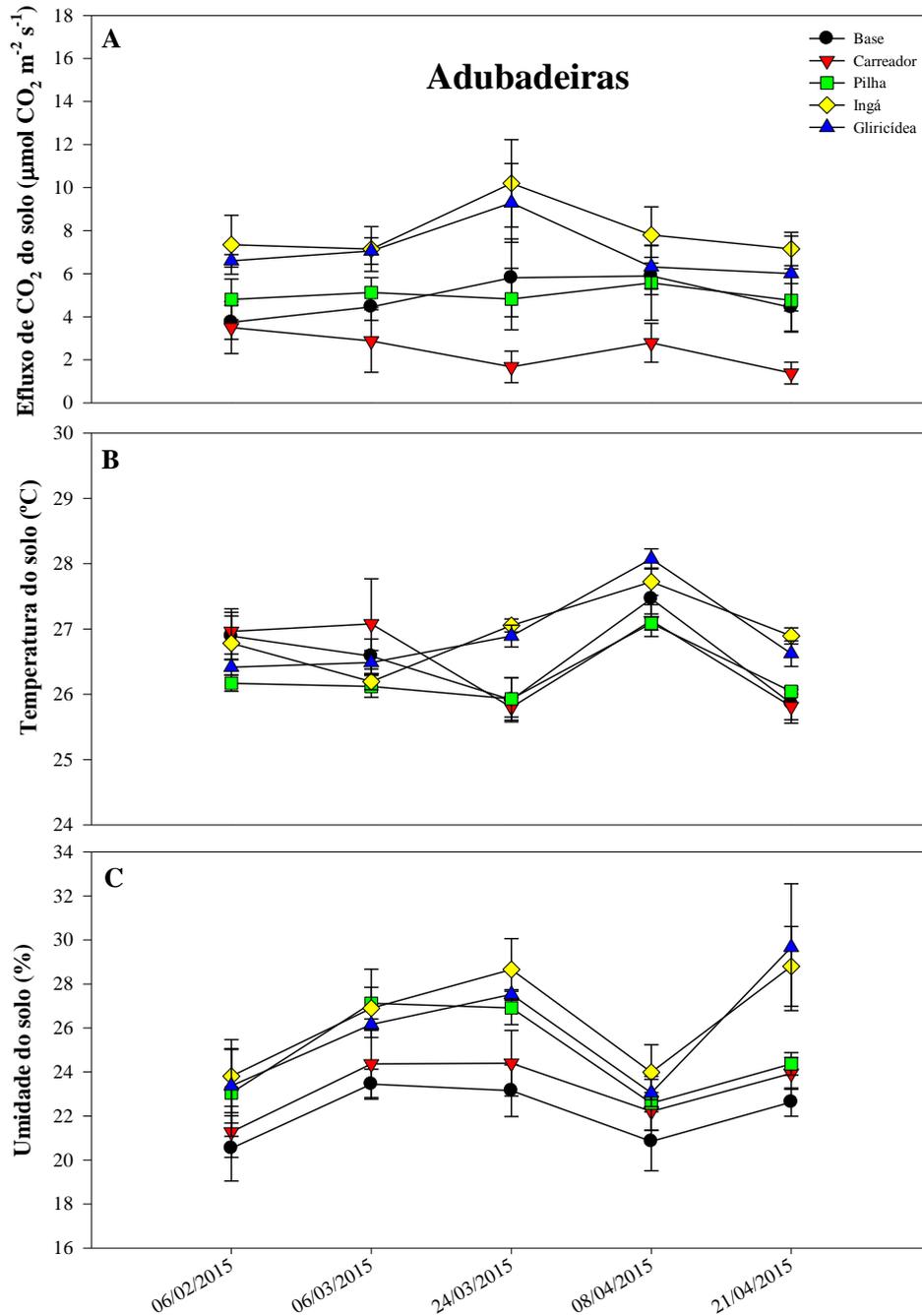


Figura 3. Variação temporal do efluxo de CO₂ do solo (A), temperatura do solo (B) e umidade do solo (C) em cultivo de palma de óleo em sistema agroflorestal com baixa diversidade de espécies plantadas (Adubadeiras) em Tomé Açu, Amazônia Oriental.

O efluxo de CO₂ do solo no sistema Biodiverso foi influenciado pela coleta (Tabela 1). Houve um aumento no efluxo de CO₂ do solo a partir da coleta de 24 de março de 2015 (Figura 4), assim como o aumento da temperatura e umidade do solo em todos os locais de amostragem (Anexo 2). No sistema Biodiverso, a temperatura do solo

foi maior na base e no carreador em relação aos demais locais de coleta. A umidade do solo foi menor na base, em todas as coletas.

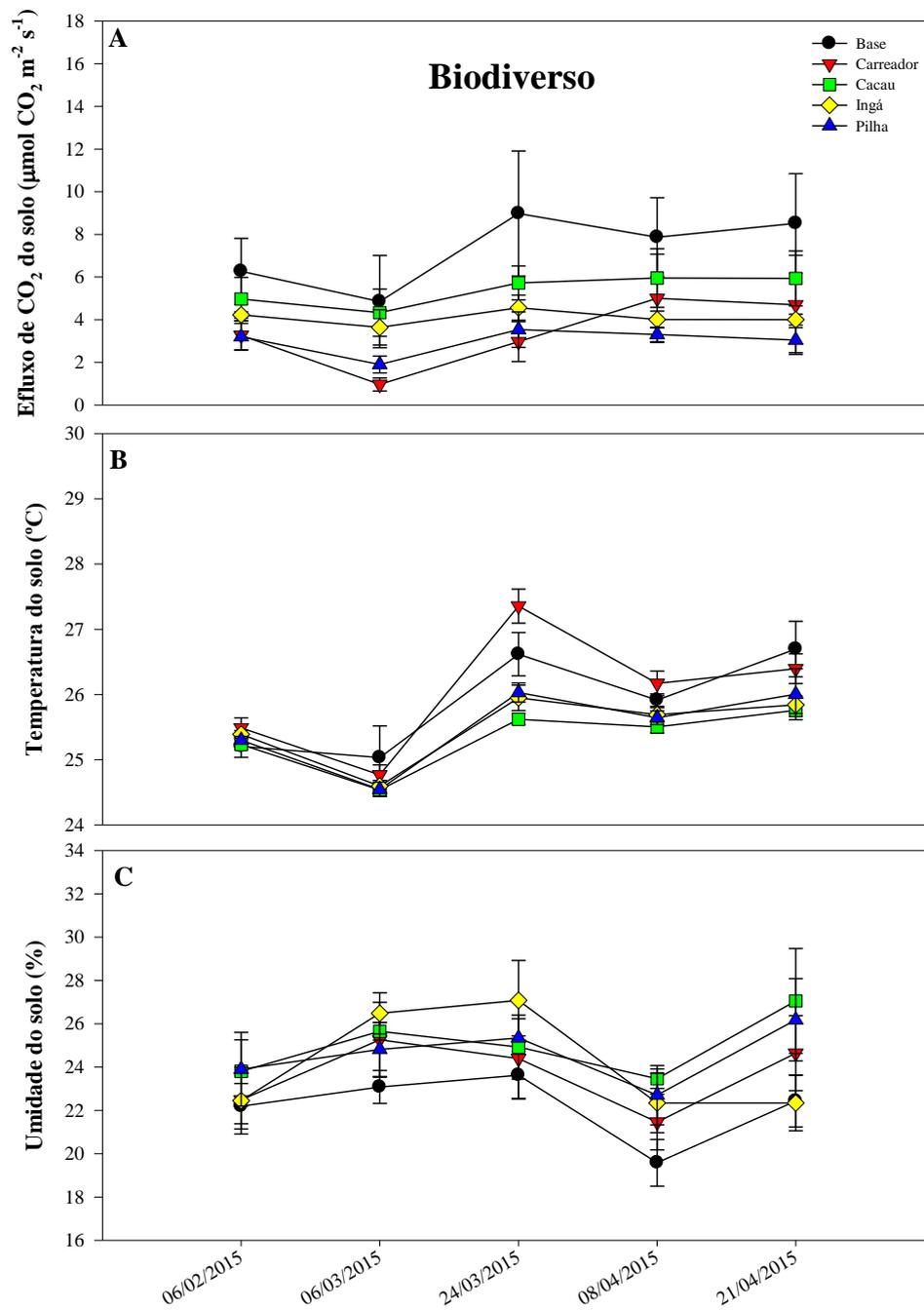


Figura 4. Variação temporal do efluxo de CO₂ do solo (A), temperatura do solo (B) e umidade do solo (C) em cultivo de palma de óleo em sistema agroflorestal com baixa diversidade de espécies plantadas (Biodiverso) em Tomé Açu, Amazônia Oriental.

O estoque de raízes muito finas (diâmetro ≤ 1 mm) na camada 0-10 cm do solo em diferentes locais dos sistemas agroflorestais com palma de óleo (Adubadeiras e Biodiverso) não sofreu influência de local de amostragem e também não foi influenciado pela interação sistemas x locais (Tabela 1; Figura 5).

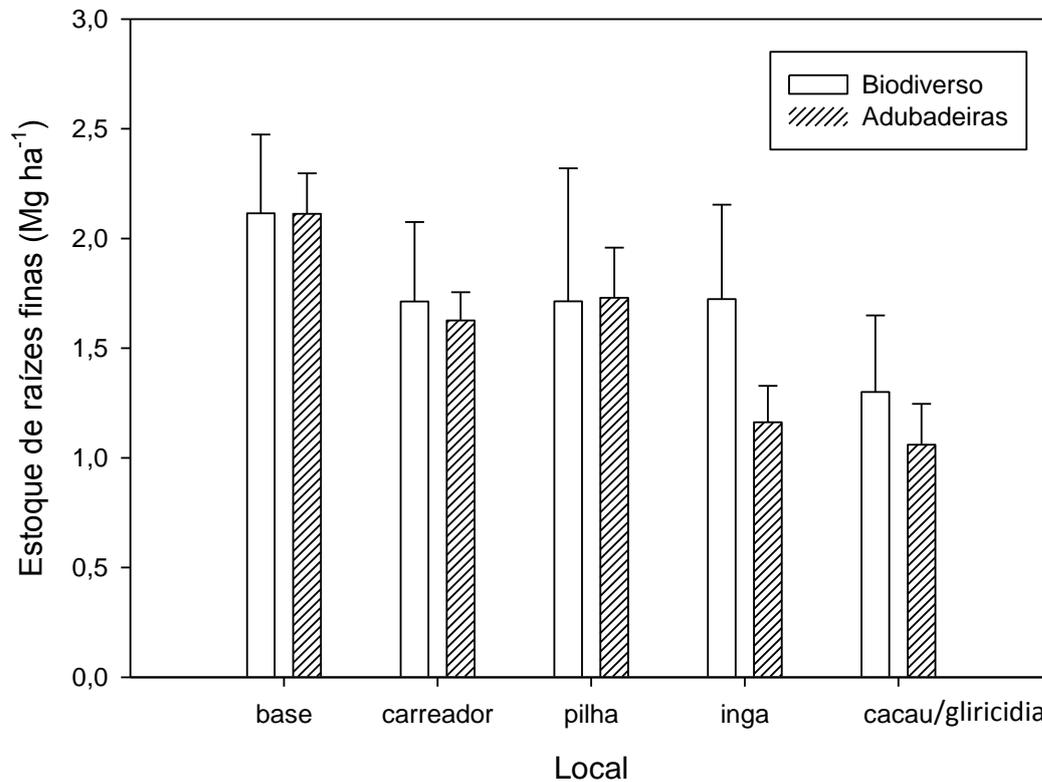


Figura 5. Estoque de raízes muito finas (diâmetro ≤ 1 mm) na camada 0-10 cm do solo em diferentes locais em cultivos de palma de óleo em sistema agroflorestal com baixa (Adubadeiras) e alta (Biodiverso) diversidade de espécies plantadas.

O estoque de raízes muito finas ≤ 1 mm na camada 0-10 cm do solo foi maior na área de influência da palma do que na área de influência das outras espécies do SAF (Figura 6).

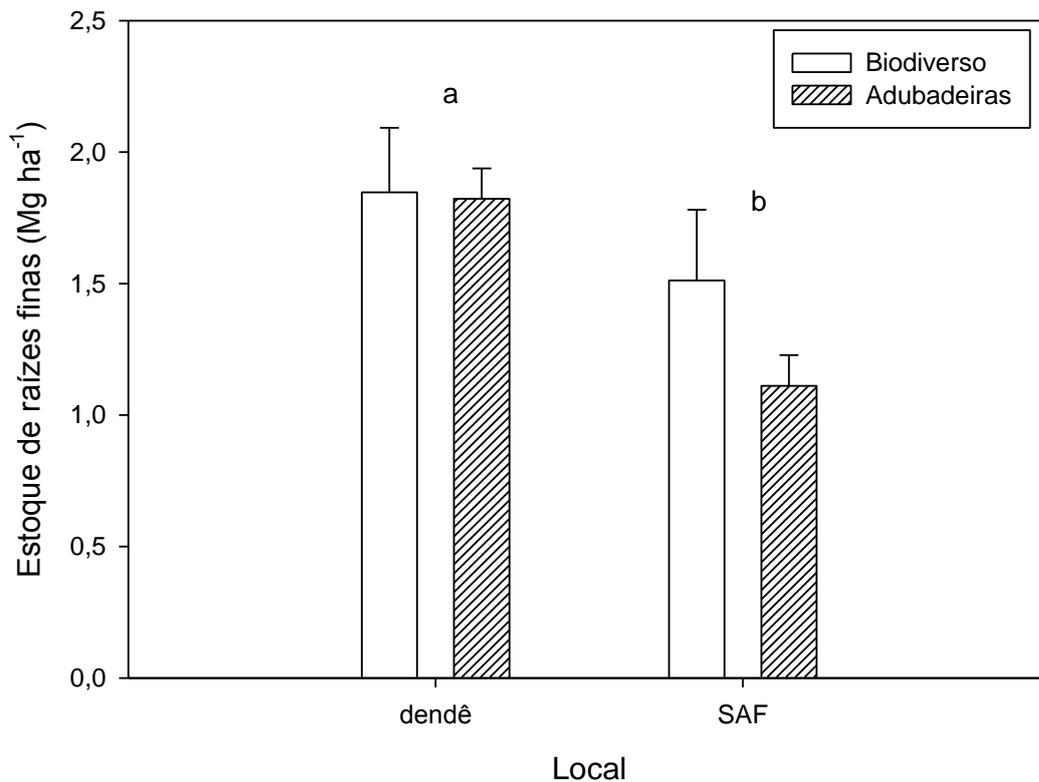


Figura 6. Estoque de raízes muito finas (diâmetro ≤ 1 mm) na camada 0-10 cm do solo nas áreas ocupadas pelas linhas de dendê e das outras espécies (SAF) em sistemas agroflorestais com palma de óleo. Letras diferentes indicam diferença significativa entre componentes (Tukey, $P < 0,05$).

A respiração microbiana do solo foi maior na segunda coleta (08 de abril de 2015) para ambos os sistemas e ambas as profundidades, indicando um aumento na atividade microbiana do solo no mês de abril (Figura 7). Para os dois sistemas, a respiração microbiana variou significativamente apenas entre períodos de coleta.

