



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

GERSON CARLOS PINTO GLORIA

**BIOMASSA DE RAÍZES EM PLANTIO DE HÍBRIDO INTERESPECÍFICO DE
PALMA DE ÓLEO NO LESTE DA AMAZÔNIA**

**BELÉM
2016**



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

GERSON CARLOS PINTO GLORIA

**BIOMASSA DE RAÍZES EM PLANTIO DE HÍBRIDO INTERESPECÍFICO DE
PALMA DE ÓLEO NO LESTE DA AMAZÔNIA**

Trabalho apresentado à Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Agronomia para obtenção do Título de Mestre.

Orientador: Dr. Steel Silva Vasconcelos

**BELÉM - PARÁ
2016**

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

GERSON CARLOS PINTO GLORIA

**BIOMASSA DE RAÍZES EM PLANTIO DE HÍBRIDO INTERESPECÍFICO DE
PALMA DE ÓLEO NO LESTE DA AMAZÔNIA**

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

BANCA EXAMINADORA

Dr. Steel Silva Vasconcelos
Orientador
Embrapa Amazônia Oriental

Dr. Marcelo Murad Magalhães – 1º Examinador
Embrapa Amazônia Oriental

Dr. Claudio Jose Reis de Carvalho – 2º Examinador
Embrapa Amazônia Oriental

Dr. Gilson Sergio Bastos de Matos – 3º Examinador
Universidade Federal Rural da Amazônia

Dedico

*À minha família e aos meus amigos,
em especial à minha mãe Hilma Andrade Pinto e à minha filha Luana Vieira Gloria.*

AGRADECIMENTOS

A DEUS, por me conceder força e sabedoria;

A minha mãe, Hilma Andrade Pinto, por seu amor e suas orações em meu favor;

A minha Filha, Luana Vieira Gloria, cujo tempo de sua companhia foi sacrificado para obter esse título. Isto é por você.

Ao meu orientador, Dr. Steel Silva Vasconcelos, pelos ensinamentos repassados e pela orientação no desenvolvimento deste trabalho, além da paciência e oportunidade de desenvolver esta pesquisa;

Aos amigos Marcos Albuquerque, Malco da Luz, Michel Lima, Daniel Monteiro, Daniel Maramaldo, Fábio Marmith, Antônio Maues Junior e Leandro Melo, que em todos os momentos estiveram me apoiando.

Aos meus irmãos, Gilson Gloria, Luiz Carlos Gloria, Luscélio Gloria, José Carlos Junior, Luscilene Gloria, Lucicleide Gloria e Brenda Gloria, e a meu Pai José Carlos Barbosa Gloria;

Aos amigos do LASS: Carlos Dias, Gisele Nerino, Fabiola Fernandes, Helen Ramos, Liliane Cunha, Raissa Lopes, Cléo Souza, Neusa Ferreira, Ivanildo Trindade, Alessa Mendanha e Saime Rodrigues.

Aos estagiários da equipe de biomassa de raízes: Ramon Garcia, José Thiago Mendonça, Rodrigo Freitas, Dejane Silva, Pamela Cornélio, Icaro Santos, Debora Carvalhaes, Álex Macêdo, Erika Monroe, Claudilene Lopes, Jennifer Silva, Adriana Sena e em especial a Juciene Amador.

Aos amigos que ajudaram nas coletas: Everson Lima, Luiz Carlos Neves, Duber Labán, Henry Mcarter, Sandro Chaves e Khety Holanda.

A Marborges S/A, pela concessão da área para a pesquisa, em especial a seus colaboradores: Antônio José de Abreu Pina, Lucivaldo, Raimundo Nonato, Aurélio, Luiz Fernando, Onofre e Carlos Quaresma, verdadeiros guerreiros;

A FAPESPA, pela concessão da bolsa e financiamento do projeto.

A UFRA e ao programa de Pós Graduação em Agronomia, pela oportunidade e formação concedida.

Aos membros da banca Dr. Marcelo Magalhães, Dr. Claudio Carvalho e Dr. Gilson Matos.

