



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ – UFPA
MUSEU PARAENSE EMÍLIO GOELDI – MPEG
EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DA AMAZÔNIA
ORIENTAL – EMBRAPA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS – PPGCA**

ALBERTO CRUZ DA SILVA JUNIOR

**INFLUÊNCIA DA VARIAÇÃO SAZONAL DE ATRIBUTOS DE FERTILIDADE DO
SOLO SOBRE A BIOMASSA MICROBIANA EM UMA CRONOSSEQUENCIA DE
PLANTIO DE PALMA DE ÓLEO (*Elaeis oleifera* (Kunth) Cortés) NO NORDESTE
PARAENSE**

**BELÉM
2013**

ALBERTO CRUZ DA SILVA JUNIOR

INFLUÊNCIA DA VARIAÇÃO SAZONAL DE ATRIBUTOS DE FERTILIDADE DO SOLO SOBRE A BIOMASSA MICROBIANA EM UMA CRONOSSEQUENCIA DE PLANTIO DE PALMA DE ÓLEO (*Elaeis oleifera* (Kunth) Cortés) NO NORDESTE PARAENSE

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação 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.

Linha de Pesquisa: Ecossistemas Amazônicos e Dinâmica sócio-ambiental.

Orientadora: Dra. Maria de Lourdes Pinheiro Ruivo.

**BELÉM
2013**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

Sistema de Bibliotecas da UFPA

Silva Junior, Alberto Cruz da

Influência da variação sazonal de atributos de fertilidade do solo sobre a biomassa microbiana em uma cronosequência de plantio de palma de óleo (*Elaeis oleifera* (Kunth) Cortés) no Nordeste Paraense / Alberto Cruz da Silva Junior; Orientadora: Maria de Lourdes Pinheiro Ruivo - 2013.

Dissertação (mestrado em ciências ambientais) – Universidade Federal do Pará, Museu Paraense Emilio Goeldi e EMBRAPA, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Belém, 2013.

1. Fertilidade do solo. 2. Biomassa microbiana. 3. Precipitação. 4. Palma de óleo. 5. Floresta secundária. 6. Amazônia. I. Ruivo, Maria de Lourdes Pinheiro, *orient.* II. Universidade Federal do Pará. III. Título.

CDD 22° ed.: 631.4

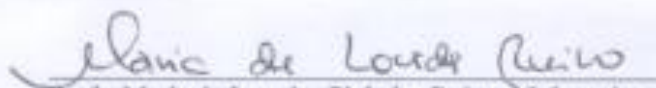
ALBERTO CRUZ DA SILVA JUNIOR

INFLUÊNCIA DA VARIAÇÃO SAZONAL DE ATRIBUTOS DE FERTILIDADE DO SOLO SOBRE A BIOMASSA MICROBIANA EM UMA CRONOSSEQUENCIA DE PLANTIO DE PALMA DE ÓLEO (*Elaeis oleifera* (Kunth) Cortés) NO NORDESTE PARAENSE


Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação 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.

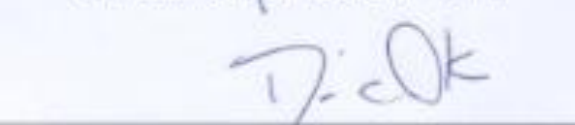
Data de Aprovação: 19 / 02 /2013

Banca Examinadora:


Prof. Maria de Lourdes Pinheiro Ruivo - Orientadora
Doutora em Agronomia
Museu Paraense Emílio Goeldi - MPEG


Prof. Steel Silva Vasconcelos - Membro
Doutor em Recursos e Conservação Florestais
Embrapa Amazônia Oriental - CPATU


Prof. Everaldo B. de Souza - Membro
Doutor em Meteorologia
Universidade Federal do Pará - UFPA


Prof. Ricardo Shigueru Okumura - Membro
Doutor em Agronomia
Universidade Federal Rural da Amazônia - UFRA

Dedico,

À Deus, meu guia.

À minha amada esposa Carolina e filha Alice, por me fazerem querer cada dia mais.

À meus país, Alberto e Jacirema, pelo amor recíproco, zelo e torcida durante minha trajetória.

À meus irmãos, Mauricio e Matheus Henrique.

À meus sobrinhos, Gustavo e Vitória.

AGRADECIMENTOS

Agradeço,

À Deus, por tudo.

À minha orientadora, Dra. Maria de Lourdes Pinheiro Ruivo, pelos ensinamentos.

À empresa Dendê do Pará S/A (DENPASA), por permitir que o estudo fosse conduzido em suas áreas de plantio.

Ao Dr. Steel Silva Vasconcelos, por permitir que a realização de minhas análises fossem procedidas no Laboratório de Ecofisiologia Vegetal da Embrapa Amazônia Oriental.

Às chefias imediatas em meu local de trabalho, Prof. Dr. Heráclito Eugênio Oliveira da Conceição e Prof. Dr. Cândido Ferreira de Oliveira Neto, pelo estímulo.

Aos funcionários do Laboratório de Ecofisiologia Vegetal da Embrapa Amazônia Oriental, em especial Neusa Ferreira, Cléo Marcelo Souza, Ivanildo Trindade, Everson Rocha, pelas contribuições durante os procedimentos laboratoriais.

À minha querida cunhada Carina Melo, pelas valiosas contribuições.

À todos aqueles que de alguma maneira contribuíram para que este trabalho se tornasse realidade.

RESUMO

O Brasil possui cerca de 32 milhões de hectares de áreas com aptidão para a expansão da cultura da palma de óleo e mais de 90% destas estão na Amazônia. Há necessidade de compreender a interação de novos plantios e de seu desenvolvimento com o meio ambiente. Este estudo foi conduzido em plantios comerciais da empresa Dendê do Pará SA (DENPASA) em Castanhal – Pará e avaliou o efeito da variação sazonal da precipitação sobre a fertilidade do solo e desta sobre a biomassa microbiana do solo em uma cronosequência de plantios de palma de óleo com 5, 8 e 12 anos e floresta secundária. Foram mensurados/estimados e correlacionados os atributos do solo carbono da biomassa microbiana (C_{BMS}), carbono total (C_{TOTAL}), nitrogênio (N_{TOTAL}), respiração basal (RBS), quociente metabólico (qCO_2), relação carbono da biomassa microbiana/ carbono total ($C_{BMS}:C_{TOTAL}$), relação carbono/nitrogênio (C/N), umidade gravimétrica (Ug), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), alumínio (Al), capacidade de troca efetiva de cátions (CTC) e saturação por alumínio (m). O C_{BMS} foi o atributo mais sensível para diferenciar as áreas do estudo e os períodos seco e chuvoso. Os atributos químicos de fertilidade do solo e a biomassa microbiana do solo apresentaram correlações significativas mais fortes e em maior número no período chuvoso. Os índices microbianos qCO_2 e $C_{BMS}:C_{TOTAL}$ comprovaram que áreas de plantio convencional podem ser relativamente eficientes em relação à dinâmica do C em comparação a área de floresta secundária.

Palavras-chave: Fertilidade do solo. Biomassa microbiana. Precipitação. Palma de óleo. Floresta secundária. Amazônia.

ABSTRACT

Brazil has about 32 million hectares of areas with capability to oil palm's expansion and more than 90% of these are in the Amazon. There is need to understand the interaction of new plantations and its development with the environment. This study was conducted in Dende do Pará SA (DENPASA), commercial plantations company, and aimed to evaluate precipitation's seasonal variation on the soil fertility and thus on soil biomass in a chronosequence of oil palm plantations with 5, 8 and 12 years and secondary forestry. We measured / estimated and correlated the attributes carbon microbial biomass (C_{SMB}), total carbon (C_{TOTAL}), total nitrogen (N_{TOTAL}), soil basal respiration (SBR), metabolic quotient (qCO_2), carbon microbial biomass / total carbon ratio ($C_{BMS}:C_{TOTAL}$), carbon / nitrogen ratio (C / N), gravimetric moisture (Ug), phosphorus (P), potassium (K), calcium (Ca), magnesium (Mg), aluminum (Al), effective exchange capacity of cations (CTC) and aluminum saturation (m). The CBMS was the attribute most sensitive to differentiate areas of study and dry and rainy seasons. Chemical characteristics of soil fertility and soil microbial biomass were correlated stronger and in greater numbers during the rainy season. Chemical attributes of soil fertility and soil microbial biomass presented correlation more strong and in greater numbers during the rainy season. The microbial indices qCO_2 and $C_{BMS}:C_{TOTAL}$ proved that conventional planting areas can be relatively efficient in relation to C dynamics compared to secondary forest area.

Keywords: Soil fertility. Microbial biomass. Precipitation. Palm oil. Secondary forest. Amazon.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 -	Localização geográfica da área de estudo, no município de Castanhal-PA, Brasil.....	27
Figura 2 -	Imagem destacando as áreas onde foram procedidas as amostragens deste estudo. Área P05 (A), área P08 (B), área P11 (C) e área FSEC (D).....	29
Figura 3 -	Imagem de pluviômetro utilizado para monitoramento diário de precipitação, instalado nas proximidades das áreas de estudo no município de Castanhal – PA.....	31
Figura 4 -	Precipitação pluviométrica diária (a) e mensal acumulada (b) no período seco de 2011 e chuvoso de 2012 no município de Castanhal (PA). As setas na figura 4 (a) e círculos na figura 4 (b) indicam respectivamente os dias e os meses da amostragem de solo.....	31
Figura 5 -	Desenho esquemático de uma subárea do presente estudo destacando a distribuição da amostragem de solo.....	33
Figura 6 -	Valores médios de umidade gravimétrica do solo coletados no período seco de 2011 e chuvoso de 2012 no município de Castanhal (PA).....	39
Figura 7 -	Valores médios de capacidade de troca efetiva de cátions do solo (a), fósforo do solo (b), potássio do solo (c), sódio do solo (d), Mg do solo (e) e Cálcio do solo nas áreas P05, P08, P11 e FSEC no município de Castanhal – PA.....	40
Figura 8 -	Valores médios de pH em água do solo (a), saturação por alumínio do solo (b) e alumínio do solo (c e d) em áreas com cultivo de palma de óleo com 11 anos (P11), 08 anos (P08), 05 anos (P05) e área de floresta secundária no município de Castanhal (PA).....	41
Figura 9 -	Valores médios de Carbono total do solo (a), Nitrogênio total do solo (b) e Relação C/N do solo (c e d) em áreas com cultivo de palma de óleo com 11 anos (P11), 08 anos (P08), 05 anos (P05) e área de floresta secundária no município de Castanhal (PA), no período seco de 2011 e chuvoso de 2012.....	42
Figura 10-	Valores médios de Carbono da biomassa microbiana do solo (a), Respiração basal do solo (b) e quociente metabólico da biomassa microbiana (c e d) em áreas com cultivo de palma de óleo com 11 anos (P11), 08 anos (P08), 05 anos (P05) e área de floresta secundária no município de Castanhal (PA), no período seco de 2011 e chuvoso de 2012.....	43
Figura 11-	Percentual médio da quantidade de carbono contido na biomassa microbiana do solo em relação a quantidade total de Carbono do solo em áreas com cultivo de palma de óleo com 11 anos (P11), 08 anos (P08) e 05 anos (P05) e área de floresta secundária no município de Castanhal (PA), no período seco de 2011 e chuvoso de 2012.....	44
Figura 12-	Componentes principais para as áreas de plantio no período seco. C_{TOTAL} – carbono orgânico total do solo; N_{TOTAL} – nitrogênio total do solo; C/N – relação carbono: nitrogênio do solo; C-BMS – carbono da biomassa microbiana do solo; $C_{BMS}:C_{TOTAL}$ – relação carbono microbiano:carbono total do solo; RB – respiração basal do solo; qCO_2 – quociente metabólico do solo; Umidade – umidade gravimétrica do solo; $CTC_{EFETIVA}$ – capacidade de troca de cátions efetiva do solo; m – saturação por alumínio do solo (%); pH em água – potencial hidrogeniônico do solo; P – fósforo do solo; K – potássio do solo; Na – sódio do solo; Ca – cálcio do solo; Mg – magnésio do solo; Al – alumínio do solo.....	46

Figura 13- Componentes principais para área de plantio no período chuvoso. C_{TOTAL} – carbono orgânico total do solo; N_{TOTAL} – nitrogênio total do solo; C/N – relação carbono: nitrogênio do solo; $C-BMS$ – carbono da biomassa microbiana do solo; $C_{BMS}:C_{TOTAL}$ – relação carbono microbiano:carbono total do solo; RB – respiração basal do solo; qCO_2 – quociente metabólico do solo; Umidade – umidade gravimétrica do solo; $CTC_{EFETIVA}$ – capacidade de troca de cátions efetiva do solo; m – saturação por alumínio do solo (%); pH em água – potencial hidrogeniônico do solo; P – fósforo do solo; K – potássio do solo; Na – sódio do solo; Ca – cálcio do solo; Mg – magnésio do solo; Al – alumínio do solo.....

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	HIPÓTESES	15
3	OBJETIVOS	16
3.1	OBJETIVO GERAL.....	16
3.2	OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	16
4	REFERENCIAL TEÓRICO	17
4.1	PALMA DE ÓLEO (<i>Elaeis oleifera</i> (Kunth) Cortés)	17
4.2	VARIAÇÃO PLUVIOMÉTRICA SAZONAL.....	20
4.3	ATRIBUTOS DE FERTILIDADE DO SOLO	22
4.4	A MATÉRIA ORGÂNICA E A BIOMASSA MICROBIANA DO SOLO.....	24
5	MATERIAL E MÉTODOS	27
5.1	ÁREA DE ESTUDO.....	27
5.2	DESCRIÇÃO DO EXPERIMENTO E HISTÓRICO DA ÁREA.....	28
5.3	PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA LOCAL.....	30
5.4	AMOSTRAGEM DE SOLO.....	32
5.5	PREPARO DAS AMOSTRAS.....	33
5.6	ATRIBUTOS QUÍMICOS DE FERTILIDADE DO SOLO.....	34
5.7	BIOMASSA MICROBIANA DO SOLO (BMS)	34
5.8	RESPIRAÇÃO BASAL DO SOLO (RBS)	35
5.9	ÍNDICES MICROBIANOS	35
5.10	UMIDADE DO SOLO.....	36
5.11	ANÁLISES ESTATÍSTICAS	36
6	RESULTADOS	38
6.1	UMIDADE DO SOLO	39
6.2	ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO	40
6.3	CARBONO TOTAL, NITROGÊNIO TOTAL, RELAÇÃO C/N DO SOLO.....	42
6.4	CARBONO DA BIOMASSA MICROBIANA, RESPIRAÇÃO BASAL E	

	QUOCIENTE METABÓLICO METABÓLICO.....	43
6.5	RELAÇÃO $C_{BMS} : C_{TOTAL}$	44
6.6	COMPONENTES PRINCIPAIS	45
6.7	CORRELAÇÃO	47
7	DISCUSSÃO	50
8	CONCLUSÕES	55
9	CONSIDERAÇÕES FINAIS	56
10	REFERÊNCIAS	57

1 INTRODUÇÃO

O Brasil possui, segundo o Zoneamento Agroecológico da Palma de Óleo aprovado pela presidência da república, no decreto lei nº 7.172, de março de 2010, cerca de 32 milhões de hectares de áreas desmatadas, com aptidão para a expansão da cultura da palma de óleo (*Elaeis oleifera* (Kunth) Cortés), sendo que mais de 90% destas estão localizadas na Amazônia. Levantamentos recentes inserem o Brasil entre os 10 maiores produtores de palma de óleo, entretanto sua produtividade ainda não é suficiente nem mesmo para suprir o mercado interno (FAO, 2012; MAPA, 2012,).

No estado do Pará, algumas regiões se tornaram atrativas ao desenvolvimento da cultura da palma de óleo devido a processos históricos e condições edafoclimáticas favoráveis. A região nordeste paraense constitui uma das mais antigas áreas de colonização da Amazônia, processo este que se desenvolveu com maior intensidade, a partir do final do século XIX. Atualmente, a paisagem da região caracteriza-se por um cenário antropizado, com áreas de vegetação secundária resultantes da exploração madeireira e da agricultura tradicional, esta última, praticada com relativa intensidade e com observância de períodos de pousio relativamente curtos (de 2 a 5 anos) (WATRIN et al., 1998; METZGER, 2002; MENEZES 2011; BARROS et al., 2012).

O processo de mudanças no uso do solo, ocorrido na região nordeste paraense, levou à devastação de grande parte da cobertura vegetal original, tornando-a atrativa para o plantio de culturas industriais, visto que não seria necessário avançar sobre florestas. Isso, aliado a condições de clima e solo favoráveis, faz com que essa região seja considerada ideal para o desenvolvimento de culturas como a palma de óleo. Esta aptidão pode ser comprovada em registros produtivos de 2011, quando cerca de 1.085.408 t de cachos frescos de palma de óleo foram produzidas no Pará, com destaque para mesorregião Nordeste Paraense com 1.009.392 t. Os municípios com maior produção foram Tomé-Açu (861.552 t) e Tailândia (474.601 t) (IBGE, 2012).

Dessa forma, o estado do Pará representa cerca de 80% da produção nacional de óleo de palma, mas esse percentual pode crescer em função da aptidão edafoclimática da região e da excelente aceitabilidade do produto nos mercados nacional e internacional (USDA, 2011). Hoje, o óleo vegetal extraído, seja do mesocarpo (óleo de palma ou óleo de dendê) ou da amêndoa (óleo de palmiste), é um dos mais consumidos no mundo, principalmente pelas indústrias alimentícias e de biocombustíveis (LOPES et al., 2008).

A cultura da palma de óleo é uma atividade de importância agroecológica-industrial com ciclo de exploração comercial de aproximadamente 25 anos. Entretanto, algumas

cultivares como a BRS Manicoré (hibridação interespecífica entre o dendezeiro *Elaeis oleífera* (Kunth) Cortés, espécie americana, também denominada caiaué, e o dendezeiro *E. guineenses* Jacq., espécie africana) tendem a um ciclo produtivo ainda mais longo, potencializando o acúmulo de carbono (VEIGA et al., 2000; CUNHA; LOPES, 2010). Dado o alto acúmulo de biomassa ao longo do ciclo vegetativo, pode-se afirmar que as extensas áreas com plantio de dendezeiros sejam um considerável sumidouro de carbono (REIJNDERS; HUIJBREGTS, 2008; CUNHA; LOPES, 2010; SAIKKU et al., 2012; PATTHANAISSARANUKOOL et al., 2012; QUEIROZ et al., 2012).

Bastos (2000) considera que a cultura da palma de óleo é de reduzido impacto ambiental negativo. Entretanto Smith et al. (2012) relata que a substituição de florestas por cultivos de palma de óleo representa perdas líquidas de carbono principalmente em fases iniciais. Souza e Alves (2003), Kaschuk et al. (2010) e Mojiri et al. (2012) relatam que a substituição da vegetação natural, por culturas agrícolas, provoca um desequilíbrio no ecossistema, já que o manejo adotado influenciará nos processos físico-químicos e biológicos do solo, podendo modificar suas características e, muitas vezes, propicia sua degradação.

Frighetto (2000) destaca que o monitoramento de atributos biológicos, relacionados à biomassa microbiana do solo, pode ser importante fator para se evitar a degradação de ecossistemas, uma vez que estes são sensíveis indicadores de alterações e são determinantes na decomposição da serapilheira.

Nos trópicos úmidos, geralmente a produtividade dos ecossistemas naturais e de agrossistemas introduzidos, os quais raramente são fertilizados, depende da ciclagem dos nutrientes minerais contidos na serapilheira das plantas e da matéria orgânica do solo (FEARNSIDE, 1993). Haron et al. (1998) constataram que o carbono orgânico do solo e a biomassa microbiana do solo aumentam em função do amadurecimento do plantio com palma de óleo, sugerindo que a crescente produção de serapilheira ocasionada pelo acúmulo de biomassa potencializa a ciclagem de nutrientes.