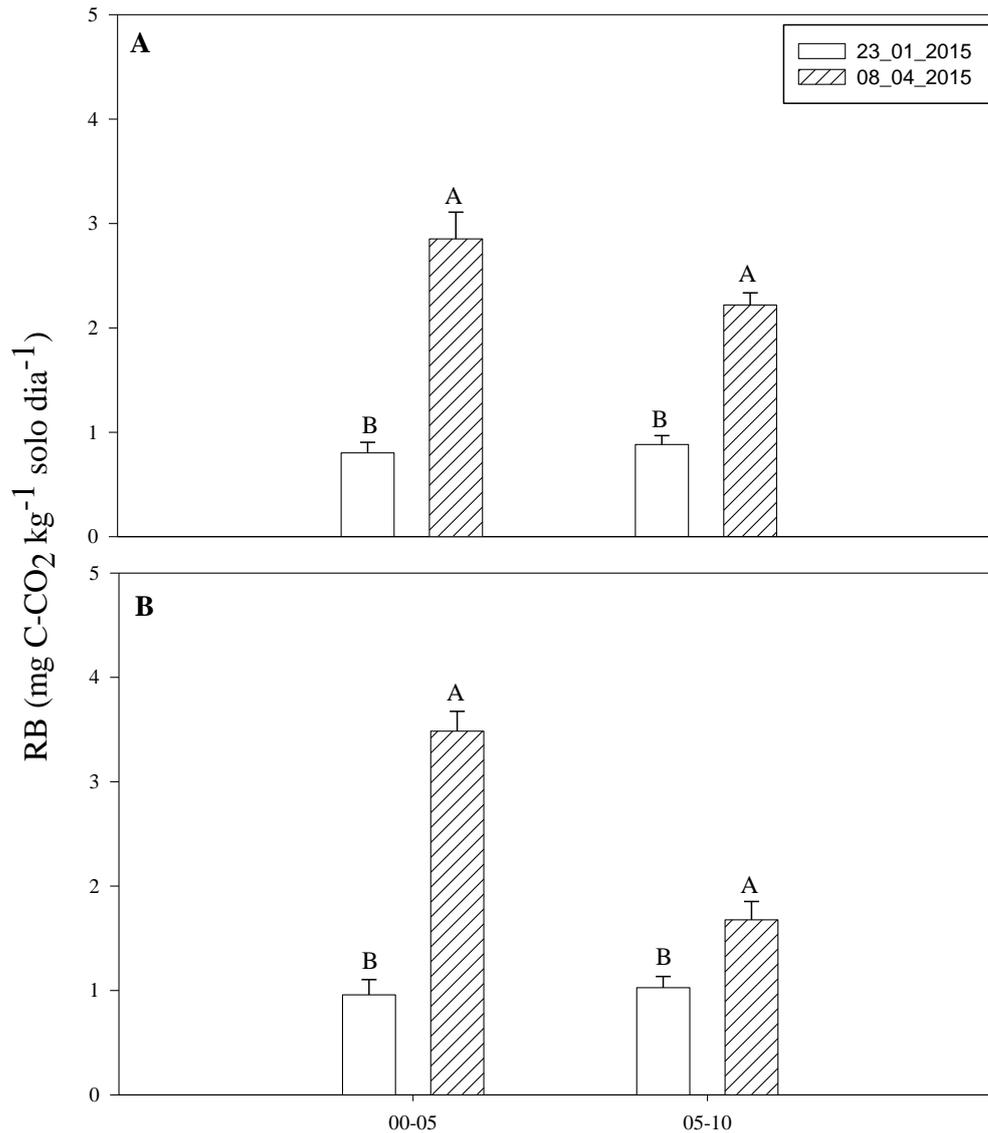


Figura 7. Respiração basal em cultivos de palma de óleo em sistemas agroflorestais com alta (Biodiverso) (A) e baixa (Adubadeiras) (B) diversidade de espécies. Letras diferentes indicam diferença significativa entre coletas para cada sistema (Tukey, $P < 0,05$).

O carbono da biomassa microbiana do solo (C-BMS) variou entre as coletas (Figura 8), sendo maior na segunda coleta (08 de abril de 2015).

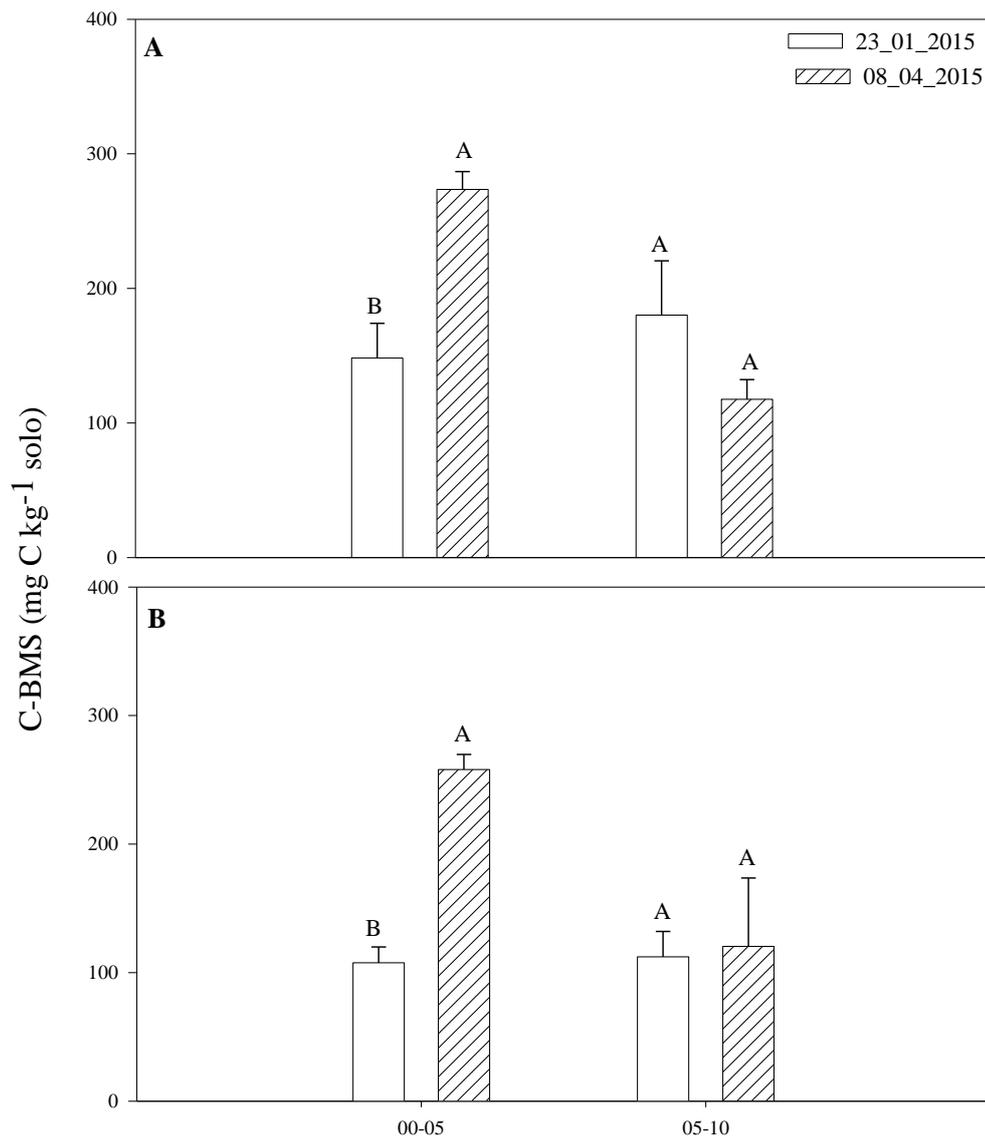


Figura 8. Carbono da biomassa microbiana do solo em cultivos de palma de óleo em sistemas agroflorestais com alta (Biodiverso) (A) e baixa (Adubadeiras) (B) diversidade de espécies. Letras diferentes indicam diferença significativa entre coletas para cada sistema (Tukey, $P < 0,05$).

Os teores de carbono e nitrogênio do solo não foram influenciados significativamente por sistemas, locais ou interação sistemas x locais (Figura 9).

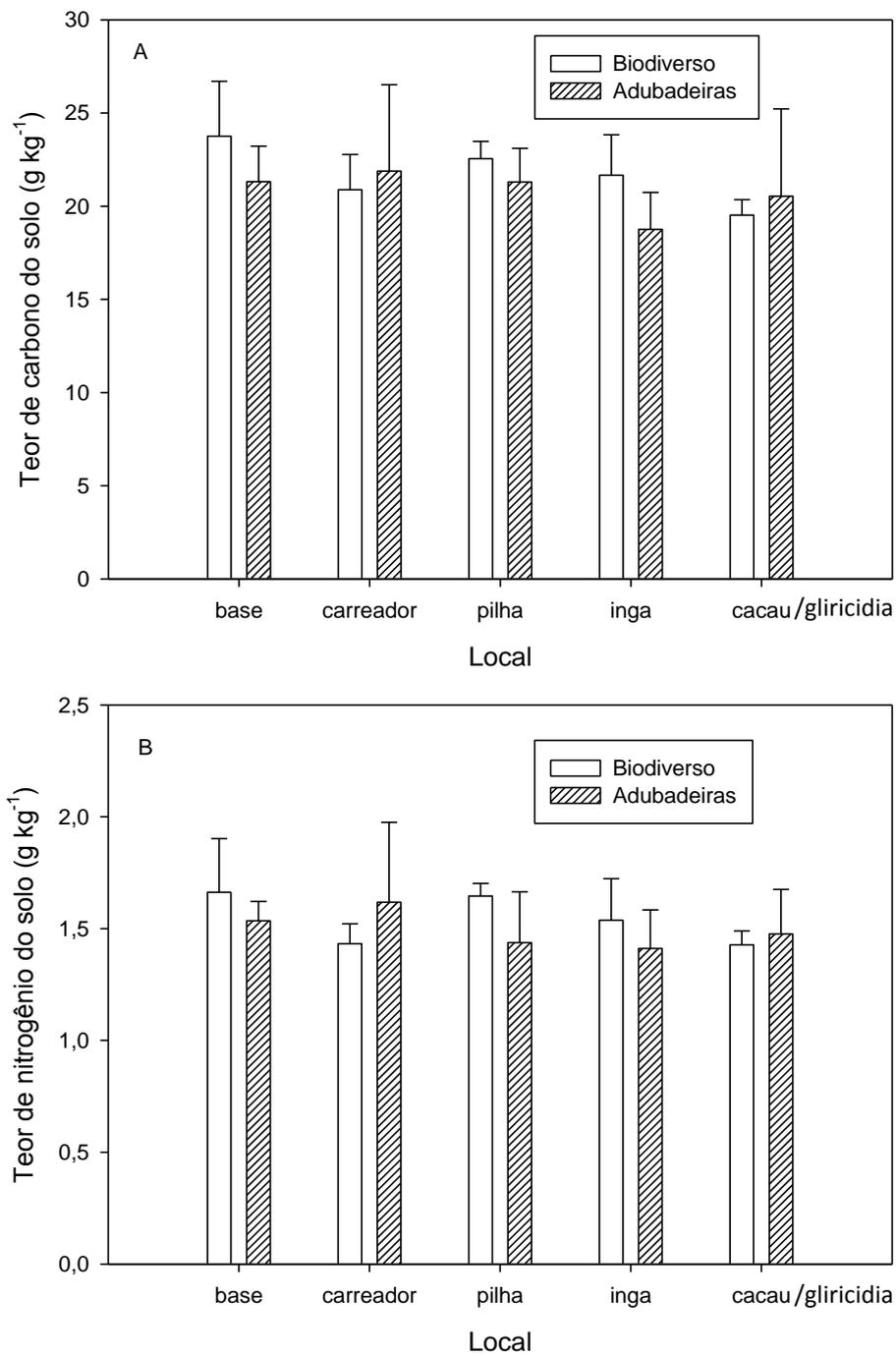


Figura 9. Teor de carbono (A) e nitrogênio (B) do solo nos diferentes locais de amostragem.

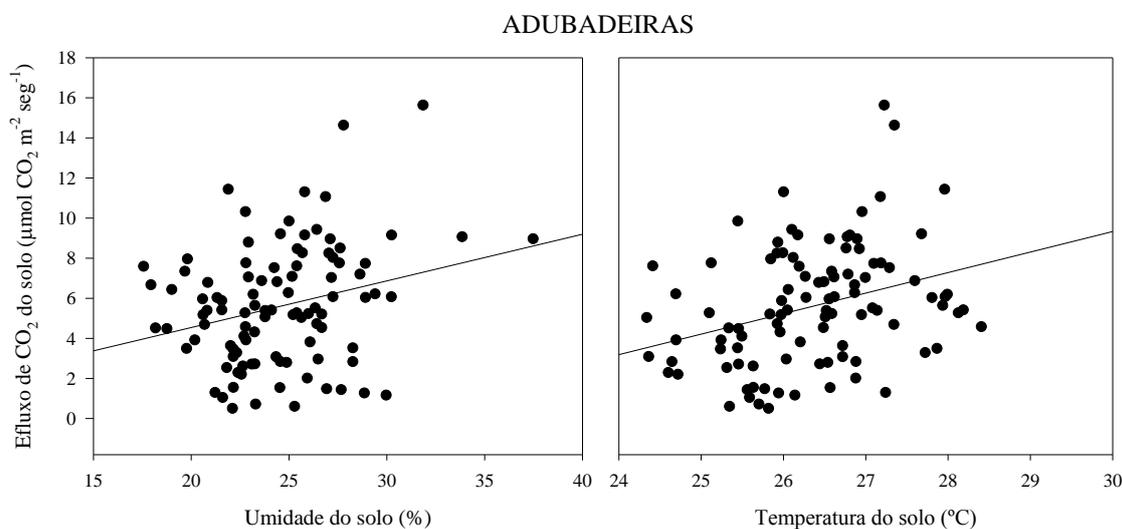
O estoque de serapilheira foi mais significativo estatisticamente nas frações folha e lenhoso > 1 cm apenas na área de influência outras espécies dos SAFs (Tabela 2).

Tabela 2. Estoque de serapilheira (Mg ha^{-1}) em diferentes locais (pilha, espécies do SAF, carreador e base), em sistemas de cultivo de palma de óleo com baixa (Adubadeiras) e alta (Biodiverso) diversidade de espécies plantadas ($n=5$). Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste Dunnett a 5%.

	Adubadeiras	Biodiverso	Adubadeiras	Biodiverso	Adubadeiras	Biodiverso
	Folha		Lenhoso > 1 cm		Lenhoso < 1 cm	
Pilha	0,0239 b	0,0191 b	0,0486 ab	0,0025 b	0,0001 a	0,0001 a
SAF	0,3942 a	0,1994 a	0,3636 a	0,6989 a	0,0043 a	0,0001 a
Carreador	0,0034 b	0,0043 b	0,0005 b	0,0001 b	0,0002 a	0,0089 a
Palma	0,0047 b	0,0048 b	0,0016 b	0,0021 b	0,0004 a	0,0003 a

Relação entre o efluxo de CO_2 e variáveis bióticas e abióticas do solo

Foram constatados índices de correlação linear, positivo e significativo ($r = 0,322$; $p < 0,01$), entre os valores de efluxo e temperatura do solo, e também positivo e significativo ($r = 0,266$; $p < 0,01$) (Anexo 3) entre os valores de efluxo e umidade gravimétrica do solo para o sistema Adubadeiras. Para o sistema Biodiverso foram constatados índice de correlação linear, positivo e significativo ($r = 0,529$; $p < 0,05$) (Anexo 3) apenas entre os valores de efluxo e temperatura do solo (Figura 10).