E a todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para realização deste trabalho.

Sumário

1.Introdução	2
2.Objetivo geral	3
2.1.Objetivos específicos	3
3.Hipóteses	3
4.Referencial Teórico	4
4.1.Importância da palma de óleo na Amazônia	4
4.2. Palma de óleo	5
4.3.Amarelecimento Fatal	7
4.4.Híbrido interespecífico BRS Manicoré.....	8
4.5. Sistema radicular de palma de óleo	9
4.6. Biomassa	11
4.7.Método dos monólitos	13
5.Material e Métodos	13
5.1.Caracterização da área.....	13
5.2.Histórico da área.....	14
5.3.Coleta de raízes.....	15
6.Análise Estatística	20
7.Resultados	21
7.1.Densidade de massa de raiz (DMR)	21
7.2.Densidade de comprimento de raiz (DCR).....	26
8. Discussão	33
8.1.Densidade de massa de raiz (DMR)	33
8.2.Densidade de comprimento de raiz (DCR).....	35
8.3.Relação comprimento/massa.....	36
8.4.Biomassa total de raízes.....	37
9.Conclusão	40
10.Referências	41

Resumo:

A importância de se conhecer detalhadamente o sistema radicular de uma cultura está relacionada com estratégias técnico-científicas, tanto para tomadas de decisões técnicas relativas (por exemplo, manejo) como também para estimar a contribuição no estoque e ciclagem de nutrientes no solo. O presente trabalho avaliou a biomassa abaixo do solo em um plantio comercial de híbrido interespecífico de palma de óleo (*Elaeis oleifera* cortés x *Elaeis guineensis* jacq.), cultivar BRS Manicoré, no município de Moju, nordeste do estado do Pará. O híbrido interespecífico de palma de óleo tem sido plantado em regiões com limitação para outras cultivares devido à ocorrência da anomalia amarelecimento fatal. Amostras de raízes foram obtidas por meio de coleta de monólitos em trincheiras com 4 metros de comprimento, 50 cm de largura e 60 cm de profundidade. Foram coletados monólitos nas camadas 0-15 (camada A), 15-30 (camada B) e 30-60 cm (camada C). Em cada camada, foram coletados 8 monólitos. Em laboratório, as raízes foram classificadas de acordo com seu diâmetro em primárias ($\geq 5,0$ mm), secundárias (1– 4,9 mm) e terciárias (0,5 – 0,9 mm). Imagens de subamostras de cada classe de diâmetro foram analisadas para estimativa do comprimento usando o software SAFIRA V.1.1. A massa seca das raízes foi determinada após secagem em estufa de circulação forçada de ar a 65 °C por 96 horas. Na profundidade de 0-60 cm a densidade de massa de raízes encontradas foram 62,77% de raízes primárias, 24,28% secundárias e 3,78% terciárias. A camada 15-30 cm concentra 57,65% desta densidade de raízes. Nas camadas 0-15 e 30-60 cm, estão concentrados, respectivamente, 32,5 e 13,2% da biomassa total de raízes. As raízes terciárias, se encontram-se principalmente na camada de 0-15 cm. Em relação a densidade de comprimento de raiz 53,82% do comprimento total estão na profundidade de 0-15 cm, sendo 78,95% deste total de raízes terciárias, seguido de 16,58% de secundárias e 4,47% de primárias. A biomassa abaixo do solo a uma profundidade de 0-60 cm, considerando 3 classes de diâmetro de raízes (primárias, secundárias e terciárias) foi de 8,28 Mg/ha, e assumindo 50% da equivalência de carbono para esta biomassa teremos 4,14 Mg/ha de C.

1.Introdução

A palma de óleo (*Elaeis guineensis* Jacq.) é uma cultura de grande importância no setor agrícola do estado do Pará, com a maior produção entre as culturas permanentes (51% do total produzido no estado), ocupando mais de 140 mil hectares, e com perspectivas de expansão para 329 mil há até 2020 (FAPESPA, 2015; Glass, 2013). Como ocorre em todas as monoculturas extensivas desenvolvidas na região tropical úmida, o cultivo da palma de óleo também está sujeito a uma incidência acentuada de doenças e pragas (Medeiros & Sano, 1988).