Gama-Rodrigues e Gama-Rodrigues (2008) também analisaram o efeito do tempo sobre o ambiente cultivado e observaram que a relação C microbiano C orgânico diminui com o tempo, provavelmente em função do aumento da contribuição de material vegetal de difícil decomposição.

Erhabor e Filson (1999) constataram que o efeito do tempo sobre plantios de palma de óleo consorciados com soja (*Glycyne max*), milho (*Zea mays*) e coco inhame (*Xanthosoma sagittifolium*) não provocou alteração significativa no pH após 3 anos de cultivo, mas a matéria orgânica do solo diminuiu 10-51% nos tratamentos consorciados.

Por ocasião de um ciclo produtivo mais longo, culturas perenes estão associadas a interações ambientais de médio e longo prazo. Por exemplo, precipitações elevadas podem acelerar processos degenerativos de erosão do solo comprometendo a sustentabilidade de ecossistemas (CLAIR ; LYNCH, 2010).

Em curto prazo, a precipitação provoca variações no conteúdo de água do solo, desencadeando complexos processos químicos e biológicos (FERREIRA et al., 2005). Durante uma chuva o espaço poroso do solo preenchido por ar é substituído por água, logo o conteúdo de oxigênio do solo diminui juntamente com a população de microorganismos aeróbicos (BREEMEN ; BUURMAN, 2002). Um dos produtos da decomposição microbiana é o dióxido de carbono, o qual interage com a água do solo originando íons bicarbonato e prótons H^+ ocorrendo redução do pH do solo. O efeito dessa redução pode deslocar K^+ , Mg^{+2} , Ca^{+2} e Mn^{+2} no complexo de troca de cátions, deixando-os livres para serem absorvidos pelas plantas ou para lixiviação (MARSCHNER, 1995 ; TAIZ; ZEIGER, 2006).

O balanço entre produtividade primária e perdas por lixiviação, erosão, volatilização e exportação de nutrientes pelas culturas reflete sustentabilidade agrônômica (FEARNSIDE, 1993; PISANTE et al., 2012, MALTAS et al., 2013). A determinação da fertilidade do solo pode ser avaliada pela combinação de atributos químicos, físicos e biológicos (MELO, 2006; KASCHUK, 2010).

Assim, considerando que as áreas de cultivo da palma de óleo estão em expansão e que é necessário entender as complexas interações agroecológicas produzidas entre a cultura e o meio, este estudo buscou avaliar a influência da variação de atributos químicos de fertilidade do solo sobre a sua biomassa microbiana, em áreas de plantio de palma de óleo com diferentes idades e floresta secundária no período seco e no chuvoso.

Além disso, o presente estudo busca responder a seguinte pergunta de pesquisa: “Qual o efeito da variação sazonal de atributos químicos de fertilidade do solo, sobre a biomassa microbiana em plantios de palma de óleo com 5, 8 e 11 anos de idade e em floresta secundária?”

2 HIPÓTESES

1. A variação sazonal da precipitação induz a variações em atributos químicos de fertilidade do solo, provocando variações na atividade da biomassa microbiana.
2. A relação C microbiano : C orgânico diminui em função do aumento da idade do plantio.
3. Os plantios com palma de óleo são mais eficientes do que o sistema natural quanto à imobilização de C na biomassa microbiana do solo.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL: avaliar o efeito da variação sazonal da precipitação sobre atributos químicos de fertilidade do solo e destes sobre a biomassa microbiana do solo em uma cronossequência de plantio de palma de óleo e em floresta secundária.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar o efeito da sazonalidade pluviométrica sobre atributos de fertilidade do solo em cultivo de palma de óleo e floresta secundária.
- Avaliar os atributos de fertilidade do solo nas áreas de plantio de palma de óleo de 5, 8 e 11 anos de idade com e compará-los á área de floresta secundária;
- Estimar atributos microbiológicos de qualidade do solo sob cultivo de palma de óleo e floresta secundária: quociente metabólico (qCO_2) e relação C microbiano: C total;
- Avaliar as correlações existentes entre os atributos de fertilidade do solo mensurados/estimados.
- Determinar quais as principais componentes responsáveis em explicar as variações na biomassa microbiana do solo das áreas de estudo.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 PALMA DE ÓLEO (*Elaeis oleifera* (Kunth) Cortés)

O Brasil está entre os dez maiores produtores de palma de óleo, entretanto sua produção é inferior a de países como Malásia e Indonésia, havendo necessidade de importação (FNP, 2008; FAO, 2012; MAPA, 2012). E, a maior parte das áreas de plantio está localizada no estado do Pará, respondendo por cerca de 80% da produção nacional; mas ainda há necessidade de se aumentar bastante a área plantada, para que sejam supridas as demandas internas (LOPES et al., 2008).

Além do Zoneamento Agroecológico da Palma de Óleo (decreto lei nº 7.172 de março de 2010), o governo brasileiro também lançou o Programa Nacional Sustentável de Óleo de Palma, no dia 6 de maio 2010 no município de Tomé-Açu no Pará, tendo como objetivo principal mobilizar ações conjuntas dos setores públicos e privados, para que a expansão da cultura ocorra de maneira consciente, haja vista o exemplo do Sudeste Asiático, onde a expansão da fronteira agrícola ocorreu sobre milhares de hectares de florestas nativas (KOH ; WILCOVE, 2007; BHAGWAT ; WILLIS, 2008).

As espécies vegetais oleaginosas têm grande importância no Brasil devido à alta aceitabilidade de seus óleos nos mercados nacional e internacional. Na região amazônica, o cultivo da palma de óleo é favorecido por boas condições de adaptação da espécie às condições edafoclimáticas, além de ser uma cultura com impacto ambiental negativo reduzido, se comparado a outras culturas oleaginosas, como a soja (BASTOS, 2000).

Além disso, a grande diversidade de usos possíveis em diversos setores da economia tem provocado aumentos nas demandas pelo produto, provocando sua valorização. No porto Holandês de Roterdã, o preço pago pela tonelada do óleo vegetal mais do que dobrou num período de cinco anos, chegando a US\$ 1,196 no fim de 2010 (USDA, 2011).

Deve-se esclarecer que um grande entrave para a expansão da cultura em determinadas regiões do estado do Pará é o Amarelecimento Fatal (AF) da palma de óleo. Essa doença foi responsável pela degradação de extensas áreas de cultivo de palma de óleo, representando hoje a principal moléstia que afeta a cultura na região amazônica, tendo sua ocorrência inicial registrada em 1974 no município de Santa Bárbara do Pará. A partir daí também ocorreram casos nos estados do Amazonas e Amapá (TRINDADE ; POLTRONIERI, 2005).

A Embrapa iniciou, na década de 1980, um programa de melhoramento visando ao desenvolvimento de híbridos interespecíficos (HIE) entre as espécies de palma de óleo

americana e africanas, respectivamente e *Elaeis oleífera* (Kunth) Cortés e *E. guineensis* Jacq. Esse programa teve como resultado o desenvolvimento da cultivar BRS Manicoré (cadastrada no Registro Nacional de Cultivares – RNC sob o nº 26031) para cultivo em área de incidência de AF (CUNHA ; LOPES, 2010).

A cultivar BRS Manicoré tem produtividade similar à palma de óleo africana (25 t a 30 t de cachos/ha⁻¹/ano⁻¹), contudo possui taxa de extração de óleo inferior, variando de 18% a 20%, resultando em produtividade de 4,5 t a 6,0 t de óleo de palma/ha⁻¹/ano⁻¹. O crescimento vertical do tronco (17 a 24 cm/ano⁻¹) é inferior ao das cultivares tradicionais de palma de óleo (45 a 60 cm/ano⁻¹) o que deve prolongar a vida útil dos plantios comerciais (CUNHA ; LOPES, op.cit.).

De maneira geral a cultura exige temperatura média entre 25 e 27°C (limites 24 e 32°C) sem ocorrência de temperaturas mínimas abaixo de 19°C por períodos prolongados, precipitações mensais mínimas acima de 100 mm (150 mm ideais) e total anual em 2.000mm ou mais, luminosidade de pelo menos 1.800 horas/luz⁻¹/ano⁻¹ com no mínimo 5 horas/luz⁻¹/dia⁻¹ e umidade relativa do ar em torno de 80% (BASTOS, 2000).

No que se refere à palma de óleo, ela tem geralmente vida útil econômica superior a 25 anos e é a oleaginosa cultivada de maior produtividade mundial com rendimentos superando 25 t/ha⁻¹/ano⁻¹ de cachos frescos, o que equivale a 4 a 6 t/ha⁻¹/ano⁻¹ de óleo. A produtividade da palma de óleo é pelo menos de 3 a 8 vezes superior a da maioria das sementes oleaginosas (CUNHA ; LOPES, op.cit.).

Essa cultura tem sido explorada por décadas sem a necessidade de preparo do solo, favorecendo a estabilidade de sua estrutura, proporcionando cobertura permanente e evitando o impacto direto das intensas chuvas amazônicas, podendo provocar erosão e lixiviação, não necessitando, pois, de período de estiagem para colheita ou secagem, como ocorre com os grãos. E, possui grande capacidade de fixação de carbono e alta eficiência na conversão energética, gerando subprodutos como cascas, fibras e efluentes de usina de processamento de cachos (LOPES et al., 2008; FURLAN JÚNIOR, 2006).

Outra particularidade da cultura da palma de óleo é o uso intensivo de mão-de-obra. Por ser uma planta perene com mercado promissor e com alto valor comercial, sem entressafras, permite a interiorização e a fixação do homem no campo. Em média, cada 10 hectares de palma de óleo significam trabalho rentável para uma família por 25 anos (BARCELOS, 2002). Por essas características representa excelente desempenho como atividade âncora em programas de interiorização em projetos de reforma agrária, colonização,

cooperativas e outros modelos de desenvolvimento rural, sendo comprovados os benefícios econômicos, ecológicos e sociais.

Devido a tudo isso, modernamente a palma de óleo vem sendo adotada como cultura principal em sistemas agroflorestais (SAFs) na Amazônia. Por suas características, a inserção desta cultura aos SAFs pode potencializar seus efeitos benéficos fortemente associados com a prestação de serviços ambientais, como conservação do solo, da água, da biodiversidade e sequestro de carbono (MONTANGNINI ; NAIR, 2004; NAIR et al., 2008; SHIBU, 2009). Souza et al. (2011) constataram, entre outros benefícios, que agrossistemas com palma de óleo podem, assim como sistemas naturais, contribuir para a redução da compactação do solo e resistência ao desenvolvimento radicular, minimizando os efeitos da mecanização.

Estudos realizados por Haron et al. (1998) na Malásia mostram que o carbono da biomassa microbiana e o carbono orgânico do solo aumentam em função da idade do plantio de palma de óleo, ocorrendo isso a médio e longo prazo. Em curto prazo Smith et al. (2012) relataram perdas líquidas de carbono associadas a mudanças no uso da terra em fases iniciais; segundo eles, não há acumulação estável de C no solo, estando ligada ao amadurecimento dos plantios com essa oleaginosa.

No estudo de Law et al. (2009), foram encontradas concentrações mais elevadas de carbono orgânico do solo em plantios de palma de óleo com 17 anos, do que em plantios com 5 anos. Entretanto, essa variabilidade temporal pode estar relacionada à técnica de quantificação, já que não foi possível identificar grandes incrementos de carbono orgânico no solo entre áreas de plantio com palmas jovens e maduras.

Em áreas com palma de óleo na Amazônia, plantas com 15 anos tiveram seu sistema radicular associado à diminuição de lixiviação do nitrato, podendo reduzir a necessidade de adubação nitrogenada. Os resultados mostraram que nos espaços inter-árvores e entre linhas de plantio, onde há menos raízes, estas perdas foram maiores (SCHROTH et al., 2000). Santiago et al. (2011), estudando plantios mais jovens de palma de óleo, não observaram mudanças expressivas na dinâmica do nitrogênio inorgânico no solo.

Erhabor e Filson (1999) também estudavam o efeito do tempo sobre plantios de palma de óleo. Seus resultados demonstram que em cultivos da palma consorciados com soja (*Glycine max*), milho (*Zea mays*) e coco inhame (*Xanthosoma sagittifolium*) não houve alteração significativa no pH após 3 anos de cultivo, mas a matéria orgânica do solo diminuiu 10-51% nos tratamentos consorciados.

4.2 VARIAÇÃO PLUVIOMÉTRICA SAZONAL

Para que se possa definir o clima de uma região é necessário monitorar o estado médio das condições e características da atmosfera durante um determinado intervalo de tempo, geralmente 30-35 anos. Para isso são aferidos valores das características médias da atmosférica em um dado momento, podendo ser temperatura média, precipitação, umidade, velocidade do vento, pressão atmosférica e nebulosidade entre outros (AYOADE, 1996). Esses elementos climáticos são determinantes em muitos processos físicos, químicos e biológicos, culminando em uma série de características da superfície terrestre.

Os elementos climáticos mais importantes na determinação da produção da vegetação natural são a temperatura do ar e a precipitação pluviométrica (KERCHER ; CHAMBERS, 2001; MOHAMED et al., 2004; RUNNING et al., 2004) e, com menor destaque, a disponibilidade de radiação solar (NEMANI et al., 2003).

A precipitação na Amazônia é definida como um atributo meteorológico de grande variabilidade associado a diferentes sistemas de meso-escala, escala sinótica e de grande escala (ROCHA, 2001). De maneira geral, dezembro marca o início do período mais chuvoso que se prolonga por cinco ou seis meses, sendo o mês de março o que tem maior precipitação. Os demais meses do ano são menos chuvosos, entretanto setembro e outubro costumam ser os mais secos (ALBUQUERQUE et al., 2010).

A análise dos dados de precipitação no período de 1978 a 2008 do banco de dados do projeto Rede Estadual de Previsão Climática e Hidro-meteorológica do Pará (RPCH) caracterizou a região Nordeste Paraense como uma das mais chuvosas da região, nela ocorrem precipitações superiores à 2000 mm anuais (ALBUQUERQUE et al, op.cit.). As altas pluviosidades dessa região são em parte explicadas pela proximidade do litoral, local onde ocorre forte influência da ZCIT (Zona da Convergência Intertropical), sendo que nestas áreas ocorre forte convecção tropical originada a partir do ramo ascendente da Célula de Hadley (MARENGO, 2007).

E, dois importantes fenômenos naturais causam anomalias no clima da Amazônia, o primeiro é o chamado “El Niño”, período em que os índices pluviométricos da região tendem a diminuir. O segundo, de “La Niña”, quando os índices de precipitação tendem a se elevar. Os impactos do El Niño na Amazônia são mais intensos na região norte e central (SOUZA ; AMBRIZZI, 2006).

Nos últimos anos, a sociedade presencia um aumento na frequência de eventos extremos relacionados a mudanças climáticas globais. Eventos mais intensos de precipitação

causam, a longo prazo, a aceleração de processos degenerativos como a erosão do solo, comprometendo a nutrição das plantas, e conseqüentemente, a sustentabilidade dos ecossistemas. Assim, se faz necessário o manejo adequado do solo para melhorar sua fertilidade e mitigar possíveis efeitos de elevação da precipitação (CLAIR ; LYNCH, 2010).

Alguns fatores como temperatura do ar e conteúdo de água no solo podem causar estresse para a planta. Segundo Taiz e Zeiger (2006), o estresse pode ser medido em relação à sobrevivência da planta, ou seja, seu crescimento, que está relacionado ao acúmulo de biomassa ou aos processos de absorção de CO₂ e minerais.

A interação precipitação-superfície começa com a interceptação da precipitação pluviométrica pela cobertura vegetal sendo uma das principais componentes do ciclo hidrológico. A interceptação varia de acordo com o aspecto morfológico da cobertura vegetal e o regime de precipitação dominante na região. A precipitação que atingirá o solo depende da natureza e densidade da cobertura vegetal, haja vista que a cobertura vegetal retém e armazena temporariamente certa quantidade de precipitação incidente. Esse acúmulo temporário de umidade desencadeia complexos processos químicos e biológicos no solo (FERREIRA et al., 2005).

O efeito de variações sazonais de clima podem induzir, em curto prazo, flutuações populacionais de microorganismos que, por sua vez, acionam uma série de variações no pH e conteúdo de nutrientes do solo (BREEMEN ; BUURMAN, 2002). O aumento da precipitação causa diminuição do espaço poroso do solo preenchido por ar, logo ocorre redução da atividade dos microorganismos decompositores que utilizam oxigênio durante seu metabolismo (TAIZ; ZEIGER, op. cit.).

Um dos produtos da decomposição microbiana é o dióxido de carbono, este interage com a água do solo, originando íons bicarbonato e prótons H⁺ ocorrendo redução do pH do solo. O efeito dessa redução pode deslocar K⁺, Mg⁺², Ca⁺² e Mn⁺² no complexo de troca de cátions, deixando-os livres para serem absorvidos pelas plantas ou para lixiviação (MARSCHNER, 1995 ; TAIZ; ZEIGER, op. cit.).

Ao longo do tempo, as precipitações de uma determinada região tendem a produzir fortes interações com a vegetação. A família das palmeiras, no geral, apresenta adaptações que lhe conferem certa resistência ao estresse hídrico, porém verões prolongados exigem o uso de irrigação. Em climas de temperatura amena, as palmeiras podem apresentar boa aparência e crescimento com pouca ou nenhuma suplementação de irrigação (PITTENGER et al., 2009).

No caso específico da palma de óleo, pode-se afirmar que ela apresenta certa resistência a períodos intermitentes de seca em curto prazo. Entretanto, podem ocorrer prejuízos para essa cultura, caso não ocorram chuvas substanciais durante um período mais prolongado. Assim, mesmo que pouco frequente, a irrigação pode ser eficaz, desde que seja suficiente para restaurar a reserva de água no solo. O reabastecimento de água no solo, seja por irrigação ou por precipitação pode desencadear mudanças nas propriedades físicas e químicas do solo, afetando também o desenvolvimento radicular da cultura (HARUN ; HARUN, 2007).

Elementos climáticos como velocidade do vento, temperatura, umidade, período luminoso também são importantes fatores a serem mensurados, pois se observa que o déficit hídrico pode causar maiores complicações quando a radiação solar é maior (HARUN ; HARUN, op.cit.).

4.3 ATRIBUTOS DA FERTILIDADE DO SOLO

A fertilidade do solo engloba as características químicas, físicas e biológicas. Muitos indicadores podem ser utilizados para descrever a fertilidade do solo, mas é importante considerar a sensibilidade, o tempo requerido, e as propriedades relacionadas, as quais podem ser explicadas por meio de um determinado atributo (SALGADO et al., 2010).

Segundo Li et al. (2013) o objetivo de avaliar a qualidade do solo não é alcançar alta estabilidade de agregados, alta atividade biológica, ou outras propriedades do solo, mas proteger e melhorar a longo prazo a produtividade agrícola, qualidade da água e habitats de todos os organismos vivos.

Diversos autores contribuem para a seleção de bons indicadores de qualidade do solo na busca de melhorar a fertilidade do solo. Li et al. (2013) citam a matéria orgânica do solo como reserva de nitrogênio, fósforo e do potássio lentamente disponibilizado as plantas. Rosseau et al. (2012) e Cruz et al. (2012) destacam indicadores abióticos de qualidade do solo como a densidade, soma de bases, pH, Al^{3+} e carbono do solo. Fernandes et al. (2011) acrescenta a resistência a penetração como o atributo físico mais crítico para o uso produtivo e sustentável do solo.

Para Aragão et al. (2011) os atributos biológicos como a fosfatase ácida, nitrogênio da biomassa microbiana e carbono da biomassa microbiana são importantes na manutenção da fertilidade do solo, sendo capazes de detectar os efeitos de tratamentos de recuperação de solo. Em estudos conduzidos no Município de Marapanim (PA), em área preparada com

corte-e-trituração da capoeira em pousio, esses autores concluíram que atributos como o nitrogênio orgânico e o carbono orgânico foram mais precoces em detectar diferenças na mudança do uso da terra, enquanto que a matéria orgânica do solo foi um indicador mais tardio.