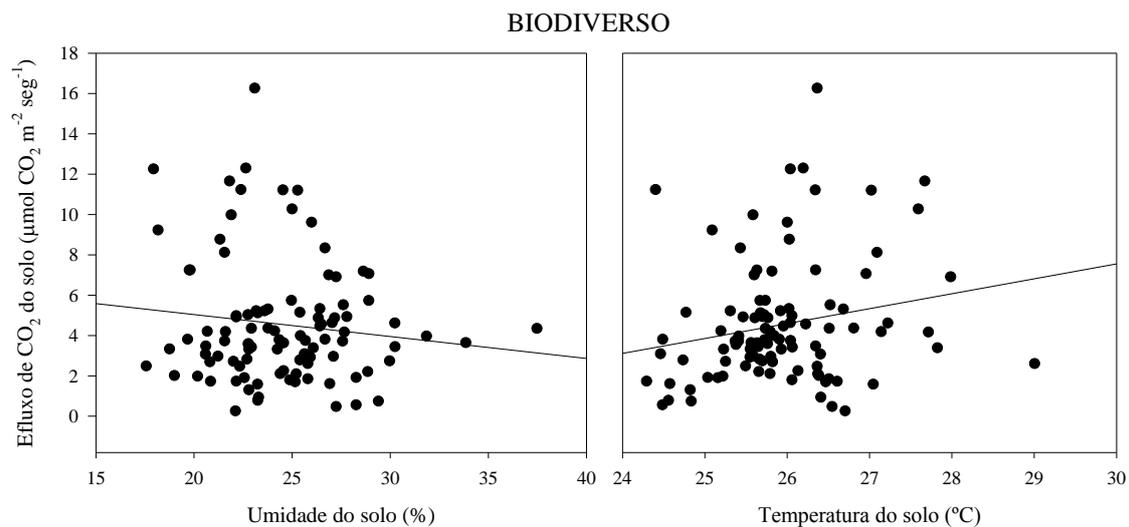
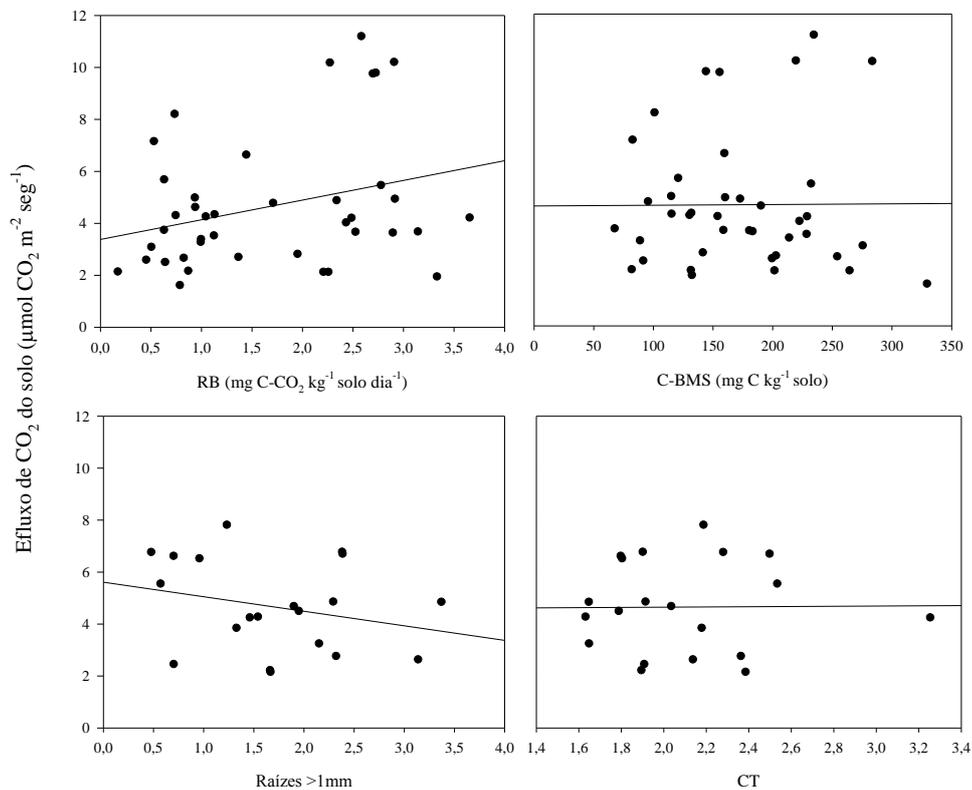


Figura 10. Correlação linear simples entre efluxo de CO₂, temperatura e umidade gravimétrica do solo em sistemas agroflorestais com baixa (Adubadeiras) e alta (Biodiverso) diversidade de espécies vegetais.

Na análise de correlação entre o efluxo de CO₂ e as variáveis bióticas foram encontrados índices de correlação linear, positivo e significativo ($r = 0,291$; $p < 0,1$) (Anexo 3) apenas entre a média de efluxo e respiração basal no sistema Biodiverso (Figura 11). No sistema Adubadeiras, o efluxo de CO₂ não se correlacionou significativamente com nenhuma variável.



ADUBADEIRAS

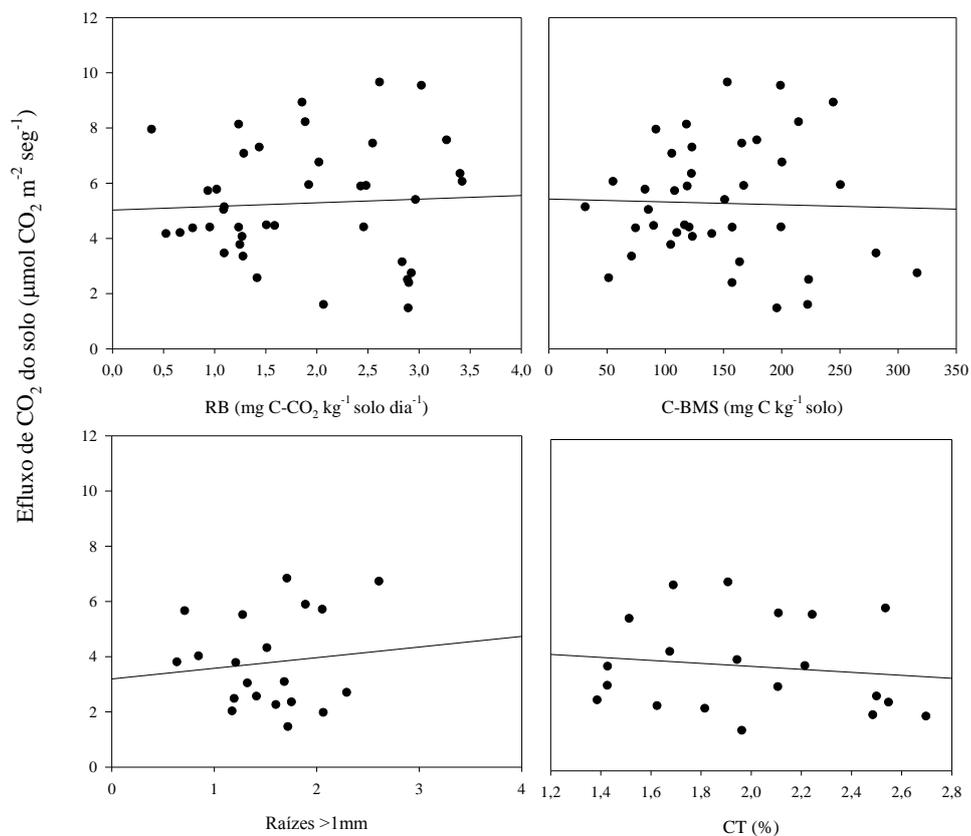


Figura 11. Correlação linear simples entre efluxo e variáveis bióticas do solo em sistemas agroflorestais com baixa (Adubadeiras) e alta (Biodiverso) diversidade de espécies vegetais (RB: Respiração Basal; C-BMS: Carbono da Biomassa Microbiana do Solo; CT: Carbono Total).

Comparação dos três sistemas analisados

A respiração do solo foi influenciada pela interação entre SAFs x coleta (Tabela 1). Na coleta do dia 06 de março de 2015, a respiração do solo foi maior no sistema Adubadeiras do que no Biodiverso e floresta secundária, que não diferiram entre si (Figura 12). Nas demais coletas os três sistemas analisados não diferiram significativamente entre si.

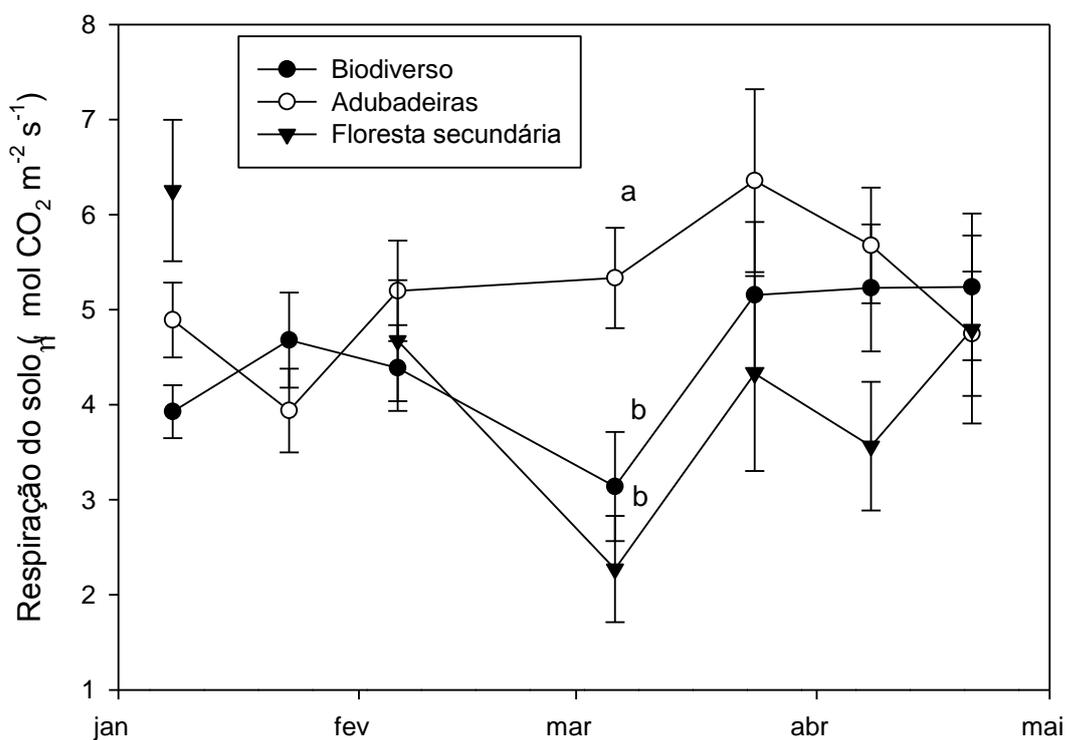


Figura 12. Variação temporal do efluxo de CO₂ do solo em cultivos de palma de óleo em sistemas agroflorestais com alta (Biodiverso) e baixa (Adubadeiras) diversidade de espécies cultivadas comparados com floresta secundária.

Houve efeito significativo do sistema de uso do solo no estoque de raízes muito finas (Figura 13), tendo o sistema de referência (floresta secundária) o maior estoque de raízes em relação aos sistemas agroflorestais com palma de óleo avaliados.

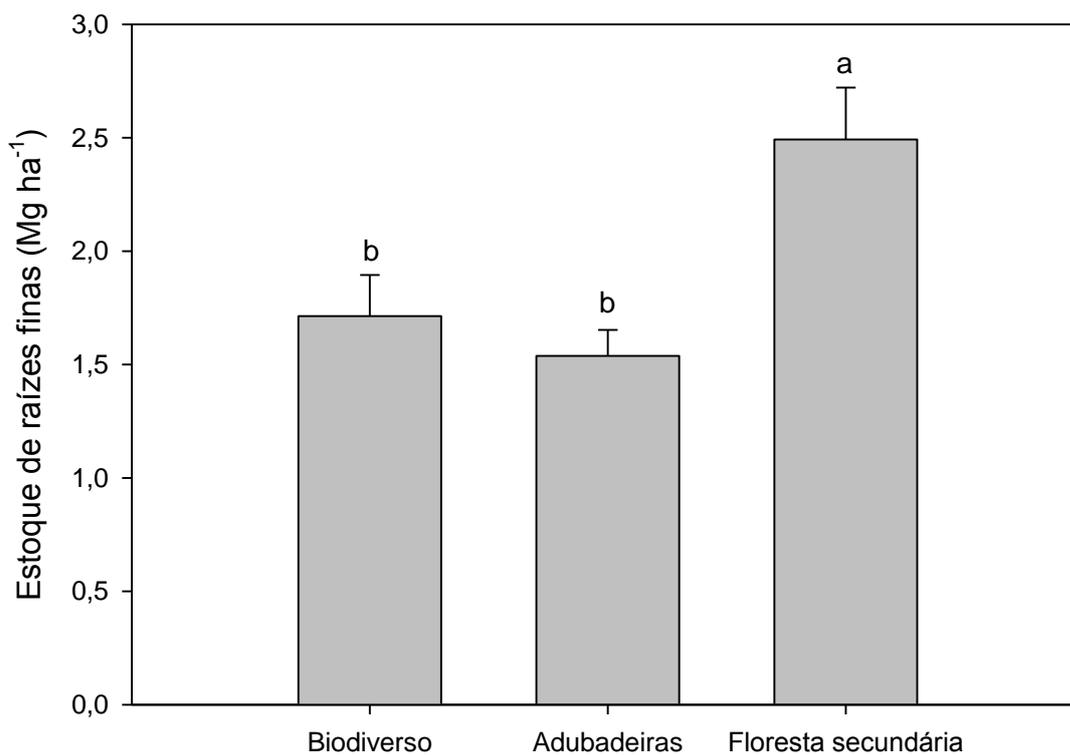


Figura 13. Estoque de raízes muito finas (diâmetro ≤ 1 mm) na camada 0-10 cm do solo em cultivos de palma de óleo em sistemas agroflorestais com baixa (Adubadeiras) e alta (Biodiverso) diversidade de espécies plantada. Letras diferentes indicam diferença significativa entre os sistemas (Tukey, $P < 0,05$).

A respiração basal não diferiu estatisticamente entre os SAFs e a floresta sucessional na profundidade 0-5 (Figura 14). Entretanto, na profundidade 5-10, o sistema Biodiverso apresentou maior respiração basal.

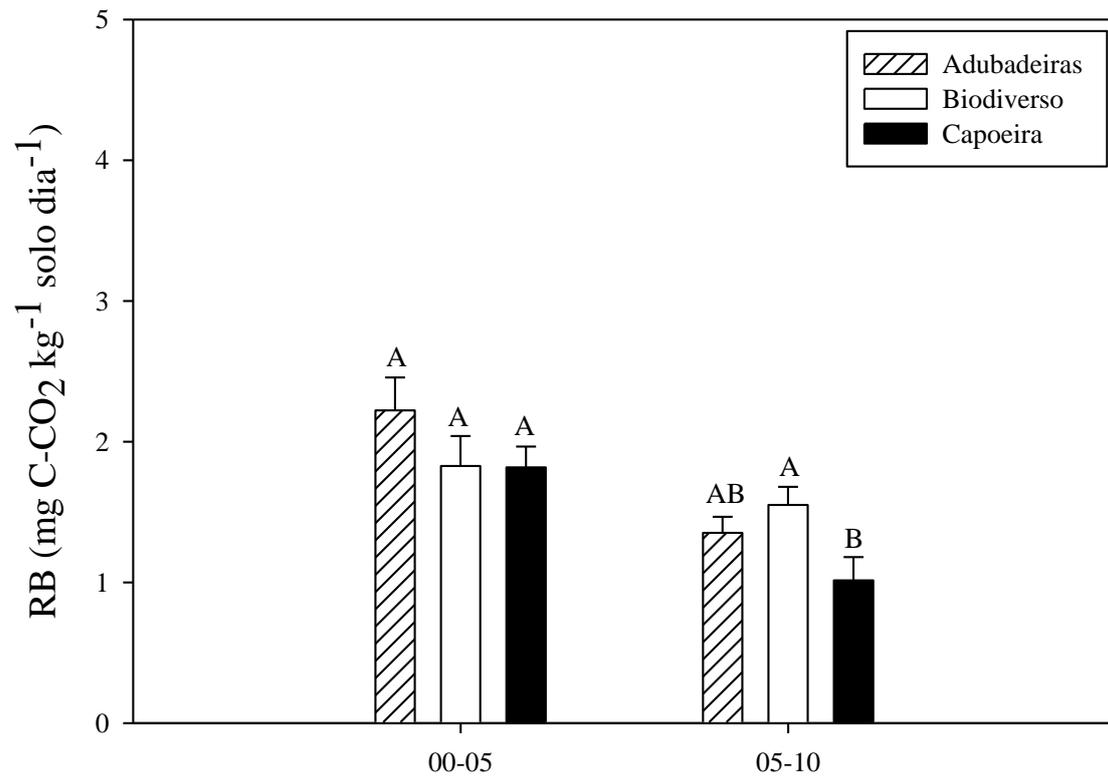


Figura 14. Respiração basal (RB) em cultivos de palma de óleo em sistemas agroflorestais com alta (Biodiverso) e baixa (Adubadeiras) diversidade de espécies e floresta secundária. Em cada profundidade, letras diferentes indicam diferença significativa entre os sistemas (Tukey, $P < 0,05$).