No caso da cultura da palma de óleo, o Amarelecimento Fatal (AF) é um problema que engloba aspectos fitossanitários de extrema importância para a economia dos países que cultivam essa oleaginosa, em particular para o Brasil, aonde vem causando perdas consideráveis desde 1984, e expandindo-se rapidamente na região. No estado do Pará, desde a primeira ocorrência descrita sobre o AF, em 1974, mais de 5.000 hectares de dendezaís foram erradicados por causa deste problema fitossanitário (Venturieri et al., 2009).

O principal agravante relacionado a limitação causada pelo AF está relacionado ao desconhecimento do seu agente etiológico. No entanto, há uma forte correlação entre incidência de AF e zonas de precipitações elevadas (Boari et al., 2012).

Uma alternativa para manter ou expandir a produção de palma de óleo em áreas de ocorrência do amarelecimento fatal é o uso de cultivares resistentes ao AF (Lopes et al., 2012), como, por exemplo, o híbrido interespecífico (BRS Manicoré) (Cunha & Lopes, 2010), atualmente sendo plantado em regiões de ocorrência do AF. A cultivar BRS Manicoré, apresenta além de outras características uma produção de cachos equivalente ou superior aos valores descritos na literatura para cultivares de dendezeiro africano (Santos et al., 2015). A morfologia da parte aérea do BRS Manicoré difere daquela do híbrido intraespecífico (Cunha & Lopes, 2010; Gomes Junior, 2015), mas não há informações sobre a morfologia do seu sistema radicular. Um melhor entendimento sobre a distribuição horizontal e vertical de raízes do híbrido interespecífico é fundamental para se aperfeiçoar estratégias de manejo da adubação, que atualmente se baseiam no conhecimento gerado para as cultivares africanas.

Conhecimento acerca do sistema radicular também é importante para a quantificação do potencial de sequestro de carbono no solo da cultura, que

representa uma informação relevante no cenário atual de busca por sistemas de produção com maior capacidade de mitigação de impactos de mudanças climáticas. A inserção do cultivo de palma de óleo em áreas degradadas pode fornecer um retorno de carbono logo a partir dos primeiros anos de cultivo, promovendo incremento no armazenamento do CO₂ atmosférico dentro deste novo ecossistema (Gibbs et al., 2008).

A maioria dos estudos sobre biomassa radicular da palma de óleo foram realizados na África ou na Ásia (Dufrene, 1989; Lamade & Setiyo, 1996; Jourdan et al., 2000; Khalid et al., 1999; Rees & Tinker, 1963; Corley et al., 1971; Tailliez, 1971; Tan, 1979; Henson & Chai, 1997). Não existem relatos científicos a respeito de biomassa de raízes de palma de óleo no Brasil em plantio convencional. Alguns estudos de raízes foram desenvolvidos em SAF's (Monteiro, 2014) e em plantios convencionais de híbrido intraespecífico (G x G) (Sommer et al., 2000).

2. Objetivo geral

Avaliar a distribuição horizontal e vertical da biomassa e do comprimento de raízes em um plantio comercial de HIE de palma de óleo.

2.1. Objetivos específicos

Quantificar a densidade de massa e comprimento de três classes de diâmetro de raízes, em diferentes distâncias a partir do colo de indivíduos de híbrido interespecífico de palma de óleo.

Quantificar a densidade de massa e comprimento de três classes de diâmetro de raízes, em diferentes profundidades do solo, em plantio de híbrido interespecífico de palma de óleo.

3. Hipóteses

A biomassa de raízes diminui a medida que se distancia horizontalmente e verticalmente a partir da base da planta.

A distribuição das classes de diâmetro varia horizontalmente e verticalmente a partir da base da planta.