Vezzani e Mielniczuk (2009) consideram o favorecimento dos sistemas agrícolas na qualidade do solo, como aqueles que cultivam plantas intensamente sem o revolvimento do solo por não afetar as estruturas físicas formadas, nem favorecer a perda de elementos químicos e micro-organismos do solo. Para eles, sistemas agrícolas que possuem cultivo de espécies diferentes no espaço e no tempo, potencializam o sistema do solo a se organizar em estruturas físicas e químicas com complexidade e diversidade crescente. Consideram ainda que a alta quantidade de energia e matéria retida na forma de compostos orgânicos e biota edáfica habilitam o solo a exercer suas funções na natureza e, assim, atingir qualidade.

O cultivo de certas espécies pode produzir resíduos vegetais em quantidade e qualidade suficiente para propiciar melhorias na qualidade do solo. Bakar et al. (2011) mostram que o manejo dos resíduos de palma de óleo pode provocar significativo aumento do pH do solo e sub-solo. Os frutos secos da palma de óleo podem ser utilizados como cobertura morta e como fonte de nutrientes no campo, melhorando a fertilidade do solo e sustentando a produção de culturas a longo prazo.

A cultura da palma de óleo revela grande capacidade de converter energia solar em matéria verde. Esse processo requer uma grande quantidade de nutrientes que devem ser fornecidos através do solo ou fertilizantes, resultando em rendimentos elevados. O conhecimento da influência dessa cultura na qualidade do solo é indispensável para o manejo de nutrientes e maior eficiência no uso de fertilizantes (TARMIZI ; TAYEB, 2006).

Zulkif e Tarmizi (2010) mostram que, quando se utiliza resíduos orgânicos de palma de óleo, eles apresentam influência positiva quando adicionados a fertilizante fosfatados, estimulando a formação de P da biomassa microbiana (quatro vezes mais que quando fertilizante P adicionado sozinho).

A aplicação de fertilizantes químicos nitrogenados dentro da plantação é mais poluente que o processo de aplicação de resíduos de fruto fresco de palma de óleo. Observa-se redução dos impactos ambientais aplicando mais fontes orgânicas de fertilizantes nitrogenados em vez de fertilizantes químicos (ZULKILIF et al., 2010).

É possível observar que os componentes orgânicos da qualidade do solo são de suma importância na manutenção da sustentabilidade de ecossistemas. Logo, é de primordial importância entendê-los. Propriedades relacionadas ao conteúdo de matéria orgânica, como a

relação C / N, frações orgânicas de carbono (fração de ácidos húmicos, fúlvicos); atividade enzimática ou estabilidade dos agregados podem ser utilizadas como indicadores da qualidade do solo. Eles fornecem informações sobre o início dos processos de mineralização, disponibilidade de nutrientes e fertilidade, bem como os efeitos resultantes de mudanças no uso da terra, ou práticas agrícolas (SALGADO et al., 2010).

O Carbono orgânico no solo é considerado uma das propriedades mais importantes dos indicadores de qualidade do solo, tendo efeitos positivos sobre as propriedades físicas do solo, favorecendo a infiltração de água, armazenamento e drenagem. Estando diretamente relacionada também com a manutenção da estrutura do solo, a presença de diferentes grupos de microrganismos, a mineralização da matéria orgânica, e disponibilidade de nutrientes. (SALGADO, op. cit.).

4.4 A MATÉRIA ORGÂNICA E A BIOMASSA MICROBIANA DO SOLO

Quando se usa o termo “matéria orgânica do solo” deve-se referir ao conteúdo total de matéria orgânica viva e não viva, incluindo a biomassa (WAKSMAN, 1936). Ela é composta de uma diversidade de materiais orgânicos de diferentes funções no ecossistema solo. A matéria orgânica do solo (MOS) é um dos principais reservatórios de C da crosta terrestre, representando até duas vezes a soma das quantidades de C da atmosfera e da biomassa vegetal (SWIFT, 2001).

As componentes relacionadas à matéria orgânica têm importante papel na formação dos solos e conseqüentemente em sua fertilidade. Para que o material rochoso intemperizado passe a ser dinâmico, é necessário que de alguma maneira passe a acumular matéria orgânica, de modo que os processos que levem a formação do solo sejam direta ou indiretamente biológicos (SOUZA; FERNANDES, 2006).

A entrada de matéria orgânica nos sistemas terrestres é realizada pelas plantas e ocorre por vias fotossintéticas as quais utilizam gás carbônico atmosférico em complexos processos, culminando no acúmulo de biomassa. Conforme Tonello (2007), nos períodos onde a fotossíntese excede a respiração o carbono é armazenado mediante atividade biológica e conseqüentemente há uma redução dos níveis de CO₂ na atmosfera.

A matéria orgânica também pode entrar nos sistemas terrestres via adição de materiais que já passaram por compostagem, entretanto as quantidades de carbono que entram no sistema por essa via podem ser menores quando comparados à adição realizada pela deposição de material vegetal fresco, pois durante a decomposição inicial carbono é perdido

(SCHJONNING et al. 2004). De acordo com Selle (2007), parte do CO₂ retirado anualmente da atmosfera, retorna a mesma por meio da respiração microbiana do solo. Esse processo está diretamente relacionado à decomposição da matéria orgânica e a mineralização do húmus.

A distribuição da matéria orgânica no solo é variável, tanto em profundidade (ao longo do perfil do solo), quanto horizontalmente. Esta distribuição do carbono no solo depende de vários fatores, sendo exemplos o tipo do solo, o relevo, a cobertura ou uso do solo, as condições climáticas, a vegetação natural predominante na área, as práticas de uso e manejo do solo, entre outros. Além da quantidade, a qualidade da matéria orgânica é também de grande importância, uma vez que o carbono é fonte de nutrientes e energia para os microrganismos, além de condicionar funções do solo (TROEH; THOMPSON, 2007).

A velocidade de degradação da matéria orgânica é determinada principalmente pelas características intrínsecas do substrato (ex: relação C/N, lignina e grau de agregação), características do solo (ex: pH, teores de nutrientes e umidade) e características do ambiente (ex: temperatura, fluxo de calor e precipitação). Dentre os microrganismos, bactérias e fungos, do solo são os principais responsáveis pela degradação da mesma e conseqüentemente, acelerando, a liberação do carbono para a atmosfera (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006; SOUTO et al., 2008).

A matéria orgânica interfere na retenção de água, estrutura do solo e sua estabilidade, porosidade, retenção e disponibilidade de micro e macronutrientes. Ela regula a capacidade de troca de cátions (CTC), principalmente em solos tropicais, cuja fase mineral é dominada por componentes (caulinita, óxidos de ferro e alumínio, como goetita e hematita) de baixa atividade química, quando compara à fase mineral (vermiculita, montmorilonita, ilita) dos solos por vezes encontrados em regiões de clima temperado (TRUEH; THOMPSON, 2007).

O estudo da matéria orgânica do solo deve considerar a forte interação da fração viva com a residual. A densidade populacional dos microorganismos do solo é maior nas primeiras camadas do solo (0 – 10 cm de profundidade) e tende a declinar com o aumento da profundidade, pois estes organismos são fortemente correlacionados com a concentração de matéria orgânica morta (BREEMEN; BUURMAN, 2002). Por isso, é nos primeiros horizontes do solo que ocorrem os mais importantes fatores de formação do solo e regulação do fluxo da água para os ciclos biogeoquímicos (GOBERNA et al., 2005; PAUL, 2007).

Conceitualmente a biomassa microbiana do solo (BMS) corresponde à parte viva da matéria orgânica do solo, excluindo-se as raízes e os animais maiores que 5 mm³ (PAUL ; LADD, 1981). Ela pode ser monitorada por meio de atributos como o teor de C e N nela contidos (C_{BMS} e N_{BMS}), determinação de sua atividade pela liberação do C-CO₂ (respiração

basal) ou, ainda, pela determinação de relações como o quociente metabólico (qCO_2), $CBM:C_{TOTAL}$, $NBM:N_{TOTAL}$ do solo (GAMA-RODRIGUES & GAMA-RODRIGUES, 2008).

A BMS representa cerca de 1 a 3% do carbono orgânico total em solos tropicais e pode ser considerada propulsora terrestre do ciclo do carbono, correspondendo a maior parte da fração ativa da matéria orgânica solo (GAMA-RODRIGUES, 1999; SILVA 2007).

Os processos de transformação do C e N no solo influem diretamente na qualidade do solo. Nos últimos anos, o C orgânico do solo vem sendo sistematicamente qualificado e quantificado tanto na forma de teores totais quanto em diferentes compartimentos no solo, bem como os teores de N total advindos da atividade microbiana (GAMA-RODRIGUES; GAMA-RODRIGUES, op. cit.).

Outro importante atributo de estudo, é a respiração basal do solo (RBS), sendo definida por Silva et al. (2007) como a soma de todas as funções metabólicas onde o CO_2 é produzido. Esta sofre influência de fatores abióticos como aeração, umidade e temperatura, além da disponibilidade de substrato, visto que fungos e bactérias são os maiores responsáveis pela liberação de CO_2 durante a decomposição da Matéria Orgânica.

O solo possui grande quantidade de nitrogênio orgânico que não está acessível para mais decomposição (não lábil). O processo de conversão de N orgânico para inorgânico (disponível às plantas) é chamado de mineralização, sendo o inverso da imobilização. Tal processo depende da relação C/N dos materiais em decomposição. Relação C/N alta (acima de 30:1) favorece a imobilização e baixa (menos de 20:1) favorece a imobilização rápida (GAMA, 2004).

Para De-polli e Guerra (2008), a quantificação do reservatório da BMS não deve ser apenas entendida como uma simplificação do que seja a vida no solo, mas, principalmente, como um atributo complementar para o entendimento e eventual manejo da microbiota do solo. A partir de fatores de quantificação da BMS é possível realizar o monitoramento de áreas sob influência antrópica servindo como sensível indicador de alterações provocadas no ambiente (FRIGHETTO, 2000).

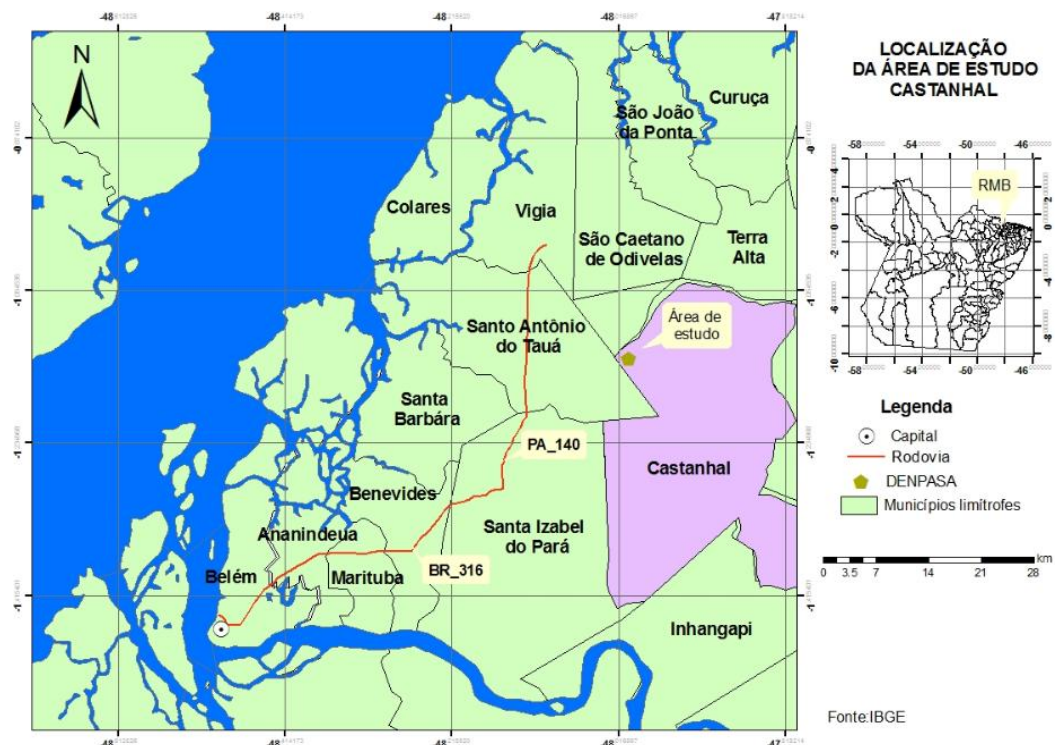
5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 ÁREA DE ESTUDO

A área da pesquisa foi estabelecida em plantios comerciais da empresa Dendê do Pará SA (DENPASA) estando próxima aos limites oeste do município de Castanhal (divisa com o município de Santo Antônio do Pará), localizado na mesorregião nordeste do estado do Pará (Figura 1), à margem direita da PA-140 que dá acesso ao município de Santo Antônio do Tauá, estando a cerca de 50 km da capital Belém (coordenadas geográficas centrais da área de estudo, latitude: 1° 08' 2,13''S, longitude: 48° 00' 15,23'' O).

O clima do município é tropical quente e úmido, do tipo Ami, conforme classificação de Köppen. De acordo com dados cedidos pela empresa DENPASA a precipitação média da área no ano que compreendeu o estudo foi 2428 mm, distribuída em uma estação chuvosa, entre janeiro e junho (com março como o mês mais chuvoso), e uma menos chuvosa, de julho a dezembro (tendo o mês de dezembro como o mais seco). A umidade relativa do ar média anual oscila de 78 a 90% (MARTORANO ; PEREIRA, 1993).

Figura 1- Localização geográfica da área de estudo, no município de Castanhal-PA, Brasil.



Fonte: Modificado de IBGE (2012).

5.2 DESCRIÇÃO DO EXPERIMENTO E HISTÓRICO DA ÁREA

As áreas de estudo foram compostas por três áreas de plantio com palma de óleo, cada uma com cerca de 4 ha da cultivar BRS Manicoré obtida a partir de hibridação interespecífica entre o dendezeiro *Elaeis oleífera* (Kunth) Cortés, espécie americana, também denominado caiaué, e o dendezeiro *E. guineensis* Jacq., espécie africana. A quarta área que compôs o estudo é uma floresta secundária de aproximadamente 15 anos. O arranjo espacial das plantas nas áreas de plantio com palma de óleo é em triângulo equilátero, configurando um espaçamento com 9 m entre plantas e 7,5 m entre linhas de plantio, que proporciona uma densidade de 143 plantas/ha⁻¹.

As áreas com cultivo de palma de óleo foram denominadas conforme a idade do plantio, sendo: 5 anos (P05); 8 anos (P08) e 11 anos (P11). A área de floresta secundária foi designada como FSEC.

Não foi possível obter descrições detalhadas do histórico das áreas de estudo, por isso, este foi baseado em relatos de moradores antigos das proximidades das áreas do estudo. Segundo eles anteriormente a região era forte zona de produção agropecuária e antes do plantio da palma de óleo as terras eram ocupadas por pastagens utilizadas para criação de gado em sistema extensivo de produção por um período aproximado de 15 anos.

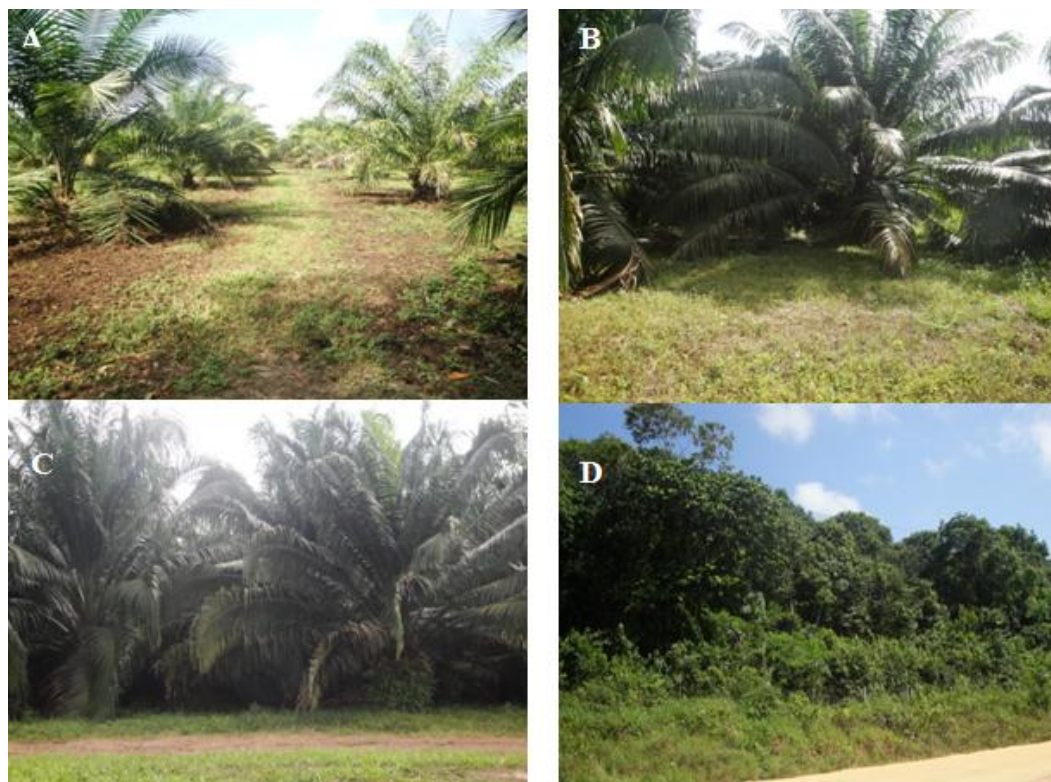
O preparo da área para o plantio da palma de óleo (cultivar BRS Manicoré) consistiu na abertura das covas de plantio conforme espaçamento já descrito e adubação de fundação, não havendo utilização de fogo nem revolvimento mecanizado do solo.

Os tratos culturais variam conforme o estágio produtivo da cultura. De maneira geral: as áreas de plantio recebem até cinco roçagens por ano utilizando roçadeiras de 4 terçados acopladas a trator New Holland modelo TL 100; cerca de duas vezes por ano é realizado coroamento químico com os produtos de nome comercial “Glifosato” ou “Roundup”; equipes realizam podas manuais periódicas retirando folhas senescentes e atacadas por moléstias, mantendo-se cerca de 40 folhas por planta; durante a colheita, que tem intervalos de 20 dias, também é realizada a poda da folha imediatamente abaixo do cacho maduro, sendo os restos foliares divididos em duas partes, a parte mais grossa da folha é depositada na linha de plantio (entre plantas) e as partes mais finas da folha são distribuídas alternadamente nas entrelinhas de plantio, deixando livre uma linha para trânsito dos tratores.

A área P11 está em plena fase de produção, garantindo maior rentabilidade para empresa, por isso, esta área recebe tratos culturais e adubação mais intensos. Esta última baseia-se em análises químicas foliares e de solo.

No período de 12 meses que antecederam as coletas finais deste estudo a área P11 recebeu adubações parceladas da formulação N-P-K 9-4-23, que continha também 8,8% de cálcio, 5,4% de enxofre e 0,4% de boro, totalizando cerca de 8 kg/planta⁻¹/ano⁻¹ além de adubação orgânica com restos culturais e esterco de aves misturados a pó de serragem. No mesmo período as áreas P05 e P08 receberam adubações orgânicas com restos culturais e químicas na formulação N-P-K 7-2-19, que continham também 8,2% de cálcio, 10,9% de enxofre e 2% de magnésio, totalizando cerca de 5 kg/planta⁻¹/ano⁻¹.

Figura 2- Imagem destacando as áreas onde foram procedidas as amostragens deste estudo. Área P05 (A), área P08 (B), área P11 (C) e área FSEC (D).



Fonte: Do autor

Os valores médios das características físicas, químicas e granulométricas do solo sob os tratamentos estão na tabela 1.

Tabela 1- Valores médios das características físicas, químicas e granulométricas do solo das áreas plantio com palma de óleo P05, P08, P11 e floresta secundária FSEC no município de Castanhal-PA.