O carbono da biomassa microbiana do solo (C-BMS) na profundidade 0-5 cm foi maior na floresta secundária do que nos SAFs e, entre os SAFs, o Biodiverso apresentou C-BMS maior do que o Adubadeiras (Figura 15). Para a profundidade 5-10 não houve diferença significativa entre os três sistemas.

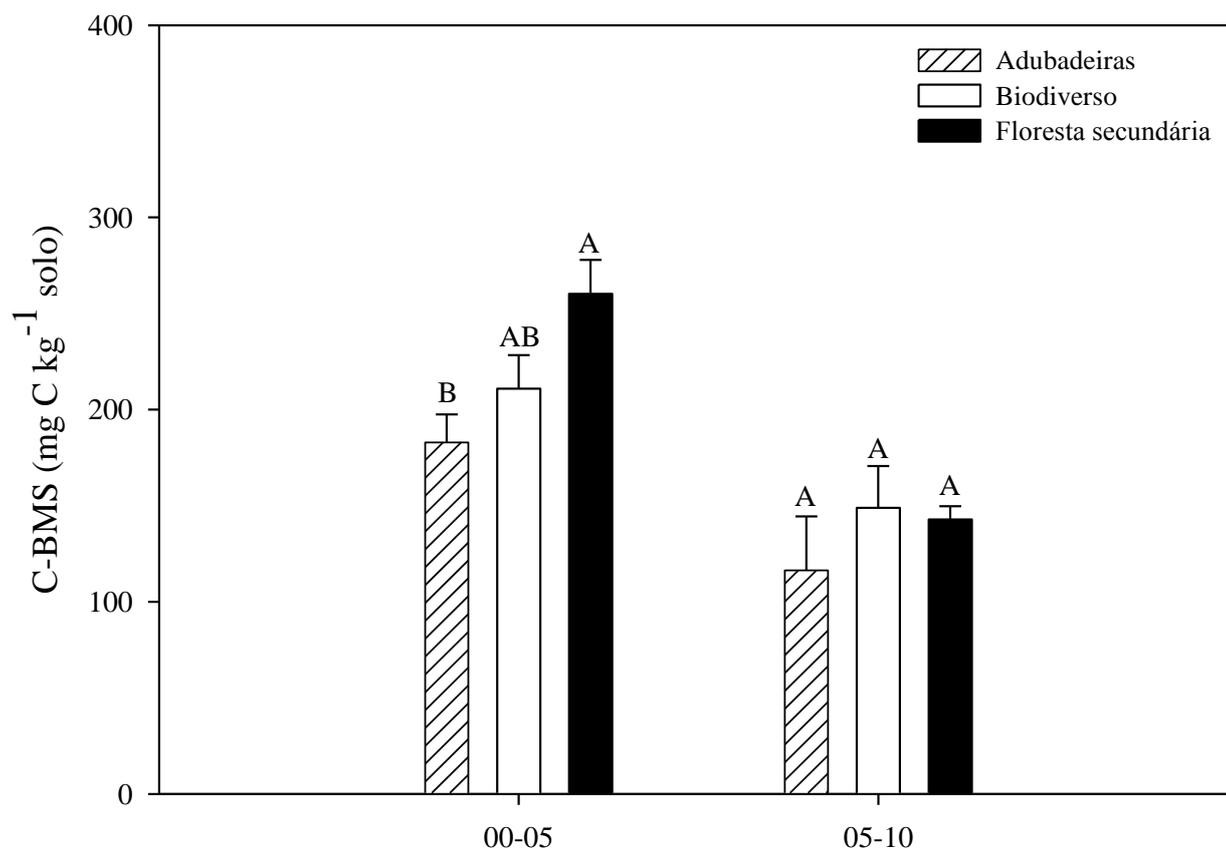


Figura 15. Carbono da biomassa microbiana em cultivos de palma de óleo em sistemas agroflorestais com alta (Biodiverso) e baixa (Adubadeiras) diversidade de espécies e floresta secundária. Letras diferentes indicam diferença significativa entre os sistemas (Tukey, $P < 0,05$).

Os teores de carbono e nitrogênio do solo não foram influenciados pelos sistemas (Figura 16).

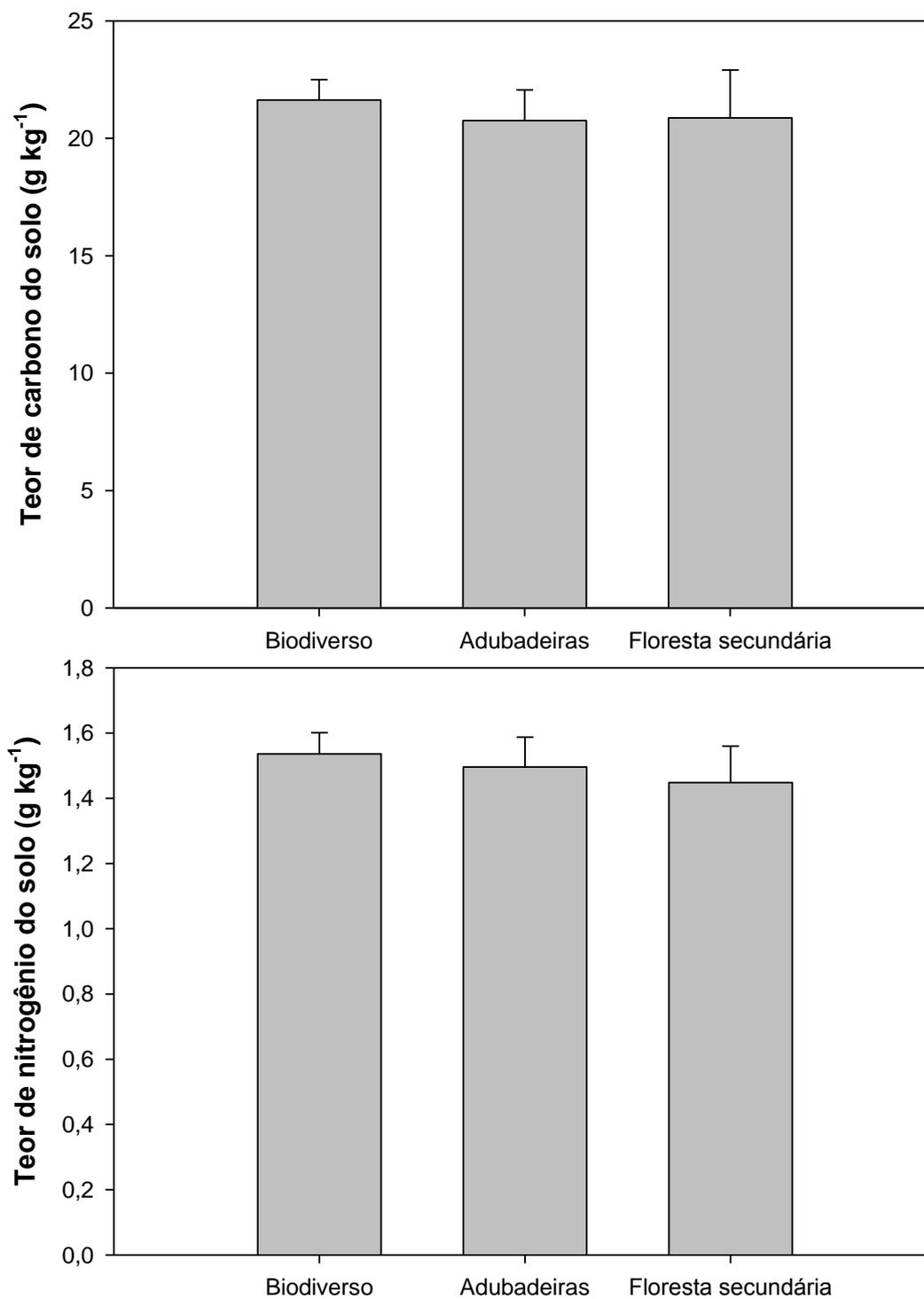


Figura 16. Teor de carbono (A) e nitrogênio (B) do solo (camada 0-10 cm) de cultivos de palma de óleo em sistemas agroflorestais com alta (Biodiverso) e baixa (Adubadeiras) diversidade de espécies cultivadas comparados com floresta secundária.

DISCUSSÃO

Efluxo de CO₂ do solo, temperatura e umidade do solo

A temperatura e a umidade do solo são fatores abióticos descritos na literatura com maior influência sobre o efluxo de CO₂ do solo em diversos ecossistemas (SMITH, 2005; BUTLER *et al.*, 2012). Neste estudo a temperatura e a umidade do solo também foram as variáveis que exerceram maior controle sobre o efluxo de CO₂ do solo nos dois sistemas agroflorestais avaliados, determinando sua variação ao longo do tempo e dos locais de coleta. Valentini (2003) considera a umidade do solo um fator limitante para a ocorrência das reações químicas de decomposição da matéria orgânica do solo. Portanto, altos teores de umidade podem acelerar as reações químicas no solo, embora medições logo após eventos pluviométricos possam causar diminuição no efluxo de CO₂ do solo devido a saturação dos poros por água (COELHO, 2005).

O uso de leguminosas para manejo de adubação (podas periódicas), como é feito no sistema Adubadeiras, adiciona ao solo altas quantidades de serapilheira, principalmente na fração folha (Tabela 2), o que provoca aumento da atividade metabólica de bactérias presentes nas raízes dessas plantas e no solo, resultando em uma maior emissão de gases traços (EGGLESTON, 2006), como foi verificado na Figura 3. O tráfego de máquinas agrícolas durante o manejo representa a principal causa de compactação dos solos, determinando as relações entre ar, água e temperatura do solo (LETEY, 1985). A compactação do solo em áreas trafegadas (carreador) por implementos agrícolas durante o manejo de colheita de frutos e adubação com restos de cachos, provavelmente causa compactação do solo ocasionando diminuição do espaço poroso do solo, o que pode estar relacionado ao menor efluxo de CO₂ neste local de amostragem.

A variação dos resultados de temperatura do solo nos sistemas agroflorestais analisados estão relacionados à diferença entre a área de sombreamento (tamanho das folhas e copa das plantas), direção do plantio da palma em relação às outras espécies do SAF, e a poda das espécies consorciadas do SAF, o que pode explicar, por exemplo, a diferença de temperatura entre os sistemas analisados. O nível de sombreamento influencia diretamente nas flutuações de temperatura e umidade do solo (OLIVEIRA *et al.*, 2005), pois quanto maior a proteção do solo à incidência de radiação solar, menor a temperatura do solo e maior umidade do solo próximo as plantas. A direção de plantio

das culturas em um sistema agrícola também ocasiona maior oscilação de temperatura pela diferença na exposição à insolação (OLIVEIRA *et al.*, 2005).

Variáveis bióticas do solo

O nível de precipitação pluviométrica afeta diretamente a umidade e temperatura do solo, os quais têm influência direta na atividade da microbiota. Neste contexto, alguns trabalhos verificaram relações lineares entre o potencial de água no solo e sua atividade biológica (RAI; SRIVASTAVA, 1981; ORCHARD; COOK, 1983), o que pôde ser visto neste estudo também.

O maior estoque de raízes muito finas na área de influência da palma do óleo, quando comparado ao estoque de raízes muito finas na área de influência das outras espécies do SAF (raízes pivotantes e de crescimento vertical), deve-se ao tipo de sistema radicular da palma (fasciculado). De maneira generalizada o comprimento horizontal dessas raízes acompanha a projeção da copa (GOMES JUNIOR *et al.*, 2007). Outro fator importante é que as raízes da palma se desenvolvem melhor em condições de maior matéria orgânica e menor compactação do solo, provavelmente em direção aos SAF's que tem a camada de serapilheira e maior disponibilidade de matéria orgânica no solo.

O aumento da respiração basal e do carbono da biomassa microbiana ao longo do tempo se deu, provavelmente, em função da intensificação das chuvas na região. Diversos autores já haviam constatado que os atributos biológicos do solo, como biomassa microbiana e respiração basal, são altamente sensíveis a alterações ambientais ou antrópicas, como, por exemplo, o aumento da pluviosidade (ALMEIDA, 1991; ESPINDOLA *et al.*, 2001; WÜTHRICH *et al.*, 2002; SANTIAGO, 2012).

Não houve influência dos sistemas nos teores de carbono e nitrogênio do solo, sugerindo que os sistemas agroflorestais estão sendo eficientes na manutenção dos teores de carbono e nitrogênio próximos ao que seria ideal do ponto de vista ambiental, considerando-se a floresta secundária como referência.

Análise da transição floresta-sistemas agroflorestais

O resultado obtido nesta análise mostra que o manejo e a composição florística do Sistema Adubadeiras tem contribuído para o maior efluxo de CO₂ do solo na área compreendida pelas espécies consorciadas do SAF (ingá e glirícidia) devido ao maior estoque de serapilheira na fração folha e lenhoso < 1 cm neste sistema (Tabela 2). O

maior estoque de raízes muito finas na floresta secundária pode estar associado a diversidade e dispersão das espécies, que se dá de forma aleatória, diferentemente dos demais sistemas. É importante investir na produção de raízes finas, pois estas maximizam a aquisição de nutrientes do solo, considerando que as florestas tropicais estão sobre solos pobres em nutrientes (GOWER, 1987). Na profundidade 5-10, o sistema Biodiverso apresentou maior respiração basal, que pode estar relacionado a maior profundidade e volume das raízes das espécies arbóreas e florestais (KELTING; BURGER; EDWARDS, 1998) desse sistema.

A floresta secundária apresentou maior carbono da biomassa microbiana corroborando com os resultados encontrados por Kaschuk; Alberton; Hungria (2011), que quantificaram os efeitos de diferentes sistemas de uso do solo sobre a biomassa e atividade microbiana em diversos biomas brasileiros. Estes autores observaram que, em todos os biomas, a substituição da vegetação natural por práticas agrícolas alterou o C-BMS, com redução em torno de 30 %. Santiago (2012) encontrou uma relação C/N menor na floresta secundária, o que pode contribuir para o maior percentual de carbono imobilizado na biomassa microbiana nesse sistema.

De acordo com Maia *et al.* (2010), culturas perenes, como é o caso da palma de óleo, exercem um impacto mínimo sobre os estoques de carbono do solo, sugerindo que estes sistemas podem manter cerca de 98 % do carbono orgânico do solo encontrado em vegetação nativa, o que justifica o fato de o carbono e nitrogênio total não apresentarem diferença estatística entre os sistemas analisados.

Frazão *et al.* (2013) também encontraram resultados que mostraram que o estoque de carbono orgânico do solo é mantido semelhante ao previsto para floresta nativa, que pode ser atribuído as práticas de manejo que minimizam o revolvimento do solo e maximizam o retorno de resíduos vegetais (WEST; MARLAND, 2002; OGLE; BREIDT; PAUSTIAN, 2005; ZINN; LAL; RESCK, 2005).

A diferença não significativa entre os sistemas agroflorestais e a floresta secundária quanto aos teores de carbono e nitrogênio evidencia o provável caráter conservacionista dos sistemas de produção de palma de óleo no presente estudo corroborado pelo estudo de Santiago (2012). No estudo realizado por Sampaio (2008) foi avaliado o sistema de corte-e-trituração da vegetação secundária sobre a dinâmica do carbono no solo no nordeste paraense e foi constatado que na maioria dos períodos avaliados não houve diferença significativa entre o sistema sob trituração e a floresta secundária quanto ao conteúdo de carbono total do solo.