4.Referencial Teórico

4.1.Importância da palma de óleo na Amazônia

Na Amazônia, a necessidade de se planejar um sistema de gestão territorial, levando em consideração a conservação de seus recursos naturais, e o desenvolvimento social e econômico local possam ser beneficiados com a atividade agrícola, tem sido um dos grandes desafios da ciência (Vieira et al., 2005). Uma estratégia que vem sendo debatida refere-se ao plantio de espécies florestais e/ou culturas perenes em áreas consideradas degradadas, como uma forma eficaz de melhorar a formação de um reservatório de carbono no solo. Estas plantações podem promover o sequestro de carbono não somente em sua biomassa, mas também ao longo do perfil do solo (Göttingen, 2005).

O solo é considerado o terceiro maior reservatório de carbono global no mundo, menor apenas do que o carbono estocado em combustíveis fósseis e nos oceanos (Lal, 2008). De forma geral, o uso perene do solo é o mais indicado para modelos de agricultura sustentável, devido aos menores distúrbios causados pelo cultivo, e por proporcionar uma cobertura vegetal contínua, além de adicionar uma maior quantidade de biomassa ao sistema, promovendo um reservatório de carbono (tanto acima como abaixo do solo) maior do que em cultivos sazonais (Lal, 2007). Devido ao ciclo produtivo mais longo, as culturas perenes estão associadas a interações ambientais de médio a longo prazo (Clair & Lynch, 2010).

Existem algumas áreas cultiváveis em regiões tropicais onde as culturas com potencial de produção de biocombustíveis podem oferecer um retorno de carbono a curto prazo. Por exemplo, a conversão das terras degradadas em plantios de palma fornece um retorno de carbono quase imediato, uma vez que as culturas de biocombustíveis podem aumentar o armazenamento de carbono nos ecossistemas, simultaneamente compensando as emissões de carbono de combustíveis fósseis (Gibbs et al., 2008).

Para impedir a degradação dos ecossistemas amazônicos e proporcionar a recuperação de áreas desflorestadas, é necessário inovar com formas e atividades produtivas capazes de gerar emprego e renda para as populações regionais. É nesse contexto que se insere a pertinência ou não de apoiar a expansão da lavoura

da palma de óleo na Amazônia, como uma das possibilidades de recuperar áreas desflorestadas e promover o desenvolvimento regional (Becker, 2010). A significativa contribuição da cultura da palma de óleo na recuperação de áreas desflorestadas e na inclusão socioeconômica de agricultores familiares torna esta atividade uma excelente alternativa de investimento e diversificação produtiva na Amazônia (Banco da Amazônia, 2012; Monteiro, 2013).

Aproximadamente 39,4% da área total de expansão da palma no Brasil entre 1989 e 2013 teve origem na conversão direta de floresta (Vijay et al., 2016). No entanto, desde 1999 tem havido forte declínio nesta conversão de uso da terra, com praticamente nenhum desmatamento direto de floresta primária para dendeicultura entre 2004 e 2008. Neste período, 68% da expansão ocorreu a partir da conversão de pastos em palma (Venturieri, 2012; Lange, 2012).

Quando ocorre a substituição de uma floresta pelo cultivo de palma de óleo, verifica-se nos primeiros 4 anos, uma queda no conteúdo de carbono no solo nas camadas superiores (0-30 cm), e essa taxa só estabiliza quando a cultura atinge idade de 9 anos, onde há uma recomposição do estoque de carbono do solo, atingindo entre 55 e 65% do valor inicial, ou seja, antes da remoção da área de floresta (Lamade & Bouillet., 2005).

Dentre os estudos sobre os estoques de carbono em áreas de cultivo de palma de óleo (Lamade & Setiyo, 2002; Raich, 1998; Nouvellon et al., 2004; Roupsard et al., 2002), existe uma lacuna considerável a ser preenchida de informações sobre a biomassa abaixo do solo e a distribuição do sistema radicular ao longo do perfil. Os trabalhos desenvolvidos no Brasil a respeito da biomassa para esta cultura (Cruz Filho, 2012; Sanquetta et al., 2015) não quantificaram a biomassa abaixo do solo.