Tratamento	Prof.	g/kg				Ds	pH _{1:2,5}	mg/dm ³			cmol/dm ³		
		Areia	A.Fina	Silte	Argila			P	K	Na	Ca	Ca + Mg	Al
P05	0-10	520,5	321	49	110	1,427	4,65	3,12	29	15,12	1,05	1,437	0,6
	10-20	470	313	97	120	1,486	4,45	2,12	23,87	15,37	0,57	0,987	0,925
	20-30	368	377	215	40	1,505	4,47	2,12	23,62	14,12	0,512	0,912	0,937
P08	0-10	511,5	326,5	62,5	100	1,385	4,48	2,37	22,37	16,87	0,65	1,062	1
	10-20	480	277	103	140	1,483	4,53	8,12	19,5	17,87	0,637	0,912	0,937
	20-30	494	256	51	200	1,423	4,57	2,62	17,62	17	0,525	0,837	0,962
P11	0-10	179,5	629,5	72	120	1,451	4,66	30,62	27,5	20,12	1,425	1,962	0,625
	10-20	356	442	122	80	1,520	4,65	5,5	48,75	26,12	0,637	0,962	0,862
	20-30	267	488	85	160	1,535	4,65	8,62	47,37	27,12	0,537	0,837	0,887
FSEC	0-10	414	398	58,5	130	1,323	4,38	1,5	19,37	18,5	0,762	1,212	0,975
	10-20	469	317	34	180	1,516	3,88	1,12	22,87	21,62	0,475	0,787	1,15
	20-30	412	286	23	280	1,406	4	1,12	21,5	17,25	0,475	0,937	1,037

Fonte: Do autor

5.3 PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA LOCAL

Durante a realização do estudo, a precipitação pluviométrica local foi monitorada diariamente por meio de um pluviômetro artesanal de PVC (polyvinyl chloride), com área útil de 78,5 cm², localizado na área experimental (figura 3).

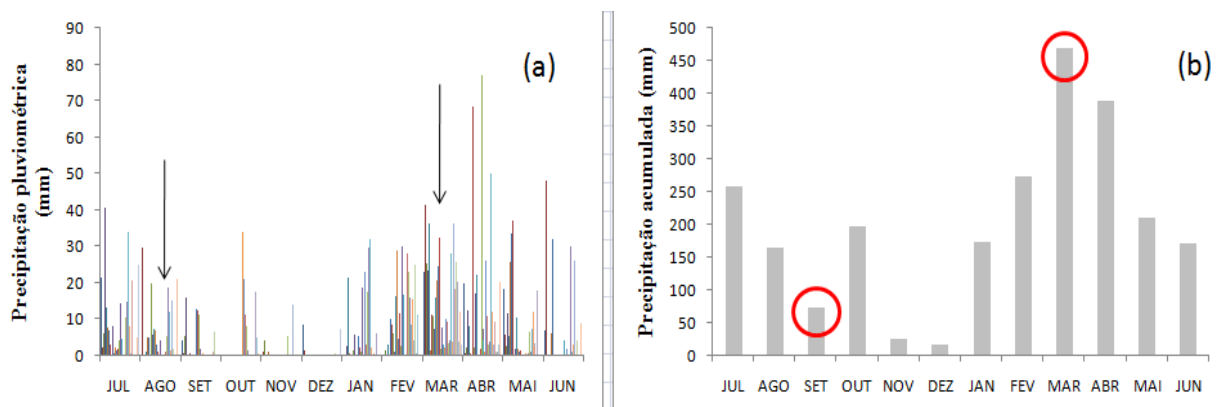
Figura 3- Imagem de pluviômetro utilizado para monitoramento diário de precipitação, instalado nas proximidades das áreas de estudo no município de Castanhal – PA.



Fonte: Do autor

O período de julho a dezembro de 2011 foi definido como a estação menos chuvosa (precipitação acumulada de 739 mm). A estação chuvosa se estendeu de janeiro a junho de 2012 (precipitação acumulada de 1.698 mm). O mês de março foi o mais chuvoso, com 469,5 mm e o mês de dezembro o mais seco, com 17,6 mm (Figura 4). Dez dias antes da campanha de coleta do período seco a precipitação foi de 48 mm. Já nos dez dias que antecederam as coletas do período chuvoso a precipitação foi de 135,8 mm.

Figura 4- Precipitação pluviométrica diária (a) e mensal acumulada (b) no período seco de 2011 e chuvoso de 2012 no município de Castanhal (PA). As setas na figura 4 (a) e círculos na figura 4 (b) indicam respectivamente os dias e os meses da amostragem de solo.



Fonte: Do autor

5.4 AMOSTRAGEM DE SOLO

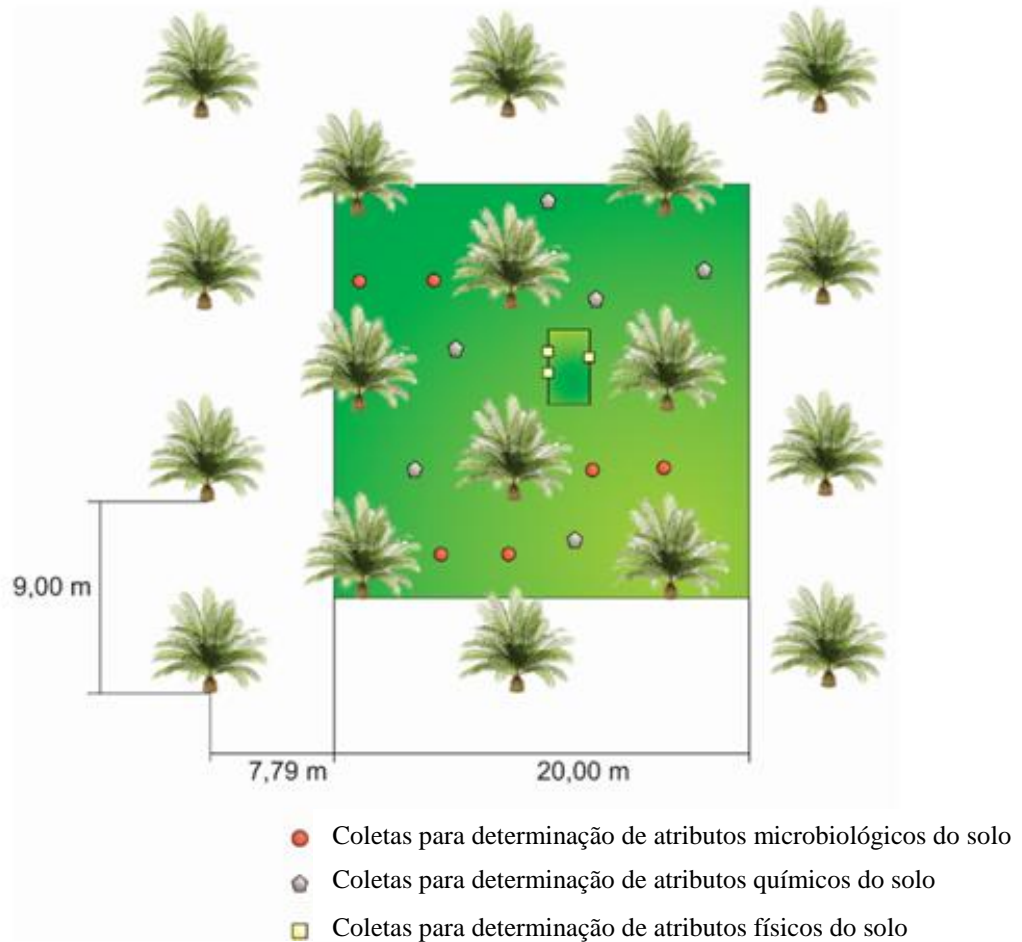
As campanhas de amostragem de solo foram realizadas em setembro de 2011 e março de 2012, coincidindo com o período menos chuvoso e chuvoso do município, respectivamente. Em cada tratamento, visando à maior representatividade da área, foram demarcadas quatro subáreas representativas de 20 x 20 m, escolhidas aleatoriamente.

Para determinação de atributos microbiológicos do solo, em cada campanha de amostragem, foram coletadas com trado tipo caneca, doze amostras de solo por tratamento. Em cada subárea foram coletadas 3 amostras, cada uma composta de duas sub-amostras simples, na profundidade 0-10 cm. Considerando o manejo dos resíduos vegetais na área, uma amostra simples era coletada na linha de plantio e outra na entre linha de plantio.

Para determinação de atributos químicos do solo, em cada campanha de amostragem, foram coletadas com trado tipo caneca, quatro amostras de solo por tratamento. Em cada subárea foram coletadas uma amostra composta de seis sub-amostras simples, na profundidade de 0-10 cm.

A amostragem para determinação da densidade do solo somente foi realizada na campanha de setembro de 2011, foram coletadas 12 amostras por tratamento, sendo três por subárea na profundidade de 0-10 cm.

Figura 5- Desenho esquemático de uma subárea do presente estudo destacando a distribuição da amostragem de solo.



Fonte: Do autor

5.5 PREPARO DAS AMOSTRAS

As amostras dos atributos microbiológicos do solo foram destorroadas, homogeneizadas e peneiradas, retirando-se pedras e fragmentos vegetais visíveis. Em seguida estas amostras foram acondicionadas a cerca de 4 °C até a efetuação dos procedimentos laboratoriais. As amostras de solo referentes à determinação do C e N totais foram destorroadas, homogeneizadas, peneiradas em malha de 2 mm e secas ao ar para obtenção de terra fina seca ao ar (TFSA) e, em seguida, foram moídas com auxílio de pistilo de porcelana para posterior análise.

5.6 ATRIBUTOS QUÍMICOS DE FERTILIDADE DO SOLO

Os atributos químicos de fertilidade do solo mensurados foram pH em água, fósforo (P), potássio (K), sódio (Na), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e alumínio (Al) trocáveis, os quais foram determinados segundo “Manual de métodos de análise de solos” do Centro Nacional de Pesquisas de Solos (EMBRAPA, 1999).

O carbono orgânico total e nitrogênio total do solo foram determinados por meio de analisador elementar da marca LECO, modelo “CHNS TruSpec” e os resultados foram expressos em g/kg^{-1} .

5.7 BIOMASSA MICROBIANA DO SOLO (BMS)

O carbono da biomassa microbiana foi determinado pelo método da fumigação-extração (BROOKES et al., 1985; VANCE et al., 1987; TATE et al., 1988).

Os procedimentos de determinação do carbono da biomassa microbiana tiveram início logo após a chegada do campo. Entretanto, dado o elevado número de amostras, levou-se cerca de um mês para processar todas as amostras de cada campanha.

Buscando aumentar a confiabilidade dos dados obtidos, as amostras foram subdivididas originando duplicatas. Uma parte delas foi submetida ao processo de fumigação-extração (impregnação com clorofórmio (CHCl_3) isento de etanol, por 72 horas) e outra somente passou por extração, chamadas de amostras fumigadas e não-fumigadas, respectivamente.

Foram acrescentados 50 ml de K_2SO_4 a 0,5 M às amostras fumigadas e não fumigadas. Em seguida foi procedida agitação em movimento circular horizontal a 190 rpm por 1 hora e 30 minutos. Em seguida, as amostras foram postas para decantar por cerca de 60 minutos e filtradas por meio de papel filtro quantitativo de absorção lenta com 15 cm de diâmetro. Os extratos obtidos foram congelados, até efetuação dos procedimentos finais.

A quantificação do C contido nos extratos fumigados e não fumigados foi realizada colorimetricamente, conforme procedimentos descritos por Knupp e Ferreira (2009). Para tanto, foi construída uma curva-padrão, a partir de soluções com concentrações conhecidas de C, obtidas por diluições sucessivas de biftalato de potássio ($\text{C}_8\text{H}_5\text{KO}_4$) em solução extratora (K_2SO_4 0,5 M). A curva foi ajustada com os valores de absorbância em função dos correspondentes valores de concentração das soluções. O carbono da BMS foi calculado pela diferença entre a quantidade de carbono extraída dos extratos fumigados e não-fumigados. O

fator de correção (Kec) utilizado foi de 0,26. Este foi definido em função do conteúdo médio de argila e matéria orgânica dos solos amazônicos e é utilizado para representar a proporção de carbono da amostra oriundo de biomassa microbiana morta (FEIGL et al., 1995). Os dados foram expressos em mg C kg^{-1} solo seco.

5.8 RESPIRAÇÃO BASAL DO SOLO (RBS)

Considerando as recomendações de Silva et al. (2007) as amostras foram mantidas sobre refrigeração e processadas em no máximo 10 dias pós as coletas no campo. A respiração basal do solo foi determinada conforme método da incubação descrito por originalmente por Jenkinson e Powlson (1976).

No laboratório as amostras foram peneiradas em malha de 2 mm permitindo a retirada de restos animais e vegetais com posterior pesagem de duas porções de 25g para cada amostra (duplicata). Estas duplicatas tiveram a umidade corrigida para a capacidade de campo.

A incubação ocorreu em recipientes de vidro com capacidade aproximada de 2,5 L. Neles foram inseridos três frascos de plástico, um contendo 25 g de solo, um com 10 mL de água destilada e um com 25 mL de NaOH a 0,5 M. Estes permaneceram hermeticamente fechados, com auxílio de parafilme, por 10 dias, no escuro, a uma temperatura média de 25 °C.

Durante a incubação, o CO_2 decorrente da atividade microbiana se desprende do solo e ficou retido nos recipientes, até tornar-se difuso e ser absorvido pela solução de NaOH, formando Na_2CO_3 . Então, retiraram-se de cada frasco 5 mL da solução contendo NaOH, adicionando-se imediatamente duas gotas de uma solução alcoólica de fenolftaleína como indicador de mudança de pH e outra com BaCl_2 0,2 N para forçar a precipitação do CO_2 na solução de hidróxido de sódio. Em seguida, foi realizada titulação com solução de HCl a 0,5 M. Foram utilizados quatro recipientes controle (sem solo) para descontar o CO_2 que já estava no sistema, antes da incubação. As taxas de respiração basal foram expressas em $\text{mg C-CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ solo hora}^{-1}$.

5.9 ÍNDICES MICROBIANOS

O quociente metabólico ($q\text{CO}_2$), também chamado de taxa de respiração específica da biomassa microbiana, foi calculado pela razão entre a RBS e o C da BMS (ANDERSON ; DOMSCH, 1985, 1990, 1993). Os valores de $q\text{CO}_2$ foram expressos em $\text{mg C-CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ C-}$

BMS h^{-1} . Com os valores de C total, N total, e C_{BMS} foram obtidas as relações C microbiano/C total ($C_{BMS}:C_{TOTAL}$) e relação C/N (INSAM ; DOMSCH et al., 1988; SPARLING, 1992).

5.11 UMIDADE DO SOLO

Para determinação da umidade gravimétrica do solo foi retirada em laboratório, imediatamente após a chegada do campo, uma porção de aproximadamente 50 g de solo das amostras coletadas para análises de atributos microbiológicos. Estas amostras foram pesadas, obtendo-se o peso úmido, posteriormente elas foram levadas a estufa a 105°C para obtenção do peso seco. A umidade gravimétrica foi expressa em porcentagem e obtida conforme a fórmula: $Ug = ((\text{Peso úmido} - \text{Peso seco}) / \text{Peso seco}) \times 100$. (EMBRAPA, 1997)

5.12 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

A normalidade dos dados foi avaliada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov ($P > 0,05$). Quando os critérios de normalidade e/ou homocedasticidade foram não significativos, realizou-se transformação estatística simples dos dados, em especial transformação logarítmica (\log_{10}).

Os dados de atributos químicos e biológicos do solo foram submetidos à análise de variância (ANOVA, $P < 0,05$), a partir de um planejamento de experimento fatorial com dois fatores, sendo um relacionado a estação (seca e chuvosa) e um relacionado ao tipo de vegetação (sendo: plantio de palma de óleo com 5 anos, 8 anos e 11 anos e floresta secundária). Também foi procedida análise de correlação de Pearson ($P < 0,05$), ambas com auxílio do software Sigmaplot 11.0.

A análise de componentes principais dos dados analíticos foi executada para se obter uma representação visual das principais características de distribuição dos atributos químicos e biológicos dos solos das áreas de estudo, o que seria mais difícil de detectar observando apenas tabelas. Esta é uma técnica multivariada, na qual as variáveis (chamadas de componentes principais – PC's) são calculadas como combinações lineares das originais (BRAZ, 2011).

Os PCs foram extraídos de acordo com o critério de Kaiser para explicar até 85% da variância total (KAISER, 1958). A trama combinada de pontuação e de valores permitiu-nos reconhecer amostras ou grupos com resultados semelhantes e a correlação existente entre as

variáveis originais. O processamento foi realizado com auxílio do programa Statistica 7.0 Software.

6 RESULTADOS

Os valores de F e seus correspondentes índices descritivos (valor P) das fontes de variação estudadas estão apresentados na Tabela 2.

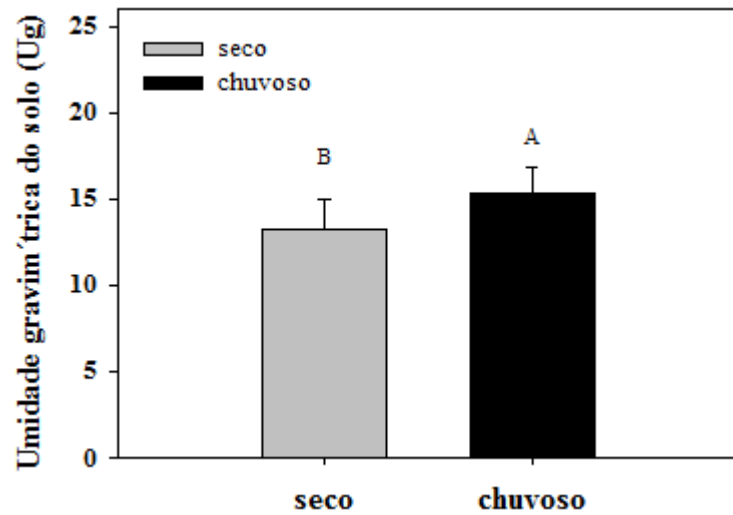
Tabela 2. Valores de teste F e índice descritivo (valor P) das fontes de variação analisadas durante o período seco de 2011 e chuvoso de 2012, no município de Castanhal - PA.

Variáveis	Tipo de vegetação		Estação		Interação	
	F	P	F	P	F	P
C_{TOTAL}	6,966	<0,001	97,995	<0,001	15,073	<0,001
N_{TOTAL}	20,020	<0,001	1,797	0,184	1,259	0,294
C/N	6,273	<0,001	52,488	<0,001	2,656	0,053
C-BMS	19,996	<0,001	80,518	<0,001	14,073	<0,001
RB	7,533	<0,001	61,032	<0,001	20,073	<0,001
qCO₂	14,817	<0,001	139,469	<0,001	1,263	0,292
C_{BMS}:C_{TOTAL}	4,591	0,005	1,269	0,263	24,195	<0,001
Umidade	2,605	0,057	40,361	<0,001	1,657	0,182
CTC_{EFETIVA}	73,328	<0,001	14,360	<0,001	4,930	0,003
m	61,337	<0,001	11,24	0,001	0,580	0,630
pH em água	16,868	<0,001	1,617	0,207	1,981	0,123
P	119,066	<0,001	3,48	0,065	2,636	0,055
K	64,241	<0,001	140,214	<0,001	48,137	<0,001
Na	22,151	<0,001	122,555	<0,001	13,972	<0,001
Ca	71,257	<0,001	3,258	0,073	1,323	0,272
Mg	10,767	<0,001	0,429	0,514	10,374	<0,001
Al	36,156	<0,001	11,77	<0,001	3,219	0,027

C_{TOTAL} – carbono orgânico total do solo; N_{TOTAL} – nitrogênio total do solo; C/N – relação carbono: nitrogênio do solo; C-BMS – carbono da biomassa microbiana do solo; C_{BMS}:C_{TOTAL} – relação carbono microbiano:carbono total do solo; RB – respiração basal do solo; qCO₂ – quociente metabólico do solo; Umidade – umidade gravimétrica do solo; CTC_{EFETIVA} – capacidade de troca de cátions efetiva do solo; m – saturação por alumínio do solo (%); pH em água – potencial hidrogeniônico do solo; P – fósforo do solo; K – potássio do solo; Na – sódio do solo; Ca – cálcio do solo; Mg – magnésio do solo; Al – alumínio do solo.