Em estudos feitos anteriormente por Carvalho (2011), na mesma área de estudo desta pesquisa, foram encontrados valores menores de carbono do solo para os mesmos sistemas analisados nesta pesquisa. Em seu estudo, a concentração de carbono orgânico total foi menor para a floresta secundária comparada com os sistemas agroflorestais estudados, porém vale ressaltar que tanto a floresta quanto os SAFs eram mais jovens, que o pode justificar a divergência de resultados entre as pesquisas.

Análise integrada

De modo geral, a temperatura do solo foi a variável que mais influenciou no efluxo de CO₂ do solo, considerando os dois sistemas agroflorestais analisados nesta pesquisa, porém é importante salientar que este resultado é fruto de poucos meses de coleta, o que pode não representar de fato o comportamento integrado dessas variáveis dentro do ecossistema estudado. Além disso, os horários de coleta (Anexo 5) em ambos os sistemas podem ter influenciado diretamente nos resultados de temperatura e umidade do solo, visto que as características de manejo, como a composição florística, de ambos os sistemas fazia com que fosse esperado um resultado diferente do encontrado nesse estudo quanto à amplitude térmica (Anexo 6) e efluxo de CO₂ do solo.

Quando compara-se os dois sistemas agroflorestais com a floresta secundária esperava-se que a floresta secundária apresentaria o maior efluxo de CO₂ devido a maior diversidade de espécies e ao período de coleta, quando houve um aumento das precipitações pluviométricas e aumento da atividade microbiana evidenciada nos resultados obtidos de respiração basal e carbono da biomassa. Segundo Dias; Ruijven; Berendse (2010), a riqueza de espécies afeta o efluxo de CO₂ do solo por meio de mudanças na biomassa, que geralmente é maior nos sistemas com maior número de espécies, conseqüentemente levando a um aumento do efluxo de CO₂ do solo. E, na Amazônia, é observado um aumento do efluxo de CO₂ do solo no período chuvoso devido, provavelmente, ao aumento da produtividade neste período. Este aumento pode afetar positivamente a respiração de raízes e microrganismos do solo, pois as condições tornam-se favoráveis para decomposição da matéria orgânica, sendo o acúmulo de serapilheira durante o período seco e o aumento da umidade do solo no período chuvoso os maiores contribuintes para esse resultado (ZANCHI *et al.*, 2009). Porém, o que foi encontrado nesse estudo diferiu desse resultado esperado, em que o sistema menos diversificado (Adubadeiras) apresentou maior efluxo de CO₂, sendo necessário a investigação de outras variáveis não agregadas no presente estudo.

CONCLUSÃO

De forma geral, a transição de floresta secundária para sistemas agroflorestais com palma de óleo afetou positivamente a qualidade ambiental do solo neste estudo, porém é preciso uma gestão adequada desses sistemas para potencializar as vantagens desta conversão. As alterações nas variáveis que determinam a qualidade ambiental dos agroecossistemas estão ligadas a impactos decorrentes de mudanças na estrutura e na composição de espécies desses sistemas, assim como de manejo da matéria orgânica do solo.

A variabilidade do efluxo de CO₂ do solo nestes sistemas pode ser explicada por diversos fatores, como variações temporais, espaciais e manejo.

Entre as variáveis bióticas e abióticas analisadas neste estudo, a que mais influenciou no efluxo de CO₂ foi a temperatura do solo. Entretanto, o caráter de curta duração do estudo requer avaliações de mais longo prazo para avaliar o papel da temperatura do solo sobre o efluxo de CO₂ do solo ao longo do ano.

É preciso também considerar na análise dos resultados a metodologia de coleta, como, por exemplo, os horários de início de medição, e fatores meteorológicos, como a maior ou menor cobertura de nuvens nos dias de coleta.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, D. L. **Contribuições da adubação orgânica para a fertilidade do solo**. 1991. 192f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Itaguaí, 1991.
- BAENA, A.R.C.; FALESI, I.C. **Avaliação do potencial químico e físico dos solos sob diversos sistemas de uso da terra na Colônia Agrícola de Tomé-Açu, Estado do Pará**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 1999. 23p. (Embrapa Amazônia Oriental. Boletim de Pesquisa, 18.).
- BIODIESEL. **Agricultura Familiar, Emprego e o Lado Social do Biodiesel**. Disponível em: <<http://www.biodieselbr.com/biodiesel/social/aspectos-sociais.htm>> Acesso em: 21/12/2014.
- BROOKES, P.C.; LANDMAN, A.; PRUDEN, G.; JENKINSON, D.S. Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen: a rapid direct extraction method to measure microbial biomass nitrogen in soil. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 17, p. 837- 842, 1985.
- BUTLER, A.; MEIR, P.; SAIZ, G.; IPES, L. M.; MARIM, B. S.; GRACE, J. Annual variation in soil respiration and its component parts in two structurally contrasting woody savannas in Central Brazil. **Plant and Soil**, v. 352, p. 129-142, 2012.
- CARVALHO, W.R. **Estoque de carbono e fracionamento físico da matéria orgânica do solo sob cultivo de palma de óleo (*Elaeis guineensis*) em sistemas agrofloreais na Amazônia Oriental**. 2011. 69f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2011.
- COELHO, M.M. **Estudo da respiração do solo em Floresta de Transição no Sudoeste da Amazônia**. 2005. 51f. Dissertação (Mestrado em Física e Meio Ambiente) – Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal de Mato Grosso. Cuiabá, 2005.
- DIAS, A.T.C.; RUIJVEN, J.V.; BERENDSE, F. Plant species richness regulates soil respiration through changes in productivity. **Oecologia**, v. 163, p. 805-813, 2010.
- DIAS, J.D. **Fluxo de CO₂ proveniente da respiração do solo em áreas de florestas nativa da Amazônia**. 2006. 87f. Dissertação (Mestrado em Ecologia Aplicada) - Escola superior de Agricultura Luiz de Queiroz – ESALQ, Piracicaba, 2006.
- EGGLESTON, H.S.; BUENDIA, L.; MIWA, K.; NGARA, T.; TANABE, K. **IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories**. Hayama: Institute for Global Environmental Strategies, 2006.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. rev. e atual. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1997. 212p. (Documentos 1).
- _____. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2 ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 2006.

_____. Embrapa Amazônia Ocidental. **Projeto de Dendê**: Palma Amazonas. Manaus: Embrapa-CPAA, 2002.

ESPINDOLA, J.A.A.; ALMEIDA, D.L.; GUERRA, J.G.M.; SILVA, E.M.R. Flutuação sazonal da biomassa microbiana e teores de nitrato e amônio de solo coberto com *paspalum notatum* em um agroecossistema. **Floresta e Ambiente**, v. 8, n. 1, p. 104-113, 2001.

FEIGL, B.J.; SPARLING, G.P.; ROSS, D.J.; CERRI, C.C. Soil microbial biomass in amazonian soils: Evaluation of methods and estimates of pool sizes. **Soil Biology Biochemistry**, v. 27, p. 1467-1472, 1995.

FRAZÃO, L.A.; PAUSTIAN, K.; CERRI, C.E.P.; CERRI, C.C. Soil carbon stocks and changes after oil palm introduction in the Brazilian Amazon. **Global Change Biology Bioenergy**, v. 5, p. 384-390, 2013.

GOMES-JUNIOR, R.A.; MOLDES, C.; DELITE, F.S.; GRATÃO, P.L.; MAZZAFERA, P.; LEA, P.J.; AZEVEDO, R.A. Selenium-induced oxidate stress in coffee cell suspension cultures. **Functional Plant Biology**, Victoria, v. 34, p. 449-456, 2007.

GOWER, S.T. Relations between mineral nutrient availability and fine root biomass in two Costa Rican tropical wet forests: a hypothesis. **Biotropica**, v. 19, p. 171-175, 1987.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. IBGE. **Censo 2010**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home>>. Acesso em: 25 mar. 2015.

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

KASCHUK, G.; ALBERTON, O.; HUNGRIA, M. Quantifying effects of different agricultural land uses on soil microbial biomass and activity in Brazilian biomes: Inferences to improve soil quality. **Plant Soil**, v. 338, p.467-481, 2011.

KELTING, D. L.; BURGER, J. A.; EDWARDS, G. S. Estimating root respiration, microbial respiration in rhizosphere, and root-free soil respiration in forest soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 30, n. 7, p. 961-968, 1998.

KNUPP, A.M.; FERREIRA, E.P.B. **Uso de espectrofotometria como alternativa para a diminuição da produção de resíduos de cromo na quantificação do carbono da biomassa microbiana**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2009. 32 p. (Embrapa Arroz e Feijão. Documentos, 248).

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

LETEY, J. Relationship between soil physical properties and crop productions. **Advanced Soil Science**, v. 1, p. 277-294, 1985.

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

MORARU, P.I.; RUSU, T.; SOPTEREAN, M.L. Soil Tillage Conservation and its Effect on Erosion Control, Water Management and Carbon Sequestration. **Pro Environment**, v. 3, p. 359-366, 2010.

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

OLIVEIRA, M.L.; RUIZ, H.A.; COSTA, L.M.; SCHAEFER, C.E.G.R. Flutuações de temperatura e umidade do solo em resposta à cobertura vegetal. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, p. 535-539, 2005.

ORCHARD, V.; COOK, F.J. Relationship between soil respiration and soil moisture. **Soil Biology Biochemistry**, v. 15, n. 4, p. 447-453, 1983.

RAI, B.; SRIVASTAVA, A.K. Studies on microbial population of a tropical dry deciduous forest soil in relation to soil respiration. **Pedobiologia**, v. 22, p. 185-190, 1981.

RYAN, M.G.; LAW, B.E. Interpreting, measuring, and modeling soil respiration. **Biogeochemistry**, v. 73, p. 3–27, 2005.

SAMPAIO, I.C.G. **Biogeoquímica do carbono em solos de parcelas sob trituração, sob queima e sob capoeira**. 2008. 81f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade Federal do Pará. Belém, 2008.

SANTIAGO, W.R. **Biomassa Microbiana e Nitrogênio Mineral no Solo sob Sistemas Agroflorestais com Palma de Óleo em Tomé Açu, Pará**. 2012. 59f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2012.

SILVA, G.R.; SENA, W.L.; SILVA JUNIOR, M.L. Carbono e nitrogênio da biomassa microbiana como indicadores ambientais de um latossolo amarelo sob diferentes sistemas de manejo. Marituba, Pará. **Revista de Ciências Agrárias**, Belém, n. 48, p.71-84, 2007.

SMITH, V.R. Moisture carbon and inorganic nutrient controls of soil respiration at a sub-Antarctic island. **Soil Science Society of America Journal**, v. 37, p. 81-91, 2005.

SOUZA, G.N.B. **Fluxo de óxido nitroso (N₂O) do solo em um sistema agroflorestal em Tomé Açu, nordeste do Pará**. 2013. 55f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2013.

TATE, K.R.; ROSS, D.J.; FELTHAM, C.W.A **A direct extraction method to estimate soil microbial C**: Effects of experimental variables and some different calibration procedures. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 20, p. 329-335, 1988.

VALENTINI, C.M.A. **Efluxo de CO₂ do solo de uma área de Floresta de Transição no Noroeste de Mato Grosso**. 2003. 81f. Dissertação (Mestrado em Física e Meio Ambiente) – Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal de Mato Grosso. Cuiabá, 2003.

VANCE, E.D.; BROOKES, P.C.; JENKINSON, D.S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 19, p. 703-707, 1987.

WEST, T.O.; MARLAND, G.A. synthesis of carbon sequestration, carbon emissions, and net carbon flux in agriculture: Comparing tillage practices in the United States. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 91, p. 217–232, 2002.

WUTHRICH, C.; SHAUB, D.; WEBER, M.; MARXER, P.; CONEDERA, M. Soil respiration and soil microbial biomass after fire in a sweet chestnut forest in southern Switzerland. **Catena**, v. 48, p. 201-215, 2002.

ZANCHI, F.B.; DA ROCHA, H.R.; DE FREITAS, H.C.; KRUIJT, B.; WATERLOO, M.J.; MANZI, A.O. Measurements of soil respiration and simple models dependent on moisture and temperature for an Amazonian southwest tropical Forest. **Biogeosciences**, v. 6, p. 6147-6177. 2009.

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

ANEXO 1

Efluxo de CO₂ do solo (A), temperatura do solo (B) e umidade do solo (C) em cultivo de palma de óleo em sistema agroflorestal com baixa diversidade de espécies plantadas (Adubadeiras)

Efluxo de CO₂ do solo ($\mu\text{mol CO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$)						
Coleta	Base	Carreador	Ingá	Gliricídea	Pilha	Média
06_02_2015	3,74 ± 0,79	3,50 ± 1,21	7,35 ± 1,37	6,60 ± 0,29	4,81 ± 0,94	5,20 ± 0,77
06_03_2015	4,46 ± 0,63	2,87 ± 1,45	7,15 ± 1,04	7,06 ± 0,61	5,13 ± 0,69	5,33 ± 0,81
24_03_2015	5,81 ± 1,81	1,70 ± 0,73	10,20 ± 2,03	9,29 ± 1,83	4,83 ± 1,43	6,36 ± 1,55
08_04_2015	5,90 ± 0,87	2,79 ± 0,90	7,80 ± 1,31	6,32 ± 1,01	5,57 ± 1,73	5,68 ± 2,54
21_04_2015	4,43 ± 1,11	1,39 ± 0,51	7,15 ± 0,78	6,01 ± 1,74	4,76 ± 1,47	4,75 ± 2,12
Média	4,87 ± 0,42 ab	2,44 ± 0,40 b	7,93 ± 0,15 a	7,05 ± 0,58 a	5,02 ± 0,58 ab	-
Temperatura do solo (°C)						
06_02_2015	26,89 ± 0,36 Aa	26,96 ± 0,35 Aa	26,78 ± 0,42 Aba	26,42 ± 0,12 Ba	26,17 ± 0,12 ABa	26,64 ± 0,15
06_03_2015	26,58 ± 0,26 Aba	27,08 ± 0,69 Aa	26,20 ± 0,12 Ba	26,49 ± 0,18 Ba	26,12 ± 0,17 Ba	26,49 ± 0,17
24_03_2015	25,92 ± 0,34 Bbc	25,80 ± 0,15 Bc	27,05 ± 0,10 ABa	26,89 ± 0,17 Bab	25,94 ± 0,01 Bbc	26,32 ± 0,27
08_04_2015	27,46 ± 0,24 Aa	27,13 ± 0,24 Aa	27,72 ± 0,21 Aa	28,07 ± 0,15 Aa	27,09 ± 0,10Aa	27,50 ± 0,18
21_04_2015	25,86 ± 0,25 Bb	25,81 ± 0,26 Bb	26,89 ± 0,12 ABa	26,62 ± 0,20 Bab	26,04 ± 0,04 Bab	26,25 ± 0,18
Média	26,54 ± 0,30	26,56 ± 0,31	26,93 ± 0,24	26,90 ± 0,30	26,27 ± 0,21	-
Umidade do solo (%)						
06_02_2015	21,28 ± 1,45	23,81 ± 1,34	20,53 ± 0,90	23,37 ± 1,69	23,05 ± 1,97	22,41 ± 0,60 B
06_03_2015	24,37 ± 1,01	26,90 ± 1,79	23,45 ± 0,45	26,16 ± 0,25	27,12 ± 1,55	25,60 ± 0,70 AB
24_03_2015	24,40 ± 1,20	28,66 ± 1,55	23,15 ± 0,97	27,53 ± 0,21	26,91 ± 0,76	26,13 ± 1,0 AB
08_04_2015	22,21 ± 1,41	23,99 ± 1,01	20,85 ± 1,43	23,05 ± 0,62	22,58 ± 1,22	22,54 ± 0,5 B
21_04_2015	23,94 ± 0,91	28,80 ± 0,85	22,63 ± 0,81	29,67 ± 2,88	24,72 ± 1,24	25,95 ± 1,4 A
Média	23,24 ± 0,63	26,43 ± 1,09	22,12 ± 0,60	25,96 ± 1,25	24,88 ± 0,94	-

Letras maiúsculas diferentes indicam diferença significativa entre coletas e letras minúsculas diferentes indicam diferença significativa entre locais de amostragem pelo teste de Tukey P < 0,05.