4.2. Palma de óleo

A palma de óleo, segundo evidências arqueológicas, é de origem africana, apesar de existirem relatos botânicos de sua origem na América Latina (Cook, 1942). É uma planta da família das Araecaceas, antiga família Palmae. Pertence ao gênero *Elaeis*, que em grego significa óleo, engloba duas espécies de importância econômica: *E. guineensis* (palma de óleo africana) e *E. oleifera* (palma de óleo americana) (Corley & Tinker, 2003). É comumente classificada de acordo com a

espessura do endocarpo, como: Dura, Tenera e Pisífera. O tipo Tenera é um híbrido intraespecífico entre os tipos Dura e Pisífera (Viéguas & Muller, 2000).

É uma cultura de climas tropicais, com desenvolvimento ótimo em áreas com temperatura do ar entre 24 e 28 °C. Em baixas temperaturas, podem ocorrer aborto dos cachos e retardamento do crescimento vegetativo e da maturação de cacho (Corley & Tinker, 2003).

O desenvolvimento da palma de óleo divide-se em dois períodos: o primeiro envolve a fase jovem ou período imaturo, cuja duração varia de dois a quatro anos. Nesta fase as plantas investem em seu crescimento vegetativo. O segundo período representa a fase de produção, que começa no terceiro ano, estabiliza a partir do sétimo e dura de 25 a 30 anos, conforme as condições ecológicas e o material genético (Corley & Tinker, 2003).

A palma de óleo é uma oleaginosa de grande importância para a economia dos países exportadores de óleo vegetal, apresentando uma das maiores produtividades de óleo vegetal conhecida no mundo, com um rendimento de 4 a 6 toneladas de óleo/ha/ano (Muller et al., 2006; Moura, 2008). Como o melhor substituto para as gorduras trans, o óleo de palma é usado na indústria de alimentos para a fabricação de margarina, biscoitos, tortas e sorvetes. Também na indústria de higiene e limpeza é usado em cosméticos, sabões e detergentes. Na indústria química, é um dos componentes de lubrificantes, óleos, glicerina e vários tipos de ácidos (Corley & Tinker, 2003).

Estima-se que o consumo mundial de óleo de palma crescerá dos atuais 56,5 milhões de toneladas, para aproximadamente 71 milhões de toneladas até 2020, podendo ainda alcançar uma produção de aproximadamente 81 milhões em 2025. De acordo com as projeções, para atender essa demanda, serão necessários 3 milhões de hectares plantados adicionais aos 17,071 milhões de ha plantados no mundo, até 2020, e aproximadamente 5 milhões de hectares, até 2025 (o equivalente à área total cultivada hoje pela Malásia). Assim, a área média com novos cultivos de palma exigirá uma expansão de aproximadamente 450.000 hectares anuais até 2025 no mundo (Agroanalysis, 2014).

Segundo Basiron (2012), grande parte (80%) do mercado do óleo de palma destina-se à alimentação humana, assegurando, em muitos aspectos, a segurança alimentar numa escala mundial. Uma menor parte é destinada a indústria oleoquímica (15%) e produção de biodiesel (2%).

As estimativas do consumo interno de óleo de palma bruto no Brasil são de aproximadamente 520.000 t óleo/ano e, para o óleo de palmiste, cerca de 200.000 t óleo/ano (MDIC, 2012). No Brasil, a estimativa da área plantada em 2015 era de 194.920, ha dos quais 9.507 ha são de Híbrido Interespecífico (OxG) (Homma et al., 2015), distribuídos principalmente na Região Norte e uma pequena parcela na região nordeste. Mais de 95% da produção nacional das áreas cultivadas de palma de óleo no país está concentrada no estado do Pará (Monteiro, 2013).

Grandes empresas do setor industrial estão instaladas no estado do Pará com intuito de explorar o potencial agrícola da região para produção de óleo de palma. Juntas, essas empresas concentram uma área aproximada de 180 mil hectares, processando aproximadamente 10.080 toneladas cachos de fruto fresco diariamente (Monteiro, 2013).