6.1 UMIDADE DO SOLO

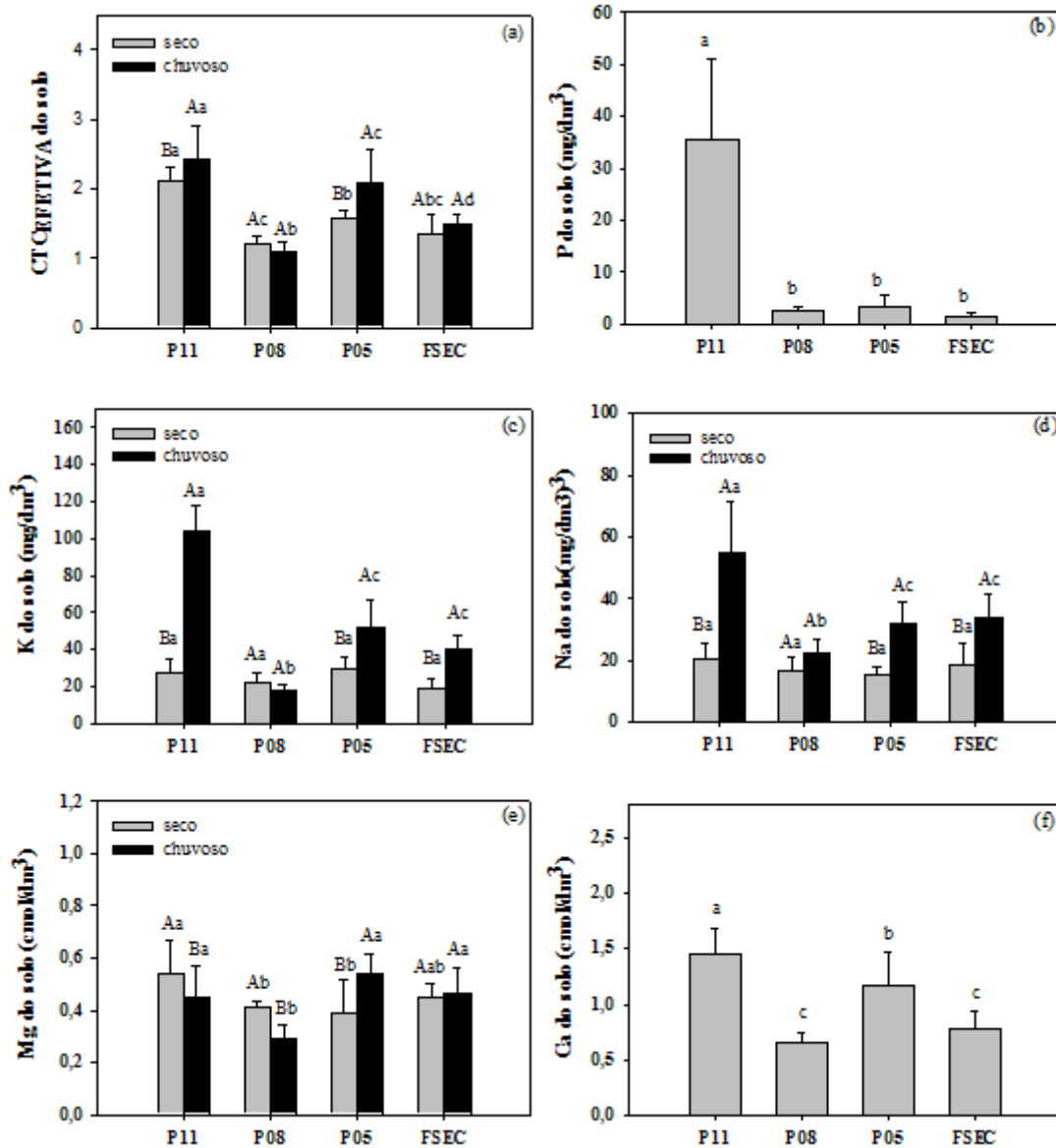
Figura 6 - Valores médios de umidade gravimétrica do solo coletados no período seco de 2011 e chuvoso de 2012 no município de Castanhal (PA). Letras diferentes indicam significância estatística pelo teste de Tukey a 5% (n = 12).



Para o atributo umidade do solo não houve efeito significativo capaz de evidenciar diferenças entre os diferentes tipos de vegetação. Observa-se que o período seco obteve média de umidade do solo inferior ao período chuvoso (figura 8).

6.2 ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO

Figura 7 - Valores médios de capacidade de troca efetiva de cátions do solo (a), fósforo do solo (b), potássio do solo (c), sódio do solo (d), Mg do solo (e) e Cálcio do solo nas áreas P05, P08, P11 e FSEC no município de Castanhal (PA). As médias comparadas por meio de letras maiúsculas comparam a estação. Letras minúsculas comparam tipo de vegetação. Médias com letras iguais não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($P < 0,05$) ($n = 12$).

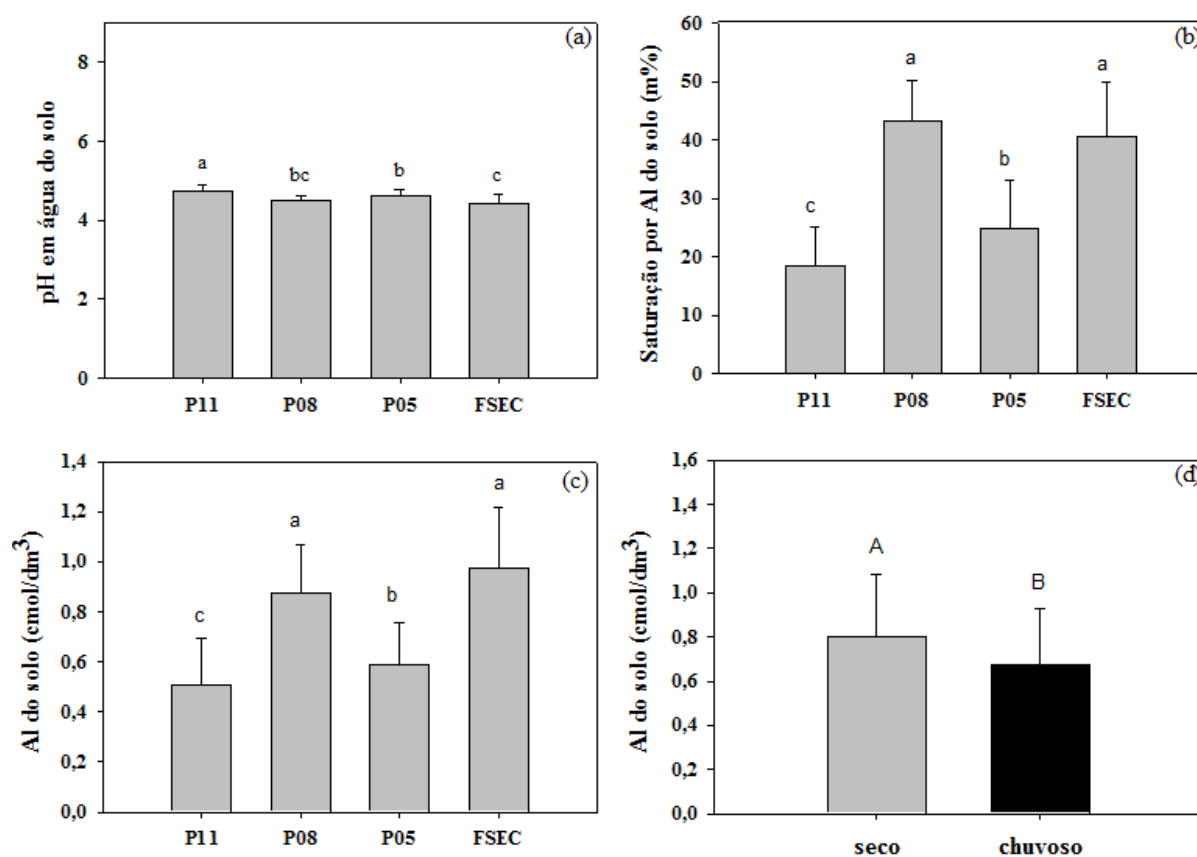


Observa-se que a $CTC_{EFETIVA}$ do solo (figura 7a) variou entre os períodos seco e chuvoso nas áreas P11 e P05, sendo que em ambas o período chuvoso apresentou as maiores médias (respectivamente 2,4 e 2,1).

O fósforo (figura 7b) foi o atributo que evidenciou a diferença mais marcante, este apresentou média $35,7 \text{ mg/dm}^3$ na área P11, diferindo das demais. Não foi observada diferenciação significativa entre os períodos seco e chuvoso.

Na avaliação dos atributos K, Na, Mg, Ca do solo, observou-se que o único índice que não variou sazonalmente foi o Ca, este foi maior em P11 ($1,4 \text{ cmol/dm}^3$). K e Na apresentaram variações semelhantes, pois as médias foram maiores no período mais chuvoso e na área P11.

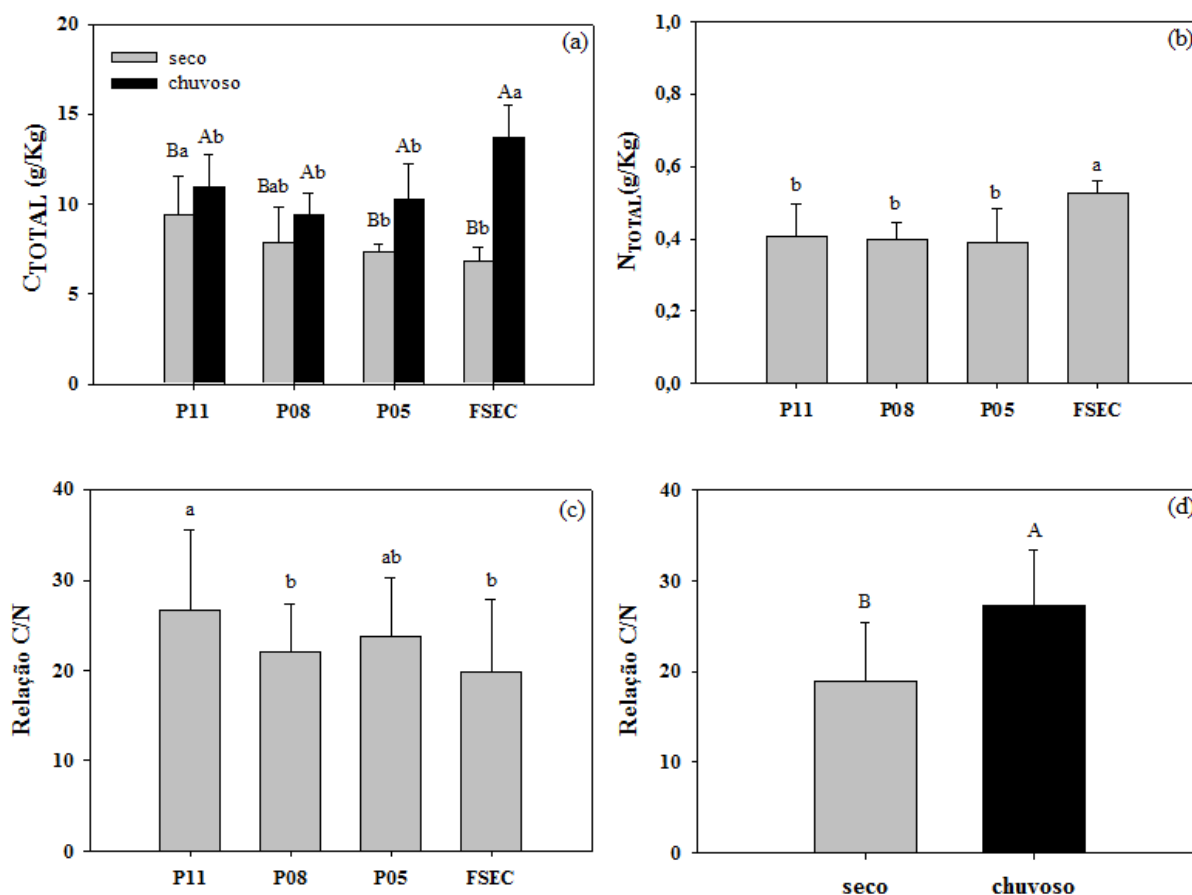
Figura 8 - Valores médios de pH em água do solo (a), saturação por alumínio do solo (b) e alumínio do solo (c e d) em áreas com cultivo de palma de óleo com 11 anos (P11), 08 anos (P08), 05 anos (P05) e área de floresta secundária no município de Castanhal (PA). As médias comparadas por meio de letras maiúsculas comparam a estação. Letras minúsculas comparam tipo de vegetação. Médias com letras iguais não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($P < 0,05$) ($n = 12$).



A análise do atributo pH em água do solo não identificou diferença sazonal significativa entre as áreas estudadas. O pH em água do solo (figura 8a) não obteve grandes variações, mas na área P11 esta variável tem média superior (4,7) às demais. A saturação por alumínio (figura 8b) do solo se revelou maior nas áreas P08 e FSEC (respectivamente 43,1 e 40,6) em comparação as áreas P11 e P05 (respectivamente 18,5 e 24,8). O Al do solo obtive variações semelhantes as ocorridas para saturação por alumínio. Observou-se que no período chuvoso há diminuição das médias do Al do solo.

6.3 CARBONO TOTAL, NITROGÊNIO TOTAL, RELAÇÃO C/N DO SOLO

Figura 9 - Valores médios de Carbono total do solo (a), Nitrogênio total do solo (b) e Relação C/N do solo (c e d) em áreas com cultivo de palma de óleo com 11 anos (P11), 08 anos (P08), 05 anos (P05) e área de floresta secundária no município de Castanhal (PA), no período seco de 2011 e chuvoso de 2012. As médias comparadas por meio de letras maiúsculas comparam a estação. Letras minúsculas comparam tipo de vegetação. Médias com letras iguais não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($P < 0,05$) ($n = 12$).

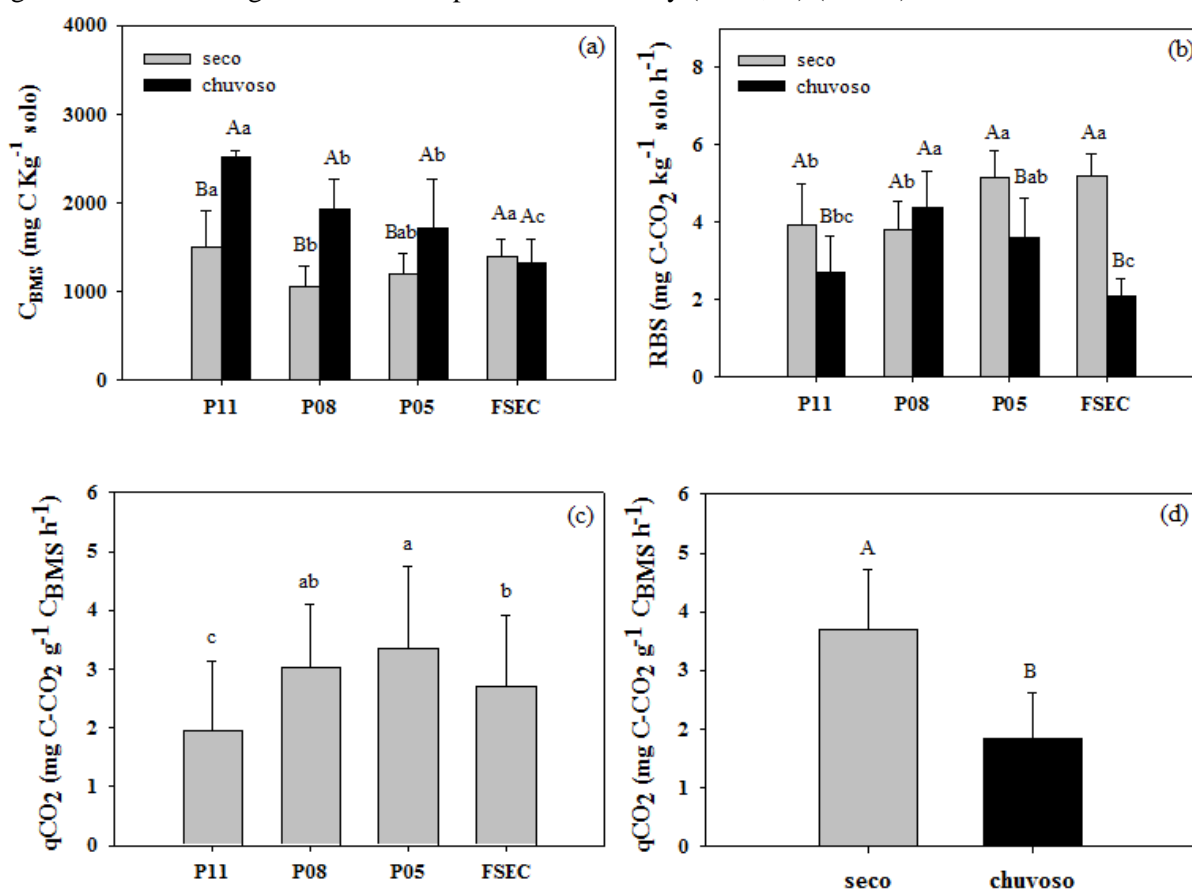


Para os atributos C_{TOTAL} e N_{TOTAL} observa-se que a área de FSEC apresenta as maiores médias (respectivamente $13,74 \text{ g kg}^{-1}$ e $0,53 \text{ g kg}^{-1}$). Houve efeito significativo da interação entre tipo de vegetação e estações somente para o C_{TOTAL} . Este último é maior no período chuvoso tanto nas áreas de plantio com diferentes idades quanto na FSEC.

Na relação C/N do solo, somente foram observadas diferenças significativas nas comparações isoladas entre os tipos de vegetação e os períodos. Sazonalmente o período chuvoso apresenta médias superiores (27,3). Entre os tipos de vegetação observa-se que a área P11 (26,7) foi significativamente superior a P08 (22) e FSEC (19,8).

6.4 CARBONO DA BIOMASSA MICROBIANA, RESPIRAÇÃO BASAL E QUOCIENTE METABÓLICO

Figura 10 - Valores médios de Carbono da biomassa microbiana do solo (a), Respiração basal do solo (b) e quociente metabólico da biomassa microbiana (c e d) em áreas com cultivo de palma de óleo com 11 anos (P11), 08 anos (P08), 05 anos (P05) e área de floresta secundária no município de Castanhal (PA), no período seco de 2011 e chuvoso de 2012. As médias comparadas por meio de letras maiúsculas comparam a estação. Letras minúsculas comparam tipo de vegetação. Médias com letras iguais não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($P < 0,05$) ($n = 12$).



A análise de variância das médias demonstrou que para os atributos C_{BMS} e RBS houve ocorrência de interação entre a idade do plantio de palma de óleo e os períodos.

As médias de C_{BMS} foram superiores no período chuvoso nas áreas P11, P08 e P05, com destaque para área P11 (2513 mg C kg⁻¹ solo). Na área FSEC este atributo não diferiu estatisticamente entre os períodos. No período seco somente a área P08 diferiu estatisticamente das demais e apresentou a menor média (1047 mg C kg⁻¹ solo).

A RBS apresentou médias superiores no período seco nas áreas P05 (5,2 mg C-CO₂ kg⁻¹ solo h⁻¹) e FSEC (5,2 mg C-CO₂ kg⁻¹ solo h⁻¹). Não foi constatada diferença significativa entre os períodos na área P08.