ANEXO 2

Efluxo de CO₂ do solo (A), temperatura do solo (B) e umidade do solo (C) em cultivo de palma de óleo em sistema agroflorestal com alta diversidade de espécies plantadas (Biodiverso)

Efluxo de CO₂ do solo ($\mu\text{mol CO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$)						
Coleta	Base	Carreador	Cacau	Ingá	Pilha	Média
06_02_2015	6,27 ± 1,54	3,27 ± 0,67	4,97 ± 1,01	4,23 ± 0,15	3,20 ± 0,63	4,39 ± 0,57 AB
06_03_2015	4,85 ± 2,16	0,97 ± 0,31	4,33 ± 1,11	3,64 ± 0,83	1,90 ± 0,39	3,14 ± 0,74 B
24_03_2015	8,98 ± 2,93	2,97 ± 0,93	5,73 ± 0,79	4,57 ± 0,59	3,54 ± 0,83	5,15 ± 1,07 A
08_04_2015	7,87 ± 1,85	5,00 ± 2,07	5,96 ± 1,37	4,01 ± 0,39	3,31 ± 0,34	5,22 ± 0,80 A
21_04_2015	8,52 ± 2,33	4,70 ± 2,32	5,94 ± 1,29	4,01 ± 0,26	3,04 ± 0,59	5,24 ± 0,94 A
Média	7,30 ± 0,76	3,38 ± 0,72	5,38 ± 0,32	4,09 ± 0,00	3,00 ± 0,29	-
Temperatura do solo (°C)						
06_02_2015	25,21 ± 0,17 CDa	25,49 ± 0,15 CDa	25,23 ± 0,08 ABa	25,39 ± 0,06 Aa	25,30 ± 0,06 ABa	25,32 ± 0,05 C
06_03_2015	25,00 ± 0,49 Da	24,77 ± 0,15 Da	24,54 ± 0,08 Ba	24,60 ± 0,09 Ba	24,55 ± 0,11 Ba	24,70 ± 0,09 D
24_03_2015	26,62 ± 0,33 ABab	27,36 ± 0,26 Aa	24,25 ± 1,37 Ab	25,95 ± 0,19 Ab	26,03 ± 0,15 Ab	26,31 ± 0,51 A
08_04_2015	25,91 ± 0,09 BCa	26,17 ± 0,19BCa	25,50 ± 0,10 Aa	25,69 ± 0,11 Aa	25,64 ± 0,11 Aa	25,78 ± 0,12 B
21_04_2015	26,70 ± 0,43 Aa	26,40 ± 0,23 Bab	25,76 ± 0,09 Ab	25,84 ± 0,13 Ab	26,00 ± 0,39 Aab	26,14 ± 0,18 A
Média	25,89 ± 0,35ab	26,04 ± 0,44 a	25,06 ± 0,29 c	25,49 ± 0,24bc	25,50 ± 0,27bc	-
Umidade do solo (%)						
06_02_2015	22,19 ± 1,05	22,48 ± 1,10	23,80 ± 1,46	22,45 ± 1,54	23,90 ± 1,70	22,96 ± 0,37 AB
06_03_2015	23,08 ± 0,76	25,26 ± 1,73	25,65 ± 0,41	26,48 ± 0,95	24,81 ± 1,25	25,06 ± 0,57 A
24_03_2015	23,62 ± 1,10	24,39 ± 1,84	24,92 ± 1,48	27,08 ± 1,84	25,34 ± 0,10	25,07 ± 0,58 A
08_04_2015	19,58 ± 1,08	21,46 ± 1,28	23,46 ± 0,45	22,34 ± 1,37	22,70 ± 1,37	22,73 ± 0,66 B
21_04_2015	22,43 ± 1,20	24,64 ± 1,73	27,05 ± 2,42	22,34 ± 1,28	26,18 ± 1,90	25,18 ± 0,96 A
Média	22,18 ± 0,70	23,65 ± 0,72	24,98 ± 0,65	24,14 ± 1,08	24,59 ± 0,60	-

Letras maiúsculas diferentes indicam diferença significativa entre coletas e letras minúsculas diferentes indicam diferença significativa entre locais de amostragem pelo teste de Tukey P < 0,05.

ANEXO 3

Coeficiente de correlação de Pearson entre as variáveis analisadas

<i>Aduabadeiras</i>						
Variáveis	TS	Ug	C-BMS	CT	Raízes finas	RB
Efluxo CO ₂	r= 0,322 p=0,001***	r=0,266 p=0,007***	r=0,031 p=0,845ns	r=0,016 p=0,948ns	r=0,116 p=0,625ns	r=0,054 p=0,739ns
TS		r=0,022 p=0,825ns	r=0,028 p=0,865ns	r=0,202 p=0,393ns	r=0,284 p=0,224ns	r=0,233 p=0,148ns
Ug			r=0,344 p=0,03**	r=0,185 p=0,435ns	r=-0,226 p=0,337ns	r=0,669 p=0,001***
C-BMS						r=0,405 p=0,010**
<i>Biodiverso</i>						
Efluxo CO ₂	r= 0,529 p=0,017**	r=0,273 p=0,243ns	r=0,007 p=0,966ns	r=0,001 p=0,967ns	r=-0,259 p=0,271ns	r=0,291 p=0,068*
TS		r=0,278 p=0,236ns	r=0,014 p=0,930ns	r=-0,271 p=0,247ns	r=-0,153 p=0,518ns	r=0,144 p=0,375ns
Ug			r=-0,004 p=0,979ns	r=0,088 p=0,714ns	r=-0,169 p=0,477ns	r=-0,037 p=0,822ns
C-BMS						r=0,220 p=0,172ns

Níveis de significância: ***P < 0,01; **P < 0,05; *P < 0,10; ns: não significativo.

ANEXO 4

Imagens dos sistemas analisados e dos procedimentos de análise das variáveis

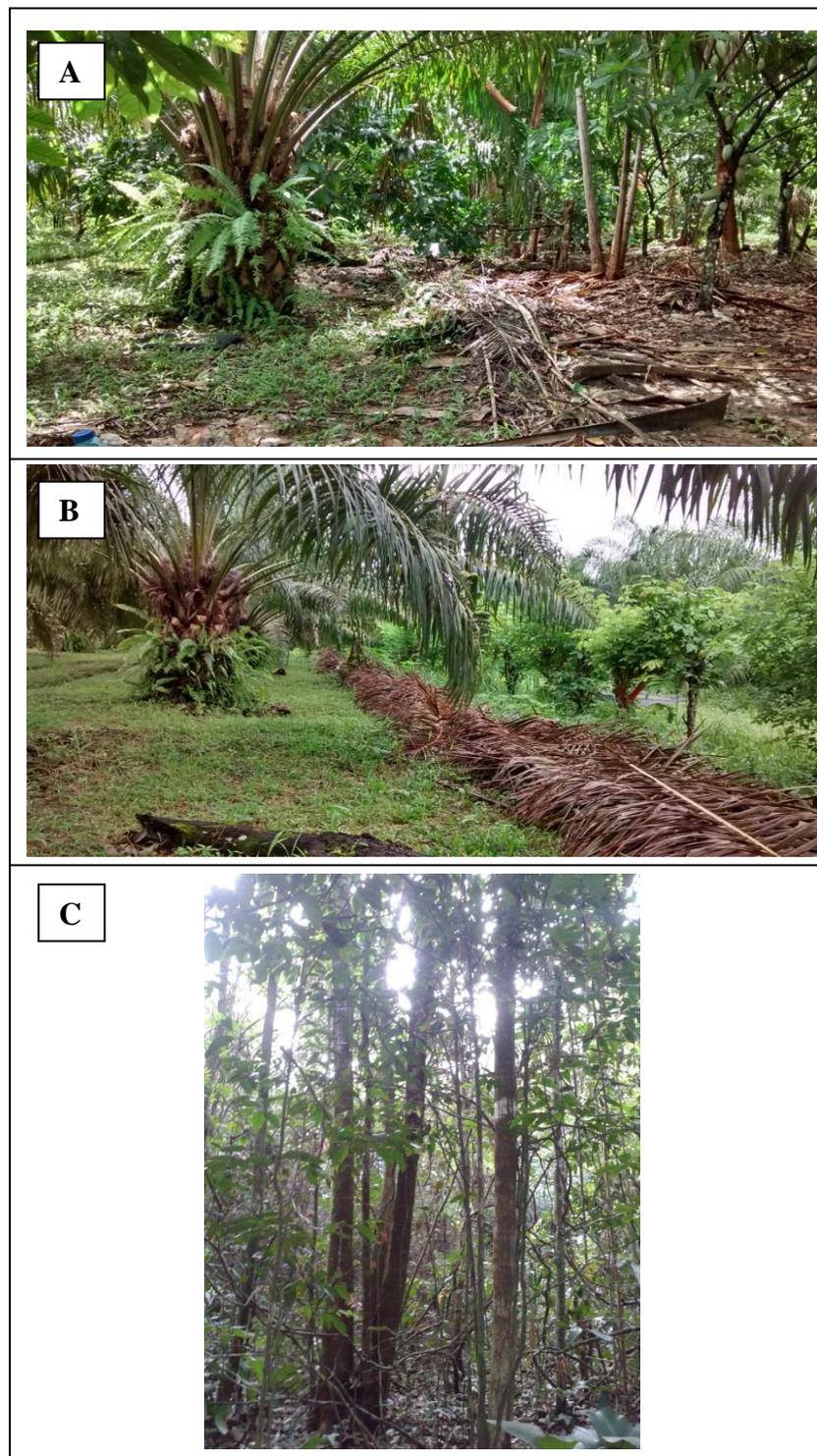


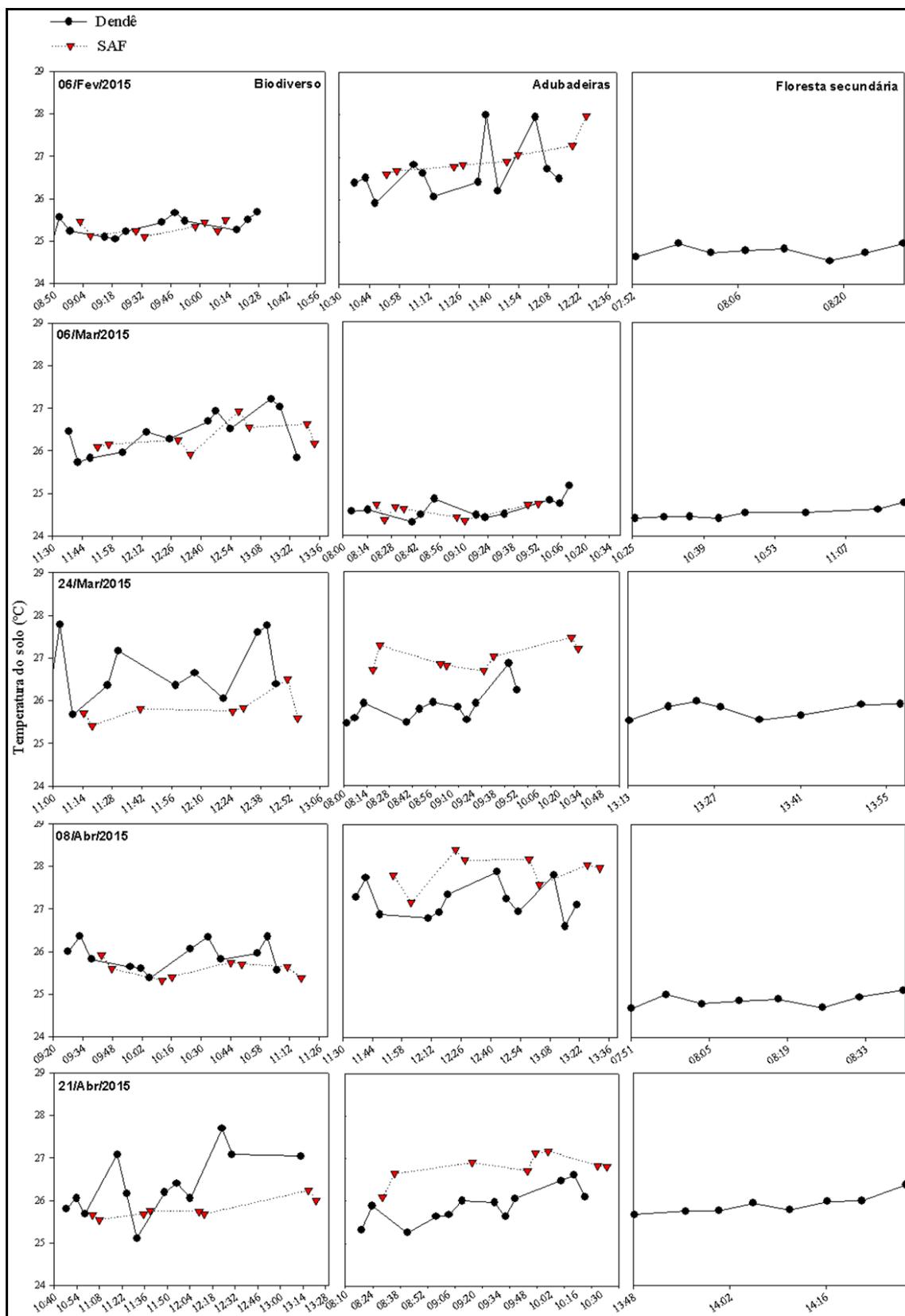
Figura 1. (A) Sistema Biodiverso; (2) Sistema Adubadeiras; e (3) Floresta secundária.



Figura 2. (A) Coleta do efluxo de CO_2 do solo através do aparelho LI-COR 6400; (B) análise para obtenção da respiração basal do solo; (C) análise de carbono da biomassa microbiana do solo; (D) análise elementar de carbono orgânico total através do aparelho LECO; (E) classificação de raízes muito finas; e (F) coleta de serapilheira.

ANEXO 5

Gráfico com os horários de coleta e a temperatura do solo nas cinco campanhas nos três sistemas (Adubadeiras, Biodiverso e Floresta Secundária)



ANEXO 6

Tabela com a amplitude térmica dos sistemas nas cinco campanhas

Biodiverso		Adubadeiras		Capoeira
06/02/2015				
Dendê	SAF	Dendê	SAF	Capoeira
25,68	25,5	27,99	27,97	24,97
24,78	25,11	25,91	26,6	24,56
0,90	0,39	2,08	1,37	0,41
06/03/2015				
Dendê	SAF	Dendê	SAF	Capoeira
25,16	24,74	29,03	26,93	24,78
24,31	24,35	25,73	25,91	24,41
0,85	0,39	3,3	1,02	0,37
24/03/2015				
Dendê	SAF	Dendê	SAF	Capoeira
27,78	26,51	26,86	27,47	25,97
25,67	9,71	25,45	26,68	25,52
2,11	16,8	1,41	0,79	0,45
08/04/2015				
Dendê	SAF	Dendê	SAF	Capoeira
26,36	25,92	27,89	28,40	25,11
25,38	25,32	26,61	27,17	24,68
0,98	0,6	1,28	1,23	0,43
21/04/2015				
Dendê	SAF	Dendê	SAF	Capoeira
27,69	26,24	26,61	27,18	26,37
25,11	25,55	25,26	26,09	25,67
2,58	0,69	1,35	1,09	0,7

6 CONCLUSÕES

A transição de floresta secundária para sistemas agroflorestais com palma de óleo afetou positivamente a qualidade ambiental do solo neste estudo.

As alterações nas variáveis que determinam a qualidade ambiental dos agroecossistemas estão ligadas a impactos decorrentes de mudanças na estrutura e na composição de espécies desses sistemas, assim como de manejo da matéria orgânica do solo.