O Pará contribui com 83% da produção brasileira palma de óleo, apresentando cerca de 10,5% de seu território (13,1 milhões de hectares), propícios ao cultivo de dendê, de acordo com o Zoneamento Agroecológico e de Risco Climático (Embrapa, 2010). A produção de óleo de palma no Pará é favorecida por condições edafoclimáticas adequadas, e incentivos ligados a legislação e a entidades públicas e privadas, que promovem apoio técnico e financeiro. Nesse sentido, destaca-se o município de Tailândia como o maior produtor no estado (38,93%), seguido por Acará (16,82%) e Moju (13,57%), que, juntos, totalizam 62,39% do total da produção dessa cultura no Pará (Fapespa, 2015).

4.3. Amarelecimento Fatal

O amarelecimento fatal (AF) é uma anomalia que ocorre em plantios de palma de óleo, causando sintomas que evoluem ao longo do tempo, incluindo amarelecimento dos folíolos basais das folhas intermediárias e, posteriormente, o surgimento de necroses nas extremidades dos folíolos, podendo evoluir para uma seca total dessas folhas mais jovens (Trindade et al., 2005). Venturieri et al. (2009) estudaram a correlação do AF com diversas variáveis ambientais como tipo e textura dos solos, balanço hídrico, precipitação média anual, rede de drenagem, vegetação, desflorestamento, entre outros, sendo a variável balanço hídrico a única com influência significativa sobre a disposição espacial do AF.

O amarelecimento fatal (AF) do dendezeiro foi registrado no Estado do Pará a partir de 1974, em um plantio comercial de dendê no Município de Benevides, a cerca de 30 km de Belém. A expansão do AF agravou-se na região a partir de 1984 (Trindade et al., 2005). No Brasil também há registros da ocorrência de AF na EMADÉ (Tefé, AM), COPALMA (Macapá, AP) e DENPASA (Belém, PA), que totalizam uma área de aproximadamente 5.000 ha de dendezeiros que foram totalmente dizimados.

Em uma área de replantio de palma de óleo previamente afetada por AF, as novas mudas apresentaram os sintomas da anomalia 8 meses após a seu plantio (Boari et al., 2010). Esses resultados sugerem que, em áreas de ocorrência de amarelecimento fatal, a prática de substituição das plantas afetadas por AF por mudas sadias não pode ser considerado como opção para sanar o problema de limitação do AF.

Uma alternativa que tem sido praticada por algumas empresas para superar as limitações causadas pelo AF é o uso de cultivares resistentes à anomalia, dentre eles, o híbrido interespecífico (HIE) desenvolvido pela Embrapa, cultivar BRS Manicoré, (Cunha & Lopes, 2010). As cultivares de HIE, além da tolerância ao AF, podem apresentar produção de cachos equivalente ou superior aos valores de produção descritos na literatura para cultivares de dendezeiro (Santos et al., 2015).

4.4. Híbrido interespecífico BRS Manicoré

O híbrido, resultado do cruzamento entre *E. oleifera* x *E. guineensis*, tem folhas maiores do que as de qualquer um dos pais, mas retém o arranjo de folíolos do *E. oleifera*. As características desta última palma, no que diz respeito a incremento em altura, queda das bases peciolares, brácteas persistentes, partenocarpia e formato e cor do fruto, também são herdadas no híbrido. (Corley & Tinker, 2003). São mais vigorosos que as cultivares convencionais de dendezeiro, com maior comprimento da folha (> 4,5 m), o que pode resultar em recomendação de menor densidade de plantas em relação ao recomendado para Tenera (143 plantas/ha). Também apresenta um maior diâmetro do coleto e maior área foliar, reforçando uma possível necessidade de plantio em menor densidade (Cunha & Lopes, 2010).

O crescimento vertical do estipe da cultivar BRS Manicoré (17 a 24 cm/ano) é inferior ao das cultivares tradicionais de dendezeiro (45 a 60 cm/ano), o que deve prolongar a vida útil dos plantios comerciais do HIE quando comparado ao de cultivares de dendezeiro africano (Cunha & Lopes, 2010), uma vez que a dificuldade de colheita de cacho em plantas altas é um dos motivos para renovação dos plantios. Em experimento com plantas jovens de híbrido, Gomes Junior (2015) também verificou que o crescimento em altura do estipe para uma população de HIE foi menor que de outras cultivares de dendê.