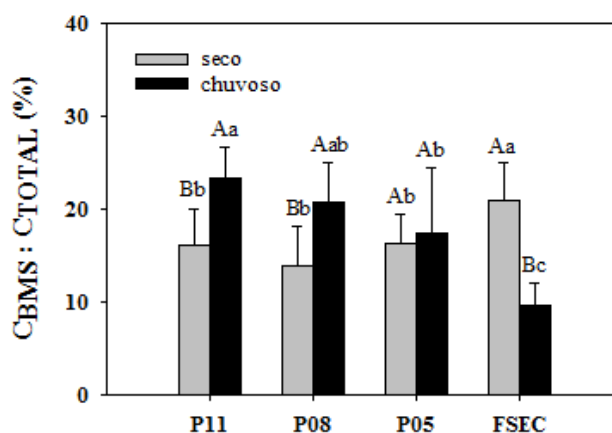
O atributo qCO_2 apresentou diferença estatística significativa durante comparação isolada do efeito tipo de vegetação e do efeito período. Em relação ao tipo de vegetação houve

destaque para área P11, que obteve a menor média ($1,9 \text{ mg C-CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ C}_{\text{BMS}} \text{ h}^{-1}$). Já para o efeito do período, observa-se que o aumento da precipitação induziu diminuição das médias de $q\text{CO}_2$ ($1,8 \text{ mg C-CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ C}_{\text{BMS}} \text{ h}^{-1}$).

6.5 RELAÇÃO $\text{C}_{\text{BMS}} : \text{C}_{\text{TOTAL}}$

A análise estatística constatou efeito de interação entre os tipos de vegetação e a sazonalidade pluviométrica para o atributo $\text{C}_{\text{BMS}}:\text{C}_{\text{TOTAL}}$. Na estação chuvosa a área P11 apresentou o maior percentual de carbono total contido na biomassa microbiana do solo (23,4%). De maneira contrária a FSEC demonstrou o menor percentual (9,8%) deste atributo no mesmo período, mas durante a estação seca este percentual se elevou para 20,9%.

Figura 11 - Percentual médio da quantidade de carbono contido na biomassa microbiana do solo em relação a quantidade total de Carbono do solo em áreas com cultivo de palma de óleo com 11 anos (P11), 08 anos (P08) e 05 anos (P05) e área de floresta secundária no município de Castanhal (PA), no período seco de 2011 e chuvoso de 2012. As médias comparadas por meio de letras maiúsculas comparam a estação. Letras minúsculas comparam tipo de vegetação. Médias com letras iguais não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($P < 0,05$) ($n = 12$).



6.6 COMPONENTES PRINCIPAIS

Os resultados obtidos nas análises das componentes principais estão expressos na tabela 3 e figuras 15 e 16.

Tabela 3 - Base de correlação das variáveis ativas e suplementares das componentes principais para os períodos seco e chuvoso nas áreas do estudo.

Período	Tipo de variável	Fator 1			Fator 2			Variância acumulada (%) F1+F2
		Variável associada	Correlação	Variância (%)	Variável associada	Correlação	Variância (%)	
seco	Ativo	C _{BMS}	0,95	51,67	RBS	0,96	41,31	92,99
		C _{BMS} :C _{TOTAL}	0,82	-	qCO ₂	0,74	-	-
	Suplementar	K	0,44	-	C _{TOTAL}	0,60	-	-
		N _{TOTAL}	0,28	-	Mg	0,53	-	-
chuvoso	Ativo	C _{BMS}	0,92	55,21	RBS	0,96	41,41	96,63
		C _{BMS} :C _{TOTAL}	0,83	-	qCO ₂	0,62	-	-
	Suplementar	P	0,58	-	C _{TOTAL}	0,60	-	-
		Al	0,57	-	N _{TOTAL}	0,49	-	-

Figura 12 - Componentes principais para as áreas de plantio no período seco. C_{TOTAL} – carbono orgânico total do solo; N_{TOTAL} – nitrogênio total do solo; C/N – relação carbono: nitrogênio do solo; $C-BMS$ – carbono da biomassa microbiana do solo; $C_{BMS}:C_{TOTAL}$ – relação carbono microbiano:carbono total do solo; RB – respiração basal do solo; qCO_2 – quociente metabólico do solo; Umidade – umidade gravimétrica do solo; $CTC_{EFETIVA}$ – capacidade de troca de cátions efetiva do solo; m – saturação por alumínio do solo; pH em água – potencial hidrogeniônico do solo; P – fósforo do solo; K – potássio do solo; Na – sódio do solo; Ca – cálcio do solo; Mg – magnésio do solo; Al – alumínio do solo.

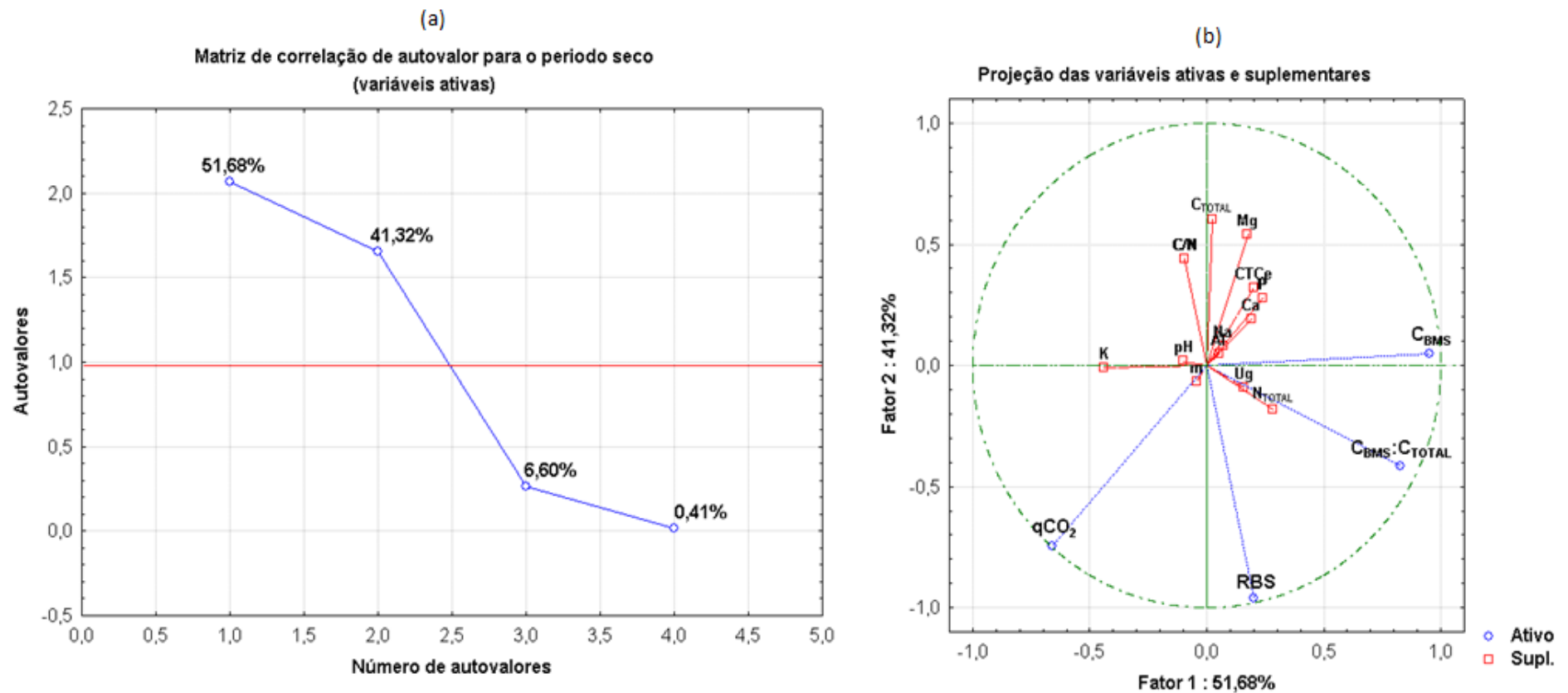
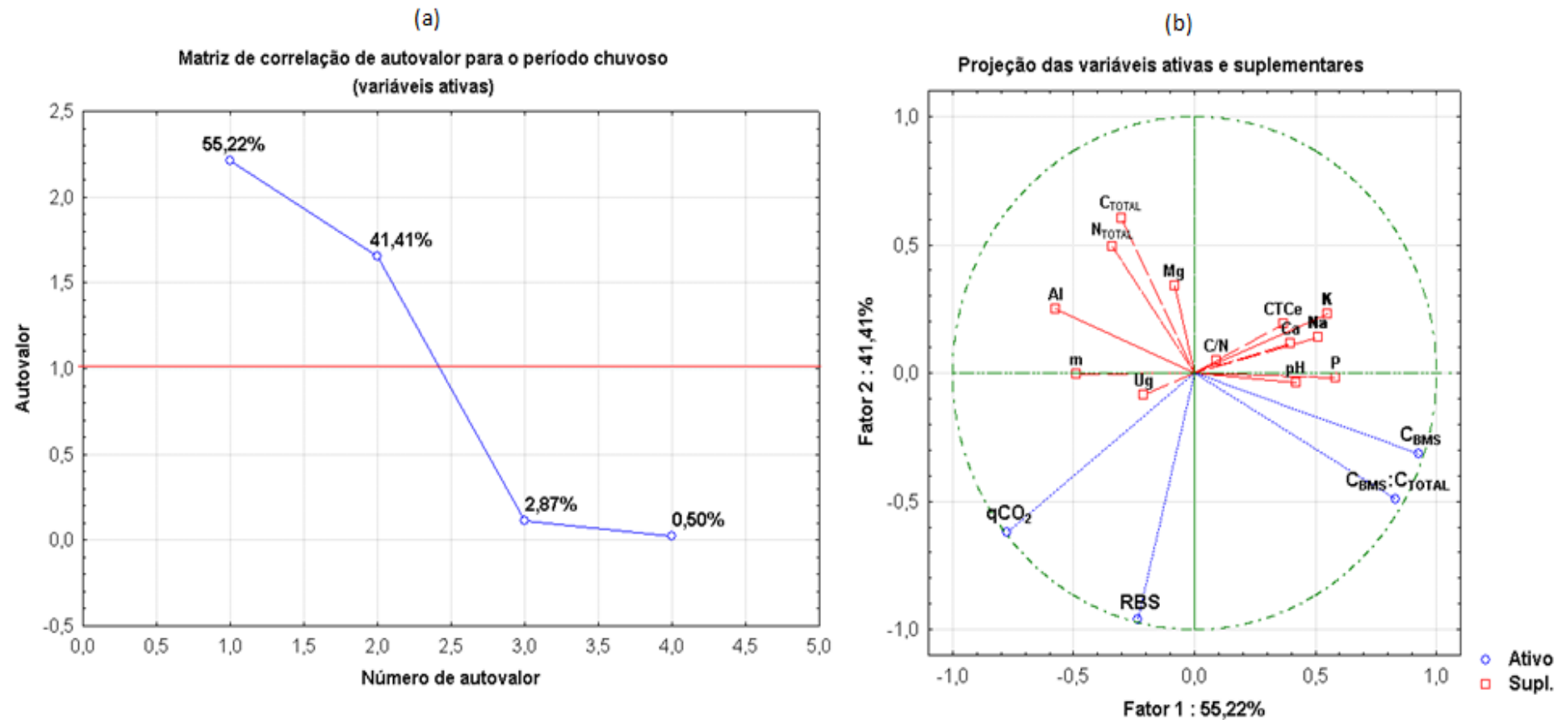


Figura 13 - Componentes principais para área de plantio no período chuvoso. C_{TOTAL} – carbono orgânico total do solo; N_{TOTAL} – nitrogênio total do solo; C/N – relação carbono: nitrogênio do solo; C-BMS – carbono da biomassa microbiana do solo; $C_{BMS}:C_{TOTAL}$ – relação carbono microbiano:carbono total do solo; RB – respiração basal do solo; qCO_2 – quociente metabólico do solo; Umidade – umidade gravimétrica do solo; $CTC_{EFETIVA}$ – capacidade de troca de cátions efetiva do solo; m – saturação por alumínio do solo (%); pH em água – potencial hidrogeniônico do solo; P – fósforo do solo; K – potássio do solo; Na – sódio do solo; Ca – cálcio do solo; Mg – magnésio do solo; Al – alumínio do solo.



6.7 CORRELAÇÃO

A correlação entre as variáveis analisadas estão apresentadas nas tabelas 3 e 4.

Tabela 4 - Quociente de correlação de Pearson entre as variáveis analisadas no presente estudo para o período seco de 2011.

Variáveis	C _{BMS}	RBS	qCO ₂	C _{TOTAL}	N _{TOTAL}	C/N	C _{BMS} : C _{TOTAL}	pH	P	K	Na	Ca	Mg	Al	CTC EFETIVA	m
Umidade	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
C _{BMS}	1	ns	-0,66	ns	ns	ns	0,654	ns	0,347	-0,355	ns	0,349	ns	ns	0,355	ns
RBS		1	0,575	-0,442	ns	-0,322	0,499	ns	ns	ns	ns	ns	-0,449	ns	ns	ns
qCO ₂			1	-0,46	ns	ns	ns	ns	-0,34	0,308	ns	ns	-0,534	ns	-0,355	ns
C _{TOTAL}				1	-0,394	0,854	-0,513	ns	0,386	ns	ns	0,437	0,442	ns	0,511	-0,285
N _{TOTAL}					1	-0,789	0,482	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
C/N						1	-0,54	ns	0,299	ns	ns	0,467	ns	ns	0,446	-0,29
C _{BMS} :C _{TOTAL}							1	ns	ns	-0,433	ns	ns	ns	ns	ns	ns
pH								1	0,295	0,462	ns	0,6	ns	-0,888	0,556	-0,798
P									1	0,294	ns	0,768	ns	-0,389	0,764	-0,553
K										1	0,38	0,473	ns	-0,652	0,446	-0,645
Na											1	ns	ns	ns	ns	ns
Ca												1	ns	-0,724	0,965	-0,887
Mg													1	ns	0,435	ns
Al														1	-0,684	0,951
CTC _{EFETIVA}															1	-0,866

ns – não significativo; C_{TOTAL} – carbono orgânico total do solo; N_{TOTAL} – nitrogênio total do solo; C/N – relação carbono: nitrogênio do solo; C-BMS – carbono da biomassa microbiana do solo; C_{BMS}:C_{TOTAL} – relação carbono microbiano:carbono total do solo; RB – respiração basal do solo; qCO₂ – quociente metabólico do solo; Umidade – umidade gravimétrica do solo; CTC_{EFETIVA} – capacidade de troca de cátions efetiva do solo; m – saturação por alumínio do solo (%); pH em água – potencial hidrogeniônico do solo; P – fósforo do solo; K – potássio do solo; Na – sódio do solo; Ca – cálcio do solo; Mg – magnésio do solo; Al – alumínio do solo.

Tabela 5 - Quociente de correlação de Pearson entre as variáveis analisadas no presente estudo para o período chuvoso de 2012.

Variáveis	C _{BMS}	RBS	qCO ₂	C _{TOTAL}	N _{TOTAL}	C/N	C _{BMS} : C _{TOTAL}	pH	P	K	Na	Ca	Mg	Al	CTC EFETIVA	m
Umidade	ns	ns	ns	ns	0,449	-0,561	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
C _{BMS}	1	ns	-0,528	-0,343	-0,43	ns	0,884	0,451	0,641	0,535	0,507	0,406	ns	-0,639	0,362	-0,505
RBS		1	0,762	-0,434	-0,345	ns	ns	ns	ns	-0,346	ns	ns	-0,301	ns	ns	ns
qCO ₂			1	ns	ns	ns	-0,319	-0,292	-0,438	-0,552	-0,471	-0,359	ns	ns	-0,383	0,354
C _{TOTAL}				1	0,58	ns	-0,714	ns	ns	ns	ns	ns	0,417	0,349	ns	ns
N _{TOTAL}					1	-0,649	-0,597	ns	ns	ns	ns	ns	0,347	ns	ns	ns
C/N						1	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
C _{BMS} :C _{TOTAL}							1	0,324	0,399	ns	ns	ns	-0,294	-0,583	ns	-0,363
pH								1	0,659	0,548	0,487	0,787	ns	-0,834	0,701	-0,781
P									1	0,752	0,823	0,622	ns	-0,605	0,633	-0,64
K										1	0,772	0,813	0,598	-0,654	0,869	-0,843
Na											1	0,653	0,408	-0,42	0,722	-0,62
Ca												1	0,672	-0,786	0,979	-0,93
Mg													1	-0,304	0,776	-0,61
Al														1	-0,713	0,91
CTC _{EFETIVA}															1	-0,917

ns – não significativo; C_{TOTAL} – carbono orgânico total do solo; N_{TOTAL} – nitrogênio total do solo; C/N – relação carbono: nitrogênio do solo; C-BMS – carbono da biomassa microbiana do solo; C_{BMS}:C_{TOTAL} – relação carbono microbiano:carbono total do solo; RB – respiração basal do solo; qCO₂ – quociente metabólico do solo; Umidade – umidade gravimétrica do solo; CTC_{EFETIVA} – capacidade de troca de cátions efetiva do solo; m – saturação por alumínio do solo (%); pH em água – potencial hidrogeniônico do solo; P – fósforo do solo; K – potássio do solo; Na – sódio do solo; Ca – cálcio do solo; Mg – magnésio do solo; Al – alumínio do solo.

7 DISCUSSÃO

A variação sazonal da precipitação induziu mudanças em 12 dos 17 atributos avaliados. Estes resultados corroboram com resultados encontrados por Espindola et al. (2001), em seu estudo também foram observadas flutuações sazonais de atributos químicos de fertilidade do solo que estiveram relacionados a população microbiana do solo.

Quanto à umidade do solo, a pesar de ter havido diferenças estatisticamente significativas entre os períodos, observou-se que na estação chuvosa este atributo foi apenas cerca de 2% mais elevado do que no período seco, mesmo havendo grandes diferenças na precipitação pluviométrica. Pode ser que esta pequena variação na umidade do solo entre os períodos esteja relacionada ao acúmulo de argila a partir dos 20 cm de profundidade (tabela 1).

Em horizontes mais argilosos a estrutura porosa proporciona maior armazenamento de água, podendo favorecer o transporte desta por capilaridade ao longo do perfil (KAISER, 2010). Também em horizontes mais argilosos a infiltração da água no solo é mais lenta (BRONICK ; LAL, 2005), funcionando como uma barreira de infiltração mais lenta, ocasionando uma maior permanência da umidade no horizonte superior.

A capacidade dos solos de conservar a umidade é um importante fator para manutenção vital das culturas. Harun & Harun (2007) constataram interações entre a umidade do solo e variações físicas e químicas no solo que alteram o desenvolvimento radicular das palmeiras, podendo alterar o potencial de armazenagem de água no solo.

De maneira geral, a umidade do solo não obteve correlações fortes com a maioria dos atributos mensurados (ver tabelas 4 e 5), entretanto se relacionou significativa e positivamente com as concentrações de nitrogênio do solo e negativamente com a relação C/N do solo no período chuvoso (tabela 5), sugerindo que o aumento da umidade tende a elevar a concentração de N e reduzir a relação C/N do solo, indicando uma mudança na qualidade nutricional do substrato orgânico do solo neste período. A umidade do solo não apresentou qualquer correlação com os atributos estudados no período seco (tabela 4).

No período chuvoso observou-se elevação da disponibilidade de nutrientes no solo, ocorreram elevações significativas da CTC efetiva do solo (figura 7a) e também dos níveis de K e Na do solo (respectivamente, Figuras 7c e 7d), variações sazonais da fertilidade do solo também foram encontradas por Espindola et al. (2001). Em solos com argilas pouco reativas tanto o K quanto o Na do solo são mais facilmente lixiviados na estação chuvosa (Werle, 2008 ; TRUEH; THOMPSON, 2007), entretanto, estes se mantiveram mais elevados no solo

nesta estação provavelmente em função da deposição de resíduos da cultura da palma de óleo, que normalmente retornam aos plantios e são ricos principalmente em K e N, contendo ainda consideráveis quantidades de outros nutrientes (FURLAN JÚNIOR, 2006).