A variabilidade do efluxo de CO₂ do solo nestes sistemas pode ser explicada por diversos fatores, como variações temporais, espaciais e manejo.

Entre as variáveis bióticas e abióticas analisadas neste estudo, a que mais influenciou no efluxo de CO₂ foi a temperatura do solo.

Os resultados deste estudo mostram um comportamento de curta duração e, para uma análise mais completa do sistema, é necessário um acompanhamento/monitoramento das variáveis por um período mais longo para avaliar o real papel, não só da temperatura do solo, como de todas as variáveis analisadas sobre o efluxo de CO₂ do solo.

É preciso também considerar na análise dos resultados a metodologia de coleta de campo, como, por exemplo, os horários de início de medição e os locais de medição, e fatores meteorológicos, como a maior ou menor cobertura de nuvens nos dias de coleta.

Por fim, para chegar a um resultado mais global de comportamento do sistema, recomenda-se a inclusão de variáveis microclimáticas, como temperatura do ar, precipitação, radiação solar e albedo, além de determinar o índice de área foliar para analisar a influência do sombreamento nos resultados de efluxo de CO₂ do solo.

REFERÊNCIAS

- ADACHI, M.; ISHIDA, A.; BUNYAVEJCHEWIN, S.; OKUDA, T.; KOIZUMI, H. Spatial and temporal variation in soil respiration in a seasonally dry tropical forest, Thailand. **Journal of Tropical Ecology**, v. 1, p. 531–539. 2009.
- AGROANALYSIS. Revista de Agronegócios da FGV. **Óleo de Palma: O Crescimento da Indústria Global**. Acesso em: 23/12/2014. Disponível em: <http://www.agroanalysis.com.br/materia_detalhe.php?idMateria=1659>
- AKINREMI, O.O.; MCGINN, S.M.; MCLEAN, H.D.J. Effects of soil temperature and moisture on soil respiration in barley and fallow plots. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 79, p. 5-13. 1998.
- ALMEIDA, D. L. **Contribuições da adubação orgânica para a fertilidade do solo**. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Itaguaí, 1991. 192p.
- AMADO, T.J.C.; BAYER, C.; ELTZ, F.L.; BRUM, A.C.R. Potencial de culturas de cobertura em acumular carbono e nitrogênio no solo no plantio direto e a melhoria da qualidade ambiental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 189-197. 2001.
- ANDERSON, J.P.E.; DOMSCH, K.H. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 10, p. 215-221. 1978
- ANDERSON, J.P.E. Soil respiration. In: PAGE, A.L.; MILLER, R.H.; KEENEY, D.R. (Eds.). **Method of soil analysis**. 2 ed. Part 2. Madison: American Society of Agronomy/Soil Science Society of America, p.831-871.1982.
- ARAÚJO, A.D.F.; LEITE, L.F.C.; IWATA, B.F.; LIRA JR, M.A.; XAVIER, G.R.; FIGUEIREDO, M.V.B. Microbiological process in agroforestry systems. A review. **Agron Sustain**, v. 32, p. 215-226. 2012.
- ASSIS-JUNIOR, S.L.; ZANUNCIO, J.C.; KASUYA, M.C.M.; COUTO, L.; MELIDO, R.C.N. Atividade microbiana do solo em sistemas agroflorestais, monoculturas, mata natural e área desmatada. **Revista Árvore**, v. 27, p. 35-41. 2003.
- BAENA, A.R.C.; FALESI, I.C. **Avaliação do potencial químico e físico dos solos sob diversos sistemas de uso da terra na Colônia Agrícola de Tomé-Açu, Estado do Pará**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 1999. 23p. (Embrapa Amazônia Oriental. Boletim de Pesquisa, 18.).
- BASIRON, Y. Palm oil production through sustainable plantations. **European Journal of Lipid Science Technology**, v. 109, n.4, p. 289-295. 2007.
- BAYER, C. MIELNICZUK, J.; MARTIN NETO, L. Efeito de sistemas de preparo e de cultura na dinâmica da matéria orgânica e na mitigação das emissões de CO₂. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, p. 599- 607. 2000.

BAYER, C.; LOVATO, T.; DIECKOW, J.; ZANATTA, J.A.; MIELNICZUK, J. A method for estimating coefficients of soil organic matter dynamics based on long-term experiments. **Soil and Tillage Research**, v. 91, n. 1-2, p. 217-226. 2006.

BIODIESEL. **Agricultura Familiar, Emprego e o Lado Social do Biodiesel**. Disponível em: <<http://www.biodieselbr.com/biodiesel/social/aspectos-sociais.htm>> Acesso em: 21/12/2014.

BOCKEY, D. The actual legislation in Germany and increasing motor technical demands- the consequences for the perspectives for the use of vegetable oil and biodiesel, IOPD Meeting XI 2008, pp20. 2. Chen S.S (2008): The LCA approach to illustrate palm oil's sustainability advantage, International Palm Oil Sustainability Conf., Kota Kinabalu, Sabah, pp8. 2008.

BRASIL. **Programa de Produção Sustentável para Palma de Óleo**. 2010.

BRONW, S.; LUGO, A. Tropical secondary forests. **Journal of Tropical Ecology**, v.6, p.1-32. 1990.

BROOKES, P.C.; LANDMAN, A.; PRUDEN, B.; JENKINSON, D.S. Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen: A rapid direct extraction method to measure microbial biomass nitrogen in soil. **Soil Biology and Biochemistry**, v.17, p. 837-842. 1985.

BUCHMANN, N. Biotic and abiotic factors controlling soil respiration rates in *Picea abies* stands. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 32, p. 1625-1635. 2000.

BUTLER, A.; MEIR, P.; SAIZ, G.; IPES, L. M.; MARIM, B. S.; GRACE, J. Annual variation in soil respiration and its component parts in two structurally contrasting woody savannas in Central Brazil. **Plant and Soil**, v. 352, p. 129-142, 2012.

BUYANOVSKY, G.A.; ASLAM, M.; WAGNER, G.H. Carbon turnover in soil physical reactions. **Soil Science Society of America Journal**, v.58, p. 1167-1173. 1994.

CALDEIRA, K.; MORGAN, G.; BALDOCCHI, D.; BREWER, P.; CHEN, C.T.A.; NABUURS, G.J.; NAKICENOVIC, N. & ROBERTSON, P.A. A portfolio of carbon management options. In: FIELD, C.B. & RAUPACH, M. (Eds.). **Towards CO₂ Stabilization: Issues, strategies, and consequences**, A SCOPE report. Scientific Committee on Problems in the Environment, Washington, DC: Island Press, p. 103-129. 2004.

CARBONO BRASIL. **Envolverde: Jornalismo e Sustentabilidade**. Disponível em: <<http://envolverde.com.br/index.php?s=CARBONO+BRASIL>> Acesso em: 23/12/2014.

CARTER, C.; FINLEY, W.; FRY, J.; JACKSON, D.; WILLIS, L. Palm oil markets and future supply. **European Journal of Lipid Science and Technology**, v.109, p.307-314. 2007.

CARVALHO, W.R. **Estoque de carbono e fracionamento físico da matéria orgânica do solo sob cultivo de palma de óleo (*Elaeis guineensis*) em sistemas agroflorestais na Amazônia Oriental**. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal Rural da Amazônia. Belém, 2011. 69p.

CASTRO, A.P.; FRAXE, T.J.P.; SANTIAGO, J.L.; MATOS, R.B.; PINTO, I.C. Os sistemas agroflorestais como alternativa de sustentabilidade em ecossistemas de várzea no Amazonas. **Acta Amazonica**, v.39, p.279-288. 2009.

CATTELAN, A.J.; VIDOR, C. Flutuações na biomassa, atividade e população microbiana do solo, em função de variações ambientais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa**, v.14, p. 133-142. 1990.

CHAPIN III, F.S.; MATSON, P.A.; MOONEY, H.A. Principles of terrestrial ecosystem ecology. New York: Springer-Verlag, 2002. 436p.

CLAY, J. World Agriculture and the Environment: A Commodity-by-Commodity Guide to Impacts and Practices, Island Press. 2004.

COELHO, M.M. **Estudo da respiração do solo em Floresta de Transição no Sudoeste da Amazônia**. 2005. 51f. Dissertação (Mestrado em Física e Meio Ambiente) – Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal de Mato Grosso. Cuiabá, 2005.

CORLEY, R.H.V.; TINKER, P.B. The Oil Palm. Fifth edition. **Blackwell Science**. 2008. 592p.

COSTA, F.S.; ZANATTA, J.A.; BAYER, C. Emissões de Gases de Efeito Estufa em Agroecossistemas e Potencial de Mitigação In: SANTOS, G.A.; SILVA, L.S.; CANELLAS, L.P.; CAMARGO, F.O. (Eds.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p. 545-559.

COSTA, J.R.; MITJA, D. Uso dos recursos vegetais por agricultores familiares de Manacapuru (AM). **Acta Amazonica**, v. 40, p. 49-58. 2010.

DAVIDSON, E. A.; VERCHOT, L.V.; CATTÂNIO, J.H.; ACKERMAN, I.L.; CARVALHO, J.E.M. Effects of soil water content on soil respiration in forests and cattle pastures of eastern Amazonia. **Biogeochemistry**, v. 48, p. 53-69. 2000.

DE-POLLI, H.; GUERRA, J.G.M. Carbono, nitrogênio e fósforo da biomassa microbiana do solo. In: SANTOS, G.A.; SILVA, L.S.; CANELLAS, L.P.; CAMARGO, F.O. (Eds.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2 ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p. 263-276.

DIAS, A.T.C.; RUIJVEN, J.V.; BERENDSE, F. Plant species richness regulates soil respiration through changes in productivity. **Oecologia**, v. 163, p. 805-813, 2010.

DIAS, J.D. **Fluxo de CO₂ proveniente da respiração do solo em áreas de florestas nativa da Amazônia**. Dissertação (Mestrado em Ecologia Aplicada) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – ESALQ. Piracicaba, 2006. 87p.

DIAZ-RAVIÑA, M.; ACEA, M.J.; CARBALLAS, T. Seasonal changes in microbial biomass and nutrient flush in forest soils. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v.19, p. 220-226. 1995.

DICK, R.P.; BREAKWELL, D.P.; TURCO, R.F. Soil enzyme activities and biodiversity measurements as integrative microbiological indicators. In: DORAN, J.W. & JONES, A.J. (Eds.). **Methods for assessing soil quality**. Madison: Soil Science Society of America, p. 247-272. 1996.

DUIKER, S.W.; LAL, R. Carbon budget study using CO₂ flux measurements from a no till system in central Ohio. **Soil and Tillage Research**, v. 54, p. 21-30. 2000.

EGGLESTON, H.S.; BUENDIA, L.; MIWA, K.; NGARA, T.; TANABE, K. **IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories**. Hayama: Institute for Global Environmental Strategies, 2006.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. rev. e atual. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1997. 212p. (Documentos 1).

_____. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **O Dendê (*Elaeis guineensis* Jacq.)**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2001. 25p.

_____. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Embrapa Amazônia Ocidental. **Projeto de Dendê: Palma Amazonas**. Manaus: Embrapa-CPAA, 2002.

_____. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2 ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 2006.

ESPINDOLA, J.A.A.; ALMEIDA, D.L.; GUERRA, J.G.M.; SILVA, E.M.R. Flutuação sazonal da biomassa microbiana e teores de nitrato e amônio de solo coberto com *paspalum notatum* em um agroecossistema. **Floresta e Ambiente**, v. 8, n. 1, p. 104-113. 2001.

EUROPEAN COMMISSION (2006). An EU Strategy for Biofuels, Commission of the European Communities.

FANG, C.; MONCRIEFF, J.B. The dependence soil CO₂ efflux on the temperature. **Soil Biology and Biochemistry**, v.33, p.155-165. 2001.

FAO. Food security in the context of economic and trade policy reforms: Insights from country experiences CCP 05/11. Rome. 2005.

FEARNSIDE, P.M. Brazil's Amazon Forest and the Global Carbon Problem. **Interciência**, v. 10, n. 4, p. 179-186. 1985.

_____. Amazonian deforestation and global warming: Carbon stocks in vegetation replacing Brazil's Amazon forest. **Forest Ecology and Management**, v.80, n. 1-3, p. 21-34. 1996.

_____. **A floresta amazônica nas mudanças globais**. Manaus: INPA, 2003. 134p.

FEIGL, B.J.; SPARLING, G.P.; ROSS, D.J.; CERRI, C.C. Soil microbial biomass in amazonian soils: Evaluation of methods and estimates of pool sizes. **Soil Biology Biochemistry**, v. 27, p. 1467-1472, 1995.

FERNANDES, S.A.P; BETTIOL, W.; CERRI, C.C. Effect of sewage sludge on microbial biomass, basal respiration, metabolic quotient and soil enzymatic activity. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v.30, p. 65-67. 2005.

FLANGAN, L.B.; JOHNSON, B.G. Interacting effects of temperature, soil moisture and plant biomass production on ecosystem respiration in a northern temperate grassland. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 130, p. 237-253. 2005.

FRAZÃO, L.A.; PAUSTIAN, K.; CERRI, C.E.P.; CERRI, C.C. Soil carbon stocks and changes after oil palm introduction in the Brazilian Amazon. **Global Change Biology Bioenergy**, v. 5, p. 384-390, 2013.

FRAZÃO, L.A.; PAUSTIAN, K.; CERRI, C.E.P.; CERRI, C.C. Soil carbon stocks under oil palm plantations in Bahia State, Brazil. **Biomass and Bioenergy**, v. 62, p. 1-7. 2014.

GAMA-RODRIGUES, E.F.; GAMA-RODRIGUES, A.C. Biomassa microbiana e ciclagem de nutrientes. In: SANTOS, G.A.; SILVA, L.S.; CANELLAS, L.P.; CAMARGO, F.A.O. (Eds.) **Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2 ed. Porto Alegre, Metrópole, p.159-170.2008.

GERMER, J.; SAUERBORN, J. Estimation of the impact of oil palm plantation establishment on greenhouse gas balance. **Environment Development and Sustainability**, v.10, p.697-716. 2007.

GLOBAL CARBON PROJECT. Science Framework and Implementation. Earth System Science Partnership (IGBP, IHDP, WCRP, DIVERSITAS). Report No. 1; Global Carbon Project Report, Canberra, n. 1, 2003. 69p.

GOMES-JUNIOR, R.A.; MOLDES, C.; DELITE, F.S.; GRATÃO, P.L; MAZZAFERA, P.; LEA, P.J.; AZEVEDO, R.A. Selenium-induced oxidate stress in coffee cell suspension cultures. **Functional Plant Biology**, Victoria, v. 34, p. 449-456, 2007.

GOWER, S.T. Relations between mineral nutrient availability and fine root biomass in two Costa Rican tropical wet forests: a hypothesis. **Biotropica**, v. 19, p. 171-175, 1987.

GRISI, B.M. Biomassa e atividade de microrganismos do solo: Revisão metodológica. **Revista Nordestina de Biologia**, João Pessoa, v. 10, n. 1, p. 1-22. 1995.

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

HARGREAVES, G.H.; ASCE, F.; ALLEN, R.G. History and evaluation of hargreaves evapotranspiration equation. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 129, p. 53-63. 2003.

HIGA, R.C.V.; XAUD, H.A.M.; ACCIOLY, L.J.O.; LIMA, R.M.B.; VASCONCELOS, S.S.; RODRIGUES, V.G.S.; CARVALHO, C.J.R.; SOUZA, C.R.; LEONIDAS, F.C.; TONINI, H.; FERRAZ, J.B. S.; XAUD, M.R.; MOURÃO JR, M.; COSTA, R.S.C. Estoque de biomassa em florestas plantadas, sistemas agroflorestais, florestas secundárias e caatinga. In: LIMA, M.A.; BODDEY, R.M.; ALVES, B.J.R.; MACHADO, P.L.O.A.; URQUIAGA, S. (Eds) Estoques de carbono e emissões de gases de efeito estufa na agropecuária brasileira. Brasília: Embrapa, p. 105-158. 2012.