Os resultados de pesquisas indicam que o HIE BRS Manicoré, dentre os materiais genéticos de origem Manicoré e africanos originados de La Mé, apresenta melhor desempenho em áreas com incidência de Amarelecimento Fatal. Sendo assim, a cultivar BRS Manicoré é a mais indicada para cultivo de Palma de óleo em áreas de incidência de AF (Cunha & Lopes, 2010).

4.5. Sistema radicular de palma de óleo

O sistema radicular da palma de óleo africana é formado por raízes adventícias, com raízes primárias geralmente com cerca de 5-10 mm de diâmetro, provenientes da base do estipe e que se espalham horizontalmente e verticalmente em diferentes ângulos (Yahya et al., 2010).

As raízes da palma de óleo geralmente são encontradas nos primeiros 100 cm de profundidade, com maior concentração (aproximadamente 50%) nos primeiros 40 cm (Carvalho, 1991). A palma de óleo pode crescer em solos com apenas 50 cm de profundidade efetiva, desde que o mesmo tenha uma boa disponibilidade de água e nutrientes (Corley & Tinker, 2003).

Todas as classes de raízes ocorrem nos primeiros 40 centímetros de solo, sendo que o maior volume de raízes concentra-se entre 15 e 30 centímetros, diminuindo à medida que as raízes se distanciam do bulbo (Corley & Tinker, 2003). Em uma planta de palma de óleo, as raízes podem ser encontradas num raio de 3,5 a 4,5 metros em relação a base da planta (Rodrigues et al., 2007). O padrão de distribuição das raízes de palma de óleo comumente encontrado, refere-se a uma concentração radicular na camada de 0 a 90 cm de profundidade. No entanto, podem ser verificados dois diferentes padrões de ocorrência desta distribuição,

sendo o primeiro onde a uma redução gradual neste intervalo de 0 a 90 cm, e outro onde há uma concentração expressiva nos primeiros 15 cm de profundidade, seguida de uma grande redução nos próximos 15 cm (15-30 cm), e de redução mais suave a partir desta profundidade (Carvalho, 1991).

Todas as classes de diâmetros de raiz mostram um crescimento preferencial em direção a condições de maior disponibilidade de água, nutrientes, cobertura vegetal ou de material em decomposição (empilhamento). Isto pode favorecer a uma elevada densidade de quaternárias na entrelinha de plantio (Bachy, 1964). Por exemplo, com uma cobertura do solo com *pueraria sp.* em terra de aluvião na Colômbia, as raízes terciárias e quaternárias aumentaram com a distância a partir da palma, mas onde o solo era coberto por gramíneas, a quantidade de quaternárias diminuiu com a distância (Hartley, 1988). Também houve uma redução na quantidade de raízes no local de carreamento (Hartley, 1988).

A anatomia de raízes da palma de óleo foi estudada por Purvis (1956); Ruer (1967); Jourdan & Rey, (1997); Jourdan et al., (2000). A raiz primária apresenta epiderme externa e hipoderme lignificada em torno de um córtex com aerênquimas bem desenvolvidos. Dentro do córtex encontra-se o cilindro vascular, com 34-45 feixes vasculares. Tem como sua principal função a sustentação da planta, mas também podem participar da absorção de nutrientes e água, acessando as camadas mais profundas por meio das raízes mais finas oriundas das raízes primárias (Carvalho, 1991). As raízes secundárias e terciárias têm essencialmente a mesma estrutura das raízes primárias, mas com 15-25 e 8-12 feixes vasculares, respectivamente (Jourdan & Rey, 1997). Já as raízes quaternárias quase não apresentam a camada lignificada (Carvalho, 2000).