Os resultados obtidos para as concentrações de C e N totais do solo estão coerentes com resultados encontrados por outros autores em cultivos na região Amazônica (DESJARDINS et al., 2004; SILVA et al., 2007; CENCIANI et al., 2009; LOPES et al., 2011; PEREIRA JÚNIOR, 2011; SANTIAGO, 2012). O carbono total do solo demonstrou-se mais sensível que o nitrogênio do solo em relação à variação sazonal da precipitação. No presente estudo durante o período chuvoso as médias de C total do solo foram maiores em todos os tratamentos. Este resultado é contrário aos encontrados por Bitencourt *et al.* (2006), Rodrigues (2006) e Santiago (2012), pois nestes estudos constatou-se elevação de C no solo no período seco associados a maior produção de serapilheira que normalmente ocorre nesta estação (VALENTINI et al. 2008; SANCHES et al. 2009; SILVA et al. 2011). Elevações no C orgânico do solo durante a estação mais chuvosa também foram encontrados por Aragão (2012) e Cenciani (2009).

Gama-Rodrigues e Gama-Rodrigues (2008) afirmam que o C total do solo é menos capaz, em relação ao C microbiano, de aferir variações na matéria orgânica do solo causadas pelo manejo do solo e por cultivos. Neste trabalho constatou-se que o C total do solo, no período chuvoso, não diferiu estatisticamente entre as áreas de plantio de 5, 8 e 11 anos, sugerindo que o C do solo atingiu já aos cinco anos um estado de equilíbrio somente relatado por Smith (2012) a partir dos 11 anos de idade do plantio de palma de óleo.

Dentre as áreas estudadas a FSEC apresentou concentrações de C e N mais elevados (figura 9a e 9b), nas áreas de plantio as concentrações de C e N se mantiveram relativamente estáveis. Essas evidências confirmam que as áreas de plantio de palma de óleo são relativamente eficientes quanto ao armazenamento de C e N no solo em comparação a FSEC. Moreira e Malavolta (2004) corroboram com este resultado ao constatar que a sucessão de florestas por cultivos nem sempre resulta em diminuição nos conteúdos de C e N no solo.

As concentrações mais elevadas de C e N no solo da FSEC podem estar relacionados a um sistema mais equilibrado quanto às entradas e saídas de componentes orgânicos, sendo favorecido também por uma microbiota mais diversa e por vezes mais eficiente associada à maior diversidade vegetal comum em sistemas naturais (CARNEY ; MATSON, 2005).

Geralmente, o amadurecimento dos plantios representa elevação do conteúdo de biomassa formado por material de difícil decomposição (GAMA-RODRIGUES ; GAMA-RODRIGUES, 2008). Isto provoca elevação da relação C/N. Neste estudo este fato não

causou destaque para FSEC, pois esta foi estatisticamente igual às áreas de plantio P04 e P07. A maior relação C/N ocorreu na área P01 (figura 9c,d).

A planta da palma de óleo é rústica e produz resíduos vegetais ricos em fibras e material orgânico por vezes de difícil decomposição, como é o caso dos restos de cacho ou engaço que possui relação C/N em torno de 50 (FURLAN JÚNIOR, 2006). Nas áreas de estudo a deposição de folhas, restos de cachos e sub-produtos da indústria de palma de óleo podem ter contribuído para elevadas relações C/N encontradas. Em seu estudo Santiago (2012) encontrou relações C/N menores, entretanto nele as áreas de plantio de palma de óleo foram enriquecidas com espécies adubadeiras que melhoram a qualidade do substrato orgânico depositado no solo.

As variações na relação C/N do solo foram determinadas principalmente em função das flutuações ocorridas no C do solo, visto que o N do solo se manteve relativamente estável entre os períodos seco e chuvoso (figura 11). A relação C/N também não foi determinante quanto a diferenciação do fator idade do plantio de palma de óleo. Já para o fator sazonalidade, observa-se elevação da relação C/N na época mais chuvosa, sugerindo que há uma melhora na qualidade nutricional da matéria orgânica depositada no solo durante a estação menos chuvosa.

Os resultados obtidos para o C_{BMS} variaram de 607,24 á 2717,21 mg de C Kg^{-1} de solo com média de 1577,33 mg de C Kg^{-1} de solo. Estes estão próximos, mas superam os resultados encontrados em ambientes amazônicos por Luizão et al (1992), Luizão et al. (1999), Moreira e Malavolta (2004), Lopes et al. (2011), sendo este o atributo o mais sensível tanto para o fator sazonalidade pluviométrica quanto para a idade do plantio.

Sazonalmente observou-se que o período chuvoso provocou elevação do C_{BMS} em todas as áreas de plantio. Sampaio (2008) e Aragão (2012) também constataram elevações no conteúdo de C na biomassa durante a estação chuvosa. Isto pode estar associado a elevação na disponibilidade de nutrientes com o aumento da precipitação (figuras 7a, 7c, 7d), bem como por uma diminuição da saturação por alumínio (figura 8d). Os resultados deste estudo corroboram com os encontrados por outros autores onde observa-se aumento do C_{BMS} em função da elevação do C_{TOTAL} (HARON et al., 1998, SMITHES et al., 2012). Isto está evidente principalmente no período chuvoso nas áreas de plantio P11, P08 e P05, mas não acontece na FSEC. No estudo de Sampaio (2008) durante o período seco o C_{BMS} foi mais elevado na FSEC, mas neste estudo o C_{BMS} obteve valores equivalentes em todas as áreas.

A estreita relação entre a qualidade nutricional do ambiente e a atividade microbiana foi constatada por correlações significativas entre o C_{BMS} e a fertilidade do solo

principalmente durante a estação chuvosa (tabela 5). Variações na população microbiana em função do aporte de nutrientes do solo também foram constatadas em solos da América do Central (SJÖGERSTEN et al., 2011). Segundo Smith op. cit. o estado nutricional do solo pode ser de relevância igual ou superior a disponibilidade do substrato orgânico para a atividade microbiana.

O C_{BMS} aumenta com a idade do plantio de palma de óleo. É importante destacar os resultados obtidos na área P11. Nela o C_{BMS} foi o mais elevado principalmente no período chuvoso, superando bastante a área de FSEC (figura 10a), isso aliado aos baixos valores de RBS faz com que a área P11 seja considerada uma das mais próximas de um estado de equilíbrio entre as áreas estudadas, já que nela foram encontrados também os menores valores de qCO_2 (figura 10c). Desta forma podemos classificar a biomassa microbiana desta área como a mais eficiente ou a menos estressada segundo Gama-Rodrigues & Gama-Rodrigues (2008), pois baixos valores de qCO_2 expressam que esta biomassa microbiana incorpora mais C e perde menos CO_2 para atmosfera durante seu metabolismo que a biomassa microbiana das demais áreas onde o qCO_2 é maior.

Apesar de Almeida (1991) ter relatado relações entre a elevação de C_{BMS} em função do N_{TOTAL} , não encontramos qualquer correlação entre estas variáveis no período seco (tabela 4). É interessante notar que no período chuvoso encontramos resultados contrários, pois a correlação significativa e negativa (tabela 5) entre esses atributos se confirma na constatação de que os maiores valores de N_{TOTAL} na FSEC (figura 9b) culminam em reduzido C_{BMS} nesta área (figura 10a).

Globalmente o percentual de C total imobilizado na biomassa microbiana, representado pela relação $C_{BMS}:C_{TOTAL}$, superou os resultados encontrados por Santiago (2012) durante o estudo de sistemas conservacionistas na Amazônia. Isto sugere que mesmo em cultivos convencionais de Palma de óleo o manejo pode proporcionar condições para que a biomassa seja mais eficiente que na FSEC. Isto foi comprovado na avaliação conjunta das áreas de plantio, pois os indicadores de qualidade do solo C_{TOTAL} , C_{BMS} , RBS, qCO_2 e relação $C_{BMS}:C_{TOTAL}$ não estiveram distantes dos resultados do sistema natural FSEC.

Os valores de $C_{BMS}:C_{TOTAL}$ das áreas de estudo também superam bastante os encontrados por Cenciani et al (2009) durante estudo comparativo entre floresta primária, pastagem e áreas em pousio no sudoeste da Amazônia, evidenciando o importante papel de reserva de C e de ciclagem de nutrientes que a biomassa das áreas deste estudo está exercendo.

A análise multivariada das componentes principais nos permitiu uma avaliação sazonal capaz de definir quais das quatro variáveis ativas (C_{BMS} , RBS, qCO_2 e $C_{BMS}:C_{TOTAL}$) contribuíram mais para explicar as variações do fator 1 e 2. Também foi possível determinar quais as variáveis suplementares (C_{TOTAL} , N_{TOTAL} , C/N, Ug, pH, P, K, Na, Ca, Mg, Al, CTCe, m%) tiveram maior correlação com as variáveis ativas.

De maneira geral a representação gráfica da análise das componentes principais permitiu visualizar mais claramente o fortalecimento das correlações existentes dos atributos químicos de fertilidade com os relacionados a biomassa microbiana durante o período chuvoso (comparar figuras 15 e 16), influenciado principalmente pela maior disponibilidade de nutrientes neste período.

Os resultados das correlações obtidos pela análise das componentes principais constataam que o C_{BMS} foi o atributo que mais contribuiu para variações evidenciadas pelo fator 1, respondendo por 51,67% da variação do período seco. Já para o fator 2, que foi capaz de explicar 41,31% da variação do período seco a RBS apresentou a maior destaque. Juntos fator 1 e 2 explicam 92,99% da variação do período seco. As variáveis suplementares que mais se relacionaram com as ativas neste período foram K, Mg, C_{TOTAL} e N_{TOTAL} (tabela 3), como constatado em outros estudos (CENCIANI et al., 2009). Loss et al. (2009) avaliando a influência de sistemas de manejo agroecológico sobre os atributos e químicos de um Argissolo Vermelho-Amarelo, encontraram menor variância acumulada de 72,97% e valores para os eixos F1 e F2, sendo respectivamente 49,54% e 23,43%.

No período chuvoso os fatores 1 e 2 foram capazes de explicar 96,63% da variação, superando os percentuais encontrados para o período seco. O fator 1 explicou 55,21% novamente destacando o C_{BMS} que se relacionou principalmente com P e Al, corroborando os resultados da correlação de Pearson. Esta relação do C_{BMS} com alumínio também foi constatada como componente importante no estudo de Cenciani et al (2009), segundo os quais o Al está associado a solos com baixo pH resultando em menor diversidade e riqueza de microorganismos. Neste sentido Ferreira (2008) afirmou que a microbiota mesmo tendo oferta de material orgânico pode ser inibida pela redução do pH. Durante seu estudo este autor também encontrou P, K e Mg como importantes componentes para explicar as variações em tratamentos sob diferentes usos e manejos.

8 CONCLUSÕES

- 1- A variação sazonal da precipitação induziu mudanças na fertilidade do solo e, por sua vez, está esteve relacionada a flutuações na biomassa microbiana do solo.
- 2- Durante o período chuvoso o C_{BMS} e o índice $C_{BMS}:C_{TOTAL}$ foram os mais eficazes quanto a identificação de claras tendências de crescimento destes índices durante o envelhecimento do plantio de palma de óleo;
- 3- As áreas de plantio com palma de óleo são tão eficientes quanto a FSEC em acumular C na biomassa microbiana do solo;
- 4- A área P11 pode ser considerada a área mais próxima de um estado de equilíbrio segundo o índice qCO_2 .
- 5- Segundo a análise das componentes principais o C_{BMS} e RBS são os atributos que mais contribuem para explicar as variações nas áreas estudadas.
- 6- P, K, Mg, Al, C_{TOTAL} e N_{TOTAL} , são os atributos químicos de fertilidade do solo que mais estão correlacionadas as variações ocorridas nos índices relacionados a biomassa microbiana.

9 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No geral as variáveis estudadas foram mais sensíveis a variação sazonal da precipitação do que ao fator idade do plantio. Observou-se que o período chuvoso fortaleceu correlações entre os atributos químicos de fertilidade do solo e a atividade da biomassa microbiana do solo.

A hipótese 1 foi aceita, pois resultados comprovam que os atributos químicos de fertilidade do solo variaram entre os períodos e estiveram relacionados a atividade da biomassa microbiana do solo.

A hipótese 2 foi rejeitada, pois resultados contrários foram observados ao constatar-se que durante o período chuvoso o percentual de C imobilizado na biomassa microbiana tendeu a crescer com o envelhecimento do plantio de palma de óleo.

A hipótese 3 foi aceita, haja vista que no período chuvoso foram observadas médias mais elevadas de C_{BMS} nos cultivos em relação a FSEC.

Os resultados das duas últimas suposições implicam em uma avaliação positiva da sustentabilidade dos plantios em relação ao ecossistema natural do estudo, pois constatamos que mesmo o monocultivo de palma de óleo, se bem manejado, pode propiciar condições para que a biomassa microbiana seja capaz de funcionar como propulsora de uma rápida e eficiente ciclagem e armazenagem de nutrientes.

A identificação de indicadores de qualidade do solo como o qCO_2 denunciando áreas cultivadas com níveis de estresse menores que a FSEC nos permite afirmar que plantios comerciais de palma de óleo também podem ser considerados conservacionistas. A estabilidade das concentrações de C e N das áreas de cultivo reforça esta ideia.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, M. F.; SOUZA, E.B.; OLIVEIRA, M.C.F.; SOUZA, P.F.S.; SOUZA JÚNIOR, J.A. BARROS, A.N.F. Distribuição espacial da precipitação climatológica nas mesorregiões do estado do Pará, nas últimas décadas (1978 - 2008). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 16., 2010, Belém. **Anais eletrônicos** Belém:SBMET, 2010. Disponível em <http://www.cbmet2010.com/anais/artigos/143_61348.pdf>. Acesso em 20 de novembro de 2012.
- ALMEIDA, D.L. de. **Contribuição da matéria orgânica na fertilidade do solo**. Tese de Doutorado. Itaguaí : Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 1991. 188p.
- AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. 4ª ed. Tradução Maria Juraci Zani dos Santos. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996. 332 p.
- ANDERSON, J. P. E.; DOMSCH, K. H. Determination of eco-physiological maintenance carbon requirements of soil microorganisms in a dormant state. **Biology and fertility of soil**, v. 1, p. 81- 89. 1985.
- ANDERSON, J. P. E.; DOMSCH, K. H. The metabolic quotient for CO₂ (qCO₂) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. **Soil biology and biochemistry**, v. 25, p. 393-395. 1993.
- ANDERSON, T. H.; DOMSCH, K. H. Application of eco-physiological quotients (qCO₂ and qD) on microbial biomasses from soils of different cropping histories. **Soil biology and biochemistry**, v. 22, p. 251-255. 1990.
- ARAGÃO, D. V.; CARVALHO, C. J. R.; KATO, O. R.; ARAÚJO, C. M.; SANTOS, M. T. P.; MOURÃO JÚNIOR, M. Avaliação de indicadores de qualidade do solo sob alternativas de recuperação do solo no Nordeste Paraense. **Acta amazônica**. v. 42 . p 11-18. 2012.
- ARAGÃO, D. V.; CARVALHO, C. J. R. ; KATO, O. R.; MOURÃO JUNIOR, M. Comportamento de indicadores químicos do solo sob alternativas de recuperação da fertilidade do solo no Nordeste Paraense. In.: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS, 8., 2011, Belém, PA. **Anais.....** Belém, PA. SBSAF: Embrapa Amazônia Oriental; UFRA; EMATER; CEPLAC; EMATER; ICRAF. 2011.
- BAKAR, R.A.; DARUS, S.Z.; KULASEHARAN, S.; JAMALUDDIN, N. Effects of ten year application of empty fruit bunches in an soil palm plantation on soil chemical properties. **Nutrient cycling in agroecosystems**, v.89, n.2, p. 341-349. 2011.
- BARCELOS, E.; DOS SANTOS, J.; RODRIGUES, M. R.L. **Dendê, alternativa de desenvolvimento sustentável para agricultura familiar na Amazônia brasileira**, Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2002.
- BARROS, M.N.; ALMEIDA, A.S.; VIEIRA, I.M.C.G.; Análise espacial da dinâmica do uso da terra e cobertura vegetal do Município de Mãe do Rio, Estado do Pará. VI Encontro Nacional da Anppas. **Anais....** Belém, PA, Brasil. 2012.

- BASTOS, T. X. Aspectos agroclimáticos do dendezeiro na Amazônia Oriental. In: VIEGAS, I. de J. M.; MULLER, A. A. (Ed.). **A cultura do dendezeiro na Amazônia**. Belém: EMBRAPA Amazônia Oriental; Manaus: EMBRAPA Amazônia Ocidental, 2000. p. 48-60.
- BHAGWAT, S. A.; WILLIS, K. Agroforestry as a solution to the oil-palm debate **Conservation biology**, v. 22, p. 1368–1370. 2008.
- BITTENCOURT, K. S. Q. Q.; SANTOS, M. M. L. S.; MORAIS F. I. O.; SILVA JÚNIOR, M. L.; MELO, V. S.; SOARES, N. T. Nitrogênio da biomassa microbiana em argissolo vermelho amarelo sob mata de cerrado, área de cultivo de grãos e pastagem natural de Redenção – Pará. **Revista de ciências agrárias**, Belém, n 45. p 187-203. jan-jun, 2006.
- BRAZ, A. M. de S. **Quociente de distribuição de metais pesados em solos paraenses**. 2011. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11140/tde-29062011-090619/>>. Acesso em:
- BREEMEN, N.V.; BUURMAN, P. **Soil formation**. 2d. Moscow: Laboratory of Soil Science and Geology. 2002. 419p.
- 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.
- BRONICK, C. J.; LAL, R. Soil structure and management: a review. **Geoderma**, Amsterdam, v. 124, n. 1-2, p 3-22, jan. 2005.
- CARNEY, K. M.; MATSON, P. A. Plant Communities, Soil Microorganisms, and Soil Carbon Cycling: Does Altering the World Belowground Matter to Ecosystem Functioning? **Ecosystems**, v.8, p.928-940. 2005.
- CENCIANI, K.; LAMBAIS, M. R.; CERRI, C. C.; AZEVEDO, L. C. B.; FEIGL, B. J. Bacteria diversity and microbial biomass in forest, pasture and fallow soils in the southwestern amazon basin. **Revista brasileira de ciências do solo**. v. 33, p 907-916. 2009
- CLAIR, S.B.; LYNCH, J.P. The opening of Pandora’s Box: climate change impacts on soil fertility and crop nutrition in developing countries. **Plant Soil**, v. 335, p.101–115. 2010.
- CRUZ, A.B.; CASTILLO, R.F.D.; BARRA, J.D.E.; BAEZ, A. Selection and interpretation of soil quality indicators for forest recovery after clearing of a tropical montane cloud forest in Mexico. **Forest ecology and management**, v.277, p. 74–80. 2012.
- CUNHA, R. N. V.; LOPES, R. BRS Manicoré: Híbrido Interespecífico entre o Caiuá e o Dendezeiro Africano Recomendado para Áreas de Incidência de Amarelecimento-Fatal. Embrapa Amazônia Ocidental. **Comunicado técnico**, 85. Manaus, AM. 2010.
- DE-POLLI, H.; GUERRA, J.G.M. Carbono, nitrogênio e fósforo da biomassa microbiana do solo. In: SANTOS, G. de A.; SILVA, L.S. da; CANELLAS, L.P.; CAMARGO, F. de O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2.ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p. 263-276.

DESJARDINS, T.; BARROS, E.; SARRAZIN, M.; GIRARDIN, C.; MARIOTTI, A. Effects of forest conversion to pasture on soil carbon content and dynamics in Brazilian Amazonia. **Agriculture, ecosystems and environment**. v. 103. p 365–373. 2004.

EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisas de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de métodos de análise de solo**. 2ª ed. RJ: Rio de Janeiro, 1999. 212p.

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

ERHABOR, J.O. A.; FILSON, G.C. Soil Fertility Changes Under an Oil Palm-Based Intercropping System. **Journal of sustainable agriculture**, v.14, p.45-41. 1999.

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, jan./dez. 2001.

FEARNSIDE, P.M. Deforestation in Brazilian Amazonia: the effect of population and land tenure. **Ambio**. v.22, p.537-545. 1993.

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, J.C.; GAMERO, C.A.; RODRIGUES, J.C.L.; AVALOS, J.M.M. Determination of the quality index of a paleudult under sunflower culture and different management systems. **Soil & tillage research**, v.112, p.167-174. 2011.