HOUGHTON, R.A. The Woods hole research center, woods hole, Massachusetts, US. In: MOUTINHO, P.; SCHWARTZMAN, S. (Ed.). Tropical deforestation and climate change. Belém, PA: IPAM - Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia; Washington DC - USA: Environmental Defense, 2005.131p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. IBGE. **Censo 2010**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home>>. Acesso em: 25 mar. 2015.

JANZEN, H.H.; CAMPBELL, C.A.; IZAURRALDE, R.C.; ELLERT, B.H.; JUMA, N.; MCGILL, W.B.; ZENTNER, R.P. Management effects on soil C storage on the Canadian prairies. **Soil & Tillage Research**, v.47, p. 181-195. 1998.

JENKINSON, D.S.; LADD, J.N. Microbial biomass in soil: Measurement and turnover. In: PAUL, E.A.; LADD, J.N (Eds). Soil biochemistry. Marcel Deker, p.425-471.1981.

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

KASCHUK, G.; ALBERTON, O.; HUNGRIA, M. Quantifying effects of different agricultural land uses on soil microbial biomass and activity in Brazilian biomes: Inferences to improve soil quality. **Plant Soil**, v. 338, p.467-481, 2011.

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

KELTING, D. L.; BURGER, J. A.; EDWARDS, G. S. Estimating root respiration, microbial respiration in rhizosphere, and root-free soil respiration in forest soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 30, n. 7, p. 961-968, 1998.

KIMBALL, B.A.; LEMON, E.R. Air turbulence effects upon soil gas exchange. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v. 35, p. 16-21. 1971.

KNUPP, A.M.; FERREIRA, E.P.B. **Uso de espectrofotometria como alternativa para a diminuição da produção de resíduos de cromo na quantificação do carbono da biomassa microbiana**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2009. 32 p. (Embrapa Arroz e Feijão. Documentos, 248).

KOSUGI, Y.A.; MITANI, T.; ITOH, M.; NOGUCHI, S.; TANI, M.; MATSUO, N.; TAKANASHI, S.; OHKUBO, S.; RAHIM NIK, A. Spatial and temporal variation in soil respiration in a Southeast Asian tropical rainforest. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 147, p. 35-47. 2007.

KUTSCH, W.L.; BAHN, M.; EHEINEMEYER, A. Soil Carbon relations: An overview. In: KUTSCH, W.L.; BAHN, J.M.; STOCKHOLMK, A.H. **Soil Carbon Dynamics: An Integrated Methodology**. Cambridge University Press, New York, 2009. 286p.

LAL, R. World soils and greenhouse effect. **Global Change Newsletter**, n. 37, p. 4-5. 1999.

LAMADE, E.; DJEGUI, N.; LETERME, P. Estimation of carbon allocation to the roots from soil respiration measurements of oil palm. **Plant Soil**, v. 181, n. 2, p. 329-339. 1996.

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

LETEY, J. Relationship between soil physical properties and crop productions. **Advanced Soil Science**, v. 1, p. 277-294, 1985.

LOVEALL, S.T.; SULLIVAN, W.C. Environmental benefits of conservation buffers in the United States: Evidence, promise, and open questions. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v.112, p. 249-260. 2006.

LOWRANCE, R.; DABNEY, S.; SCHULTZ, R. Improving water and soil quality with conservation buffers. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 57, p. 36-43. 2002.

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

MARENGO, J.A. Mudanças climáticas globais e efeitos sobre a biodiversidade: Caracterização do clima no século XX e cenários climáticos no Brasil e na América do Sul para o Século XXI derivados dos modelos globais de clima do IPCC. São Paulo: CPTEC/INPE, 2007. 28p.

MARKEWITZ, D.; DAVIDSON, E.; MOUTINHO, P.; NEPSTAD, D. Nutrient loss and redistribution after forest clearing on a highly weathered soil in Amazonia. **Ecological Applications**, Tempe, v.14, n.4, p.117-199. 2004.

MCCARTHY, J.J.; CANZIANI, O.F.; LEARY, N.A.; DOKKEN, D.J.; WHITE, K.S. Climate change 2001: Impacts, adaptation, and vulnerability. Cambridge University Press, Cambridge. 2001.

MERBOLD, L.; ZIEGLER, W.; MUKELABAI, M.M.; KUTSCH, W.L. Spatial and temporal variation of CO₂ efflux along a disturbance gradient in miombo woodland in Western Zambia. **Biogeosciences**, v. 8, p. 147-164.2011.

MOLION, L.C.B. Um século e meio de aquecimento global. **Ciência Hoje**, São Paulo, v.18, n. 107, p. 1-30. 1995.

MORARU, P.I.; RUSU, T.; SOPTERAN, M.L. Soil tillage conservation and its effect on erosion control, water management and carbon sequestration. **ProEnvironment**, v. 3, p. 359-366. 2010.

NAIR, P.K.R. An introduction to agroforestry. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1993. 499p.

NAIR, P.K.R.; GORDON, A.M.; MOSQUERA-LOSADA. Agroforestry. **Encyclopedia of Ecology**, p. 101-110. 2008.

NAIR, P.K.R.; KUMAR, B.M.; NAIR, V.D. Agroforestry as a strategy for carbon sequestration. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 172, p. 10-23. 2009.

NEPSTAD, D.; CARVALHO, G.; BARROS, A.C.; ALENCAR, A.; CAPOBIANCO, J.; BISHOP, J.; MOUTINHO, P.; LEFEBVRE, P.; SILVA, U. Road paving, fire regime feedbacks, and the future of Amazon Forests. **Forest Ecology and Management**, n. 5524, p.1-13.2001.

OADES, J.M.; JENKINSON, D.S. Adenosine triphosphate content of the soil microbial biomass. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 11, p. 201-204. 1979.

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

OLIVEIRA, M.L.; RUIZ, H.A.; COSTA, L.M.; SCHAEFER, C.E.G.R. Flutuações de temperatura e umidade do solo em resposta à cobertura vegetal. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, p. 535-539, 2005.

ORCHARD, V.; COOK, F.J. Relationship between soil respiration and soil moisture. **Soil Biology Biochemistry**, v. 15, n. 4, p. 447-453, 1983.

PANOSSO, A.R.; PEREIRA, G.T.; MARQUES JÚNIOR, J.; LA SCALA JÚNIOR, N. Variabilidade espacial da emissão de CO₂ em latossolos sob cultivo de cana-de-açúcar em diferentes sistemas de manejo. **Engenharia Agrícola Jaboticabal**, v. 28, n. 2, p. 227-236. 2008.

PARTON, W.J.; SCHIMEL, D.S.; COLE, C.V.; OJIMA, D.S. Analysis of factors controlling soil organic levels of grasslands in the Great Plains. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.51, p. 1173-1179. 1987.

PAUL, E.; CLARK, F. Soil Microbiology and Biochemistry. Academic Press, New York, 1996.340p.

PEIXOTO, G.L.; MARTINS, S.V.; SILVA, E. A problemática ambiental do efeito estufa. **Ação Ambiental**, Viçosa, n. 21, p. 11-13. 2001.

PERROTT, K.W.; SARATHCHANDRA, S.U.; DOW, B.W. Seasonal and fertilizer effects on the organic cycle and microbial biomass in a hill country soil under pasture. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v.30, p.383-394. 1992.

PINTO-JUNIOR, O.B.; SANCHES, L.; DALMOLIN, A.C.; NOGUEIRA, J.S. Efluxo de CO₂ do solo em floresta de transição Amazônia Cerrado e em área de pastagem. **Acta Amazônica**, v. 39, n. 4. p. 813-822. 2009.

POWLSON, D.S. The soil microbial biomass: Before, beyond and back. In: RITZ, K.; DIGHTON, J.; GILLER, K.E. (Eds.) **Beyond the biomass: Compositional and Functional Analysis of Soil Microbial Communities**. Chichester: John Wiley, p. 3-20.1994.

RAI, B.; SRIVASTAVA, A.K. Studies on microbial population of a tropical dry deciduous forest soil in relation to soil respiration. **Pedobiologia**, v. 22, p. 185-190, 1981.

RAICH, J.W.; BOWDEN, R.D.; STEUDLER, P.A. Comparison of two static chamber techniques for determining carbon dioxide efflux from forest soils. **Soil Science Society of America Journal**, v.54, p.1754-1757. 1990.

RAICH, J.W.; SCHLESINGER, W.H. The global carbon dioxide flux in soil respiration and its relationship to vegetation and climate. *Tellus*, v. 44 B, p. 81-99. 1992.

RAICH, J.W.; POTTER, C.S.; BHAGAWATI, D. Interannual variability in global soil respiration. **Global Change Biology**, v. 8, p. 800-81. 2002.

RICE, C.; REED, D. Soil carbon sequestration and greenhouse gas mitigation: A role for American agriculture. Agronomy Department. Kansas State University (KSU), 2007. 35p.

ROSS, D.J. Modifications to the fumigation procedure to measure microbial biomass C in wet soils under pasture: Influence on estimates of seasonal fluctuations in the soil biomass. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 20, p. 377-383. 1988.

RYAN, M.G.; LAW, B.E. Interpreting, measuring, and modeling soil respiration. **Biogeochemistry**, v. 73, p. 3-27.2005.

SAMPAIO, I.C.G. **Biogeoquímica do carbono em solos de parcelas sob trituração, sob queima e sob capoeira**. 2008. 81f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade Federal do Pará. Belém, 2008.

SANTIAGO, W.R. **Biomassa Microbiana e Nitrogênio Mineral no Solo sob Sistemas Agroflorestais com Palma de Óleo em Tomé Açu, Pará**. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal Rural da Amazônia. Belém, 2012. 59p.

SANTOS, G.A.; SILVA, L.S.; CANELLAS, L.P.; CAMARGO, F.A.O. Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecossistemas tropicais e subtropicais. 2ed., Porto Alegre: Metrópole, 2008. 654p.

SARGEANT, H.J. Oil Palm Agriculture in the Wetlands of Sumatra: Destruction or Development? European Union Ministry of Forestry, Brussels, 50 p. 2001.

SHIBU, J. Agroforestry for ecosystem services and environmental benefits: An overview. **Agroforestry Systems**, v. 76, p. 1-10. 2009.

SILVA, G.R.; SENA, W.L.; SILVA JUNIOR, M.L. Carbono e nitrogênio da biomassa microbiana como indicadores ambientais de um latossolo amarelo sob diferentes sistemas de manejo. Marituba, Pará. **Revista de Ciências Agrárias**, Belém, n. 48, p.71-84, 2007.

SMITH, V.R. Moisture carbon and inorganic nutrient controls of soil respiration at a sub-Antarctic island. **Soil Science Society of America Journal**, v. 37, p. 81-91, 2005.

SOE, A.R.; BUCHMANN, N. Spatial and temporal variations in soil respiration in relation to stand structure and soil parameters in an unmanaged beech forest. **Tree Physiology**, v. 25, p. 1427-1436. 2005.

SOLOMON, S.; QIN, D.; MANNING, M.; MARQUIS, M.; AVERYT, K.; TIGNOR, M. M.B.; MILLER JR., H.L.; CHEN, Z. Climate change 2007: The physical science basis. Cambridge, UK: IPCC, 2007. 996p.

SOTTA, E.D.; VELDKAMP, E.; GUIMARÃES, B.R.; PAIXÃO, R.K.; RUIVO, M.L.P.; ALMEIDA, S.S. Landscape and climatic controls on spatial and temporal variation in soil CO₂ efflux in an Eastern Amazonian Rainforest, Caxiuanã, Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 237, p. 57-64. 2006.

SOUZA, G.N.B. **Fluxo de óxido nitroso (N₂O) do solo em um sistema agroflorestal em Tomé Açu, nordeste do Pará**. 2013. 55f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2013.

SUWA, M.; KATUL, G.G.; OREN, R.; ANDREWS, J.; PIPPEN, J.; MACE, A.; SCHLESINGER, W.H. Impact of elevated atmospheric CO₂ on forest floor respiration in a temperate pine forest. **Global Biogeochemical Cycles**, USA, v. 18, p. 1-14. 2004.

TATE, K.R.; ROSS, D.J.; FELTHAM, C.W. A direct extraction method to estimate soil microbial C: Effects of experimental variables and some different calibration procedures. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v.20, p.329-335. 1988.

TATE, K.R.; ROSS, D.J.; RAMSAY, A.J.; WHALE, K.N. Microbial biomass and bacteria in two pasture soils: An assessment of measurements procedures, temporal variations, and the influence of P fertility status. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.132, p.233-241. 1991.

THORSTENSON, D.C.; POLLOCK, D.W. Gas transport in unsaturated porous media: The adequacy of Fick's law. **Reviews of Geophysics**, v. 27, p. 61-78. 1989.

TOLENTINO, M.; ROCHA-FILHO, R.C. Química Nova na Escola: Química no Efeito Estufa, n. 8.1998.

UDAWATTA, R.P; KREMER, R.J; ADAMSON, B.W; ANDERSON, S.H. Variations in soil aggregate stability and enzyme activities in a temperate agroforestry practice. **Applied Soil Ecology**, n. 39, p. 153-160. 2008.

VALENTINI, C.M.A. **Efluxo de CO₂ do solo de uma área de Floresta de Transição no Noroeste de Mato Grosso**. 2003. 81f. Dissertação (Mestrado em Física e Meio Ambiente) – Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal de Mato Grosso. Cuiabá, 2003.

VAN STRAATEN, O.; VELDKAMP, E.; KÖHLER, M.; ANAS, I. Drought effects on soil CO₂ efflux in a cacao agroforestry system in Sulawesi, Indonesia. **Biogeosciences Discussions**, v.6, p. 11541-11576. 2009.

VANCE, E.D.; BROOKES, P.C.; JENKINSON, D.S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. **Soil Biology and Biochemistry**, v.19, p. 703-707. 1987.

VINCENT, G.L.; SHAHRIARI, A.R.; LUCOT, E.; BADOT, P.M.; EPRON, D. Spatial and seasonal variations in soil respiration in a temperate deciduous forest with fluctuating water table. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 38, p. 2527-2535. 2006.

WARDLE, D.A.; PARKINSON, N.D. Interactions between microbial variables and the soil biomass. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 9, p. 272-280. 1990.

WARDLE, D.A. A comparative assessment of factors which influence microbial biomass carbon and nitrogen levels in soil. **Biological Reviews**, Praga, v.67, p. 321-358. 1992.

WEST, T.O.; MARLAND, G.A. synthesis of carbon sequestration, carbon emissions, and net carbon flux in agriculture: Comparing tillage practices in the United States. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 91, p. 217-232, 2002.

WUTHRICH, C.; SHAUB, D.; WEBER, M.; MARXER, P.; CONEDERA, M. Soil respiration and soil microbial biomass after fire in a sweet chestnut forest in southern Switzerland. *Catena*, v. 48, p. 201-215. 2002.

YADAV, R.S; YADAV, B.L; CHHIPA, B.R.; DHYANI, S.K.; RAM, M. Soil biological properties under different tree based traditional agroforestry systems in a semi-arid region of Rajasthan, India. **Agroforest Systems**, n. 81, p. 195-202. 2010.

YAHYA, Z.; HUSSIN, A.; TALIB, J.; OTHMAN, J.; AHMAD, O.; HARUNAAND JALLOH, M. B. Oil palm (*Elaeis guineensis*) roots response to mechanization in Bernam Series Soil. **American Journal of Applied Sciences**, v. 7, p. 343-348. 2010.

YAN, F.; MCBRATNEY, A.B; COPELAND, L. Functional substrate biodiversity of cultivated and uncultivated a horizons of vertisols in NW New South Wales. **Geoderma**, n. 96, p. 321-343. 2000.

ZANCHI, F.B.; DA ROCHA, H.R.; DE FREITAS, H.C.; KRUIJT, B.; WATERLOO, M.J.; MANZI, A.O. Measurements of soil respiration and simple models dependent on moisture and temperature for an Amazonian southwest tropical Forest. **Biogeosciences**, v. 6, p. 6147-6177. 2009.

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