FERREIRA, G. M. **Atividade microbiana e agregação de um latossolo vermelho distroférico em campinas, SP, sob usos e manejos distintos**. 2008. 84 f. Dissertação (mestrado) – Instituto agrônomo de Campinas, IAC, São Paulo.

FERREIRA, S. J. F.; LUIZÃO, F. J.; DALLAROSA, R. L. G. Precipitação interna e interceptação da chuva em floresta de terra firme submetida à extração seletiva de madeira na Amazônia Central. **Acta amazônica**, Manaus, v. 35, n. 1, p. 55-62, Jan. 2005.

FNP. Agriannual: **anúário da agricultura brasileira**. São Paulo: AGRAFNP Consultoria e Agroinformativos, 2008.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **FAOSTAT online statistical service**. Disponível em: <<http://faostat.fao.org>>. Acesso em 17 de outubro de 2012.

FRIGHETTO, R.T.S.; SCHNEIDER, R.P. Problemas encontrados na avaliação de microorganismos do solo. In: FRIGHETTO, R.T.S., VALARINI, P.J. (Coords). **Indicadores biológicos e bioquímicos da qualidade do solo**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2000. p.41-44. (Embrapa Meio Ambiente. Documentos, 21).

FURLAN JÚNIOR, J. **Dendê: manejo e uso dos subprodutos e dos resíduos**. Embrapa: CPATU. Belém, 2006. (Documentos 246).

GAMA, J.R.N.F. **Solos: manejo e interpretação**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 183p. 2004.

GAMA-RODRIGUES, E.F. Biomassa microbiana e ciclagem de nutrientes. In: SANTOS, G. de A.; CAMARGO, F.A. de O. (Eds.). **Fundamentos da matéria orgânica**. Porto Alegre: Gênese, 1999. p.228-243.

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. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2. ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p. 159-168.

GOBERNA, M. et al. Microbial community structure at different depths in disturbed and undisturbed semiarid Mediterranean forest soil. **Microbial ecology**. v. 5, n. 40, p. 315- 326. 2005.

HARON, K.; BROOKES, P.C.; ANDERSON, J.M.; ZAKARIA, Z.Z. Microbial biomass and soil organic matter dynamics in oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) plantations, West Malaysia. **Soil biology and biochemistry**. v. 30, n.5, p.547-552. 1998.

HARUN, I.E.; HARUN, M.H. Short-term responses of oil palm to an interrupted dry season in north Kedah, Malaysia. **Journal of oil palm research**, v. 19, p. 364-372. 2007.

INSAM, H.; DOMSCH, K. H. Relationship between soil organic carbon and microbial biomass on chronosequences of reclamation sites. **Microbial ecology**, v. 15, p. 177-188. 1988.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Levantamento sistemático da produção agrícola**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/lspa>>. Acesso em: 11 de nov. 2012.

JENKINSON, D. S.; POWLSON, D. S. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil. V. Method for measuring soil biomass. **Soil biology and biochemistry**, v. 8, p. 209-213. 1976.

KAISER, D. R. **Estrutura e água em argissolo sob distintos preparos na cultura do milho**. 2010. 151 f. Tese (Doutorado em Ciência do solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

KAISER, H.F.. The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis. **Psychometrika**, v.23, n.1, p.187-200. 1958.

KASCHUK, G.; ALBERTON, O.; HUNGRIA M. Three decades of soil microbial biomass studies in Brazilian ecosystems: Lessons learned about soil quality and indications for improving sustainability. **Soil biology & biochemistry**, v.42, p.1-13. 2010.

KERCHER, J. R.; CHAMBERS, J. Q. Parameter estimation for a global model of terrestrial biogeochemical cycling by an iterative method. **Ecological modelling**, v. 139, p. 137-175, 2001.

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).

KOH, L. P.; WILCOVE, D. S. Cashing in palm oil for conservation. **Nature**, v. 448, p. 993–994. 2007.

LAW, M.C; BALASUNDRAM, S.K.; HANIF, A.H. AHMED, O.H.; HARUN, M.H. Spatial variability of soil organic carbon in Oil Palm: a comparison between young and mature stands. **Journal of agricultural research**, v.4, n.12, p.402-417. 2009.

LI, P.; ZHANG, T.; WANG, X.; YU, D. Development of biological soil quality indicator system for subtropical China. **Soil & tillage research**, v. 126, p. 112–118. 2013.

LOPES, R.; CUNHA, R.N.V.; RODRIGUES, M.R.L.; TEIXEIRA, P.C.; ROCHA, R.N.C.; LIMA, W.A.A. Palmaceas. In: ALBUQUERQUE, A.C.S.; SILVA, A.G. (Eds). **Agricultura tropical: quatro décadas de inovações tecnológicas, institucionais e políticas**. Embrapa Informação Tecnológica, Brasília, DF, vol. 1, p. 767-786, 2008.

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

LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; SCHULTZ, N.; ANJOS, L. H. C.; SILVA, E. M. R. Atributos químicos e físicos de um Argissolo Vermelho-Amarelo em sistema integrado de produção agroecológica. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 44, n. 01, p. 68-75. 2009.

LUIZÃO, R. C. C.; BONDE, T. A.; ROSSWALL, T. Seasonal variation of soil microbial biomass – The effects of clearfelling a tropical rainforest and establishment of pasture in the central Amazon. *Soil Biol. Biochem.* **Soil biology and biochemistry**, v. 24, p. 805-813. 1992.

LUIZÃO, R. C. C.; COSTA, E. S.; LUIZÃO, F. J. Mudanças na biomassa microbiana e nas transformações de nitrogênio do solo em uma sequência de idades de pastagem após a derruba e queima da floresta na Amazônia Central. **Acta amazônica**, v. 29, p. 43-56.1999.

MALTAS, A.; CHARLES, R.L.; JEANGROS, B.; SINAJ, R. Effect of organic fertilizers and reduced-tillage on soil properties, crop nitrogen response and crop yield: Results of a 12-year experiment in Changins, Switzerland . **Soil & tillage research**. v. 126, p. 11-18. 2013.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plant**. 2.ed. New York: Academic Press, 1995. 889p.

MARENGO, J. A. **Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade: caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI**. Brasília: MMA, 2007. 2a Ed. 212 p.(Série Biodiversidade, v. 26).

MARTORANO, L. G.; PEREIRA, L. C. **Estudos climáticos do estado do Pará, classificação climática (Koppen) e deficiência hídrica (Thornthwaite, Mather)**. Belém: SUDAM; EMBRAPA.CPATU,1993.

MENEZES, N.S. 2011. **Fitosociologia do estrato arbóreo de um fragmento no município de Santa Izabel do Pará- PA**. Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Florestal - Engenheiro Florestal. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Seropédica, RJ. 2011.

METZGER, J.P. Landscape dynamics and equilibrium in areas of slash-and-burn agriculture with short and long fallow period (Bragantina region, NE Brazilian Amazon). **Landscape ecology**. v.17, p.419-431. 2002.

MELO, V. F.; SCHAEFER, C. E. G. R.; FONTES, L. E. F.; CHAGAS, A. C.; LEMOS JÚNIOR, J. B.; ANDRADE, R. P. Caracterização física, química e mineralógica de solos da colônia agrícola do Apiaú (Roraima, Amazônia), sob diferentes usos e após queima. **Revista brasileira de ciência do solo**, v.30. p. 1039-1050. 2006

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (MAPA). Anuário estatístico da agroenergia 2010. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/file/Desenvolvimento_Sustentavel/Agroenergia/anuario_agroenergia/index.html>. Acesso em 17 de outubro de 2012 a.

MOHAMED, M. A. A.; BABIKER, I. S.; CHEN, Z. M.; IKEDA, K.; OHTA, K.; KATO, K. The role of climate variability in the inter-annual variation of terrestrial net primary production (NPP). **Science of the total environment**, v. 332, p. 123-137, 2004.

MOJIRI, A.; AZIZ, A.H.; RAMAJI. Potential decline in soil quality attributes as a result of land use change in a hillslope in Lordegan, Western Iran. **African journal of agricultural research**. v. 7, n.4, p. 577-582. 2012.

MOREIRA, A.; MALAVOLTA, E. Dinâmica da matéria orgânica e da biomassa microbiana em solo submetido a diferentes sistemas de manejo na Amazônia Ocidental. **Pesquisa agropecuária brasileira**. Brasília, v.39, n.11, p.1103-1110, nov. 2004

MOREIRA, F.M. de S.; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2.ed. atual. e ampl. Lavras: Ufla, 2006.

MONTAGNINI, F.; NAIR, P. K. R. Carbon sequestration: An underexploited environmental benefit of agroforestry systems. **Agroforestry systems**, v. 61-2, p. 281-295. 2004.

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

NEMANI, R.; LEELING, C. D.; HASHIMOTO, H.; JOLLY, W. M.; PIPER, S. C.; TUCKER, C. J.; MYNENI, R. B.; RUNNING, S. W. Climate-driven increases in global terrestrial net primary production from 1982 to 1999. **Science**, v. 300, p. 1560-1563, 2003.

PATTHANAISSARANUKOOL, W.; POLPRASERT, C; ENGLANDE JÚNIOR, A.J.; Potential reduction of carbon emissions from Crude Palm Oil production based on energy and carbon balances. **Applied energy**, v.102; p.710-717. 2012.

PAUL, E.A. **Soil microbiology, ecology and biochemistry**. Hardcover: Academic Press, 2007. 552p.

PAUL, E.A.; LADD, J.N. (Eds) **Soil biochemistry**. New York: Marcel Dekker, v.5.p.415-471, 1981.

PEREIRA JÚNIOR, A. **Fertilidade e fauna edáfica em solo sob reflorestamento com paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke) no município de Aurora do Pará**. Dissertação (mestrado em Ciências Ambientais) - Universidade Federal do Pará, Belém, 2011.

PISANTE, M.; STAGNARI, F.; GRANT, C.A. Agricultural innovations for sustainable crop production intensification. **Italian journal of agronomy**. v.7, n.40, p. 300-311. 2012.

PITTENGER, D.R.; DOWNER, J.; HODEL, D.R.; MOCHIZUKI, M. Estimating water needs of landscape palms in mediterranean climates. **HortTechnology**, v.19, n.4. p.00-00. 2009.

QUEIROZ, A.G.; FRANÇA, L.; PONTE, M.X. The life cycle assessment of biodiesel from palm oil (dendê) in the Amazon. **Biomassa and bionergy**, v.36, p.50-59. 2012.

REIJNDERS, L.; HUIJBREGTS, M.A.J. Palm oil and the emission of carbon-based greenhouse gases. **Journal of cleaner production**. v16. p 477-482. 2008

ROCHA, E. J. P. **Balço de umidade e influências de condições de contorno superficiais sobre a precipitação da Amazônia**. 2001. 210 f. Tese (Doutorado) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE, São Paulo, 2001.

RODRIGUES, R. C. **Biomassa microbiana e acúmulo de liteira em sistemas agroflorestais composto por meliaceas utilizadas como indicadores biológicos de qualidade do solo**. 2006. 116 p. Tese (Doutorado em Ciências Agrárias) - Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2006.

ROUSSEAU, A, G.X.; DEHEUVELS, O; ARIAS, I.R.; SOMARRIBA, E. Indicating soil quality in cacao-based agroforestry systems and old-growth forests: The potential of soil macrofauna assemblage. **Ecological indicators**, v. 23, p. 535–543. 2012.

RUNNING, S. W.; NEMANI, R. R.; HEINSCH, F. A.; ZHAO, M.; REEVES, M.; HASHIMOTO, H. A continuous satellite-derived measure of global terrestrial primary production, **BioScience**, v. 54, n. 6, p. 547-560, 2004.

SAIKKU, L.; SOIMAKALLIO, S.; PINGOUD, K. Attributing land-use change carbon emissions to exported biomass. **Environmental impact assessment**, v. 37, p. 47–54. 2012.

SALGADO M.M.; ROMERO, V.R.; JANNSENS, M., ORTEGA-BLU, R. Biological soil quality indicators: a review. **Current research, technology and education topics in applied microbiology and microbial biotechnology**, v.1, n.2. p.319-326. 2010.

SAMPAIO, I. C. G. **Biogeoquímica do carbono em solo de parcelas sob trituração, sob queima e sob capoeira**. (dissertação de mestrado) Instituto de geociências: UFPA. Belém-PA. 2008. 56p.

SANCHES, L.; VALENTINI, C. M. A.; BIUDES, M. S.; NOGUEIRA, J. S. Dinâmica sazonal da produção e decomposição de serrapilheira em floresta tropical de transição. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental** v.13, n.2, p.183–189, 2009.

SANTIAGO, W. R. ; VASCONCELOS, S. S. ; FERREIRA, N. M. S. ; SOUZA, C. M. de A.; SANTOS, E. R.; TRINDADE, I. A. ; KATO, Osvaldo R ; CAPELA, C. J. B. Nitrogênio inorgânico no solo em sistemas de produção de palma de óleo em arranjos agroflorestais na Amazônia Oriental. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS, 8., 2011, Belém. **Anais..** Belém: ABSA, 2011.

SANTIAGO, W. R. **Nitrogênio mineral e biomassa microbiana do solo em sistemas agroflorestais com palma de óleo em Tomé-Açu, Pará**. 2012. 00f. Dissertação (mestrado Agronomia). Universidade Federal Rural da Amazônia. Belém, 2012.

SCHJONNING, P; ELMHOLT, S. & CHRISTENSEN, B. T. (Eds). **Managing soil quality: challenges in modern agriculture**. Wallingford, Oxon; Cambrdge, MA: Cabi Pub., 2004. 344p.

SCHROTH, G.,M.; RODRIGUES, R.L.; ANGELO, S.A.D. Spatial patterns of nitrogen mineralization, fertilizer distribution and roots explain nitrate leaching from mature Amazonian oil palm plantation. **Soil use and management**, v.16, p.222-229. 2000.

SELLE, G. L. Ciclagem de nutrientes em ecossistemas florestais. **Bioscience journal.**, Uberlândia – MG, v.23.n.4.p.29-39. 2007.

SILVA, E. E. da; AZEVEDO, P. H. S. ; DE-POLLI, H. **Determinação da respiração basal (RBS) e quociente metabólico d solo (qCO₂)**. Seropédica/RJ: EMBRAPA, 2007. (Comunicado Técnico, 99).

SILVA, A. K. L.; VASCONCELOS, S. S.; CARVALHO, C. J. R.; CORDEIRO, I. M. C. C. Litter dynamics and fine root production in *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* plantations and regrowth forest in Eastern Amazon. **Plant soil**, v 347. P 347-377, 2011.

SILVA, I. R.; MENDONÇA, E. S. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Ed.). SMITH, R.D.; TOWNSEND, T.J.; CHOY, A.W.K.; HARDY, I.C.W.; SJÖGERSTEN, S. Short-term soil carbon sink potential of oil palm plantations. **GCB Bioenergy**, v.4; p.588–596. 2012.

SJÖGERSTEN, S.; CHEESMAN, A. W.; LOPEZ, O.; TURNER, B. L. Biogeochemical processes along a nutrient gradient in a tropical ombrotrophic peatland. **Biogeochemistry**. v 104. p 147-163. 2011.

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

SMITH, R.D.; TOWNSEND, T.J.; CHOY, A.M.K.; HARDY, I.C.K.; SJÖGERSTEN, S. Short-term soil carbon sink potential of oil palm plantations. **GCB Bioenergy**. v. 4, n. 5, p. 588-596. 2012.

SOUTO, P. C. et.al. Comunidade microbiana e mesofauna edáficas em solo sob Caatinga no semi-árido da Paraíba. **Revista brasileira de ciências do solo**, v.32, p.151-160, 2008.

SOUZA, C.M.A.; SANTOS, E.R.; L BARROS, J.M.; SANTIAGO, W.; BISPO, S.J.; VASCONCELOS, S.S.; KATO, O.R. Compactação do solo em sistemas agroflorestais com dendzeiro na Amazônia Oriental. In: VIII Congresso Brasileiro de Sistemas Agroflorestais, 2011, Belém. **Anais....** Belém: SBSAF. 2011.

SOUZA, E. B.; AMBRIZZI, T., Modulation of the intraseasonal rainfall over tropical Brazil by the Madden-Julian oscillation. **International journal of climatology**, v. 26, p. 1759-1776, 2006.

SOUZA, S. R; FERNANDES, M. S. **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciências do Solo, 2006. 252p.

SOUZA, Z. M.; ALVES, M. C.; Propriedades químicas de um Latossolo Vermelho Distrófico de Cerrado sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 27, n. 1, p.133-139. 2003.

SPARLING, G. P. Ratio of microbial biomass carbon to soil organic carbon as a sensitive indicator of changes in soil organic matter. **Australian journal of soil research**, v. 30, p. 195-207, 1992.

SWIFT, R.S. Sequestration of carbon by soil. **Soil Sci.**, v.166, p.858- 871, 2001.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3Ed. Porto Alegre – RS: Artmed. Cap.5, 2006. 820p.

TARMIZI, A. M.; TAYEB, D.M.; Nutrient demands of tenera oil palm planted on inland soils of Malaysia. **Journal of oil palm research**, v. 18, p. 204-209. 2006.

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**, v. 20, p. 329-335, 1988.

TONELLO, V. M. M. **Principais aspectos do ciclo biogeoquímico do element carbon e seu context na atualidade**. (Dissertação de Mestrado) Centro de Energia Nuclear na Agricultura.. Viçosa: ESALQ. 2007.

TRINDADE, D.R.; POLTRONIERE, L.S. Doenças do dendezeiro. In: KIMATI, H.; AMORIM, L.; REZENDE, J.A.M.; BERGAMIN FILHO, A.; CAMARGO, L.E.A. (Ed.). **Manual de fitopatologia: doenças de plantas cultivadas**. São Paulo, Brasil: Editora Agrônômica Ceres, v.2, 2005. p.303-307.

TROEH, F.R.; THOMPSON, L.M. **Solos e fertilidade de solo**. 6d. São Paulo: Andrei, 2007. 718p.

USDA. Oilseeds: World markets and Trade. Foreign Agricultural Service, **Circular series FOP 1 – 11**. 2011.

VALENTINI, C. M. A.; SANCHES, L.; DE PAULA, S. R.; VOURLITIS, G. L.; NOGUEIRA, J. S.; PINTO JR., O. B.; LOBO, F. A. Soil respiration and aboveground litter dynamics of a tropical transitional forest in northwest Mato Grosso, Brazil. **Journal of geophysical research**, v. 113, p 11, 2008.

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.

VEIGA, A.S.; SMIT, L.; FÚRIA, L.R.R. Avaliação do dendezeiro como opção para o seqüestro de carbono na Amazônia. In: VIÉGAS, I. de J.M.; MÜLLER, A.A. (ed). **A cultura do dendezeiro na Amazônia Brasileira**. Embrapa Amazônia Oriental, Belém/ Embrapa Amazônia Ocidental, Manaus. 2000. p. 42-59.

VEZZANI, F.M.; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo. **Revista brasileira de ciência do solo**, v.33, p.743-755. 2009.

WAKSMAN, S.A. **Humus**. Williams and Wilkins: Baltimore. 1936.

WATRIN, O. S.; VENTURIERI, A.; SAMPAIO, S. M. N. **Análise multitemporal do uso da terra e suas interrelações com a cobertura vegetal em comunidades rurais do Nordeste Paraense**. [CD-ROM]. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 9., Santos, SP, 11-18 setembro, 1998. Anais. São José dos Campos, INPE/ SELPER, 1998.

ZULKIFLI, H.; HALIMAH, M.; CHAN, K. W.; CHOO, Y. M.; BASRI, W. M. Life cycle assessment for oil palm fresh fruit bunch production from continued land use for oil palm planted on mineral soil (Part 2). **Journal of oil palm research**, v.22, p. 887-894. 2010.

ZULKIFLI, H.; TARMIZI, A.M. Phosphorus fractions in soil amended with empty fruit bunches and phosphate fertilizer – an incubation study. **Journal of oil palm research**, v. 22, n.3, p. 823-834. 2010.