Sistemas radiculares geralmente são muito flexíveis e adaptam-se morfológicamente em resposta a condições físicas adversas. A inibição do alongamento da raiz devido a impedimento mecânico pode ser compensada por um aumento no diâmetro da raiz ou de ramificação do sistema radicular (Yahya et al., 2010). Geralmente, quando o comprimento da raiz primária diminui, o seu diâmetro aumenta, e o número de raízes laterais também aumenta. Bennie (1996) e Jungk (1996) descobriram que o diâmetro da raiz foi diretamente proporcional à resistência mecânica; assim, raízes mais curtas e maiores foram produzidas em solo compactado. Estas alterações parecem permitir que as plantas se adaptem a

condições adversas do solo. Plantas com raízes de maior diâmetro tendem a penetrar melhor em solos de alta resistência mecânica (Yahya et al., 2010).

As raízes crescem de acordo com a distância do lençol freático (Corley & Tinker, 2003). Lambourne (1935) verificou que em palmeiras (11 anos de idade) cujas raízes crescem em solo com lençol freático de apenas 1 metro de profundidade em relação a superfície do solo, as raízes primárias não penetraram a uma profundidade maior que 45 cm. Em contraste, em solos de drenagem livre, as raízes primárias podem se desenvolver a profundidades bem maiores. Na Nigéria, Purvis (1956) encontrou raízes a uma profundidade de cerca de 3 m, enquanto Jourdan & Rey (1997) observaram raízes primárias que se estenderam a uma profundidade de 6 m na Costa do Marfim.

Na Malásia, o volume de raízes primárias e secundárias foi reduzido em solos submetidos a compactação, havendo uma compensação por meio da produção de um maior volume de raízes de classes terciárias e quaternárias (Yahya et al., 2010). As raízes terciárias e quaternárias no solo compactado foram mais espessas do que aquelas em solos não compactados (Yahya et al., 2010).

As raízes primárias emergem da base do estipe em todos os ângulos, porém a maioria dos autores indicam uma distinção entre raízes verticais e horizontais, tendo uma pequena quantidade de raízes que crescem formando um ângulo de 45° como perfil do solo (Ruer, 1967). As primárias descendentes, que originam-se diretamente a partir da base da palma, são em menor número do que as primárias de superfície, e também possuem um menor volume de raízes secundárias.

4.6. Biomassa

Biomassa é definida como a massa orgânica por unidade de área, podendo ser expressa pelo peso de matéria seca, de matéria úmida e carbono (Odum, 1986). A biomassa está diretamente relacionada aos estoques de macro e micronutrientes de uma vegetação e também é usada para se estimar o balanço de carbono da interação biosfera-atmosfera (Higuchi, 2001). Houghton et al., (2009) afirmam que pelo menos 50% da biomassa vegetal é constituída de carbono.

Estimativas corretas de biomassa requerem amostragem destrutiva. Normalmente, a quantificação da biomassa aérea é realizada separadamente para cada componente (folhas, galhos, tronco), assim como geralmente é feito para a

biomassa de raízes. A separação e especificação desses componentes varia de acordo com o tipo de povoamento e os objetivos a serem alcançados. Essa variação pode incluir ou excluir alguns componentes específicos, tais como flores e frutos, ou detalhar outros, como raízes e ramos, subdividindo-os em raízes finas e raízes grossas, ramos com idades e espessuras diferentes (Campos, 1991).

A biomassa abaixo do solo de uma vegetação compreende todos os órgãos vivos localizados abaixo do nível do solo, tendo como função fixar a vegetação, captar e transferir recursos como água e nutrientes, além de estocar reservas (Aduan et al., 2003). Observa-se que grande parte da biomassa abaixo do solo se concentra a uma profundidade de 1 metro, sendo que isso varia entre espécies vegetais e profundidade do solo (Sanquetta et al., 2004).

De acordo com Cuevas et al. (1991), a alocação de matéria orgânica abaixo do solo é tão importante quanto a ciclagem de nutrientes e a disponibilidade de matéria orgânica acima do solo. Entretanto, apesar da sua importância na ciclagem de nutrientes, absorção de nutrientes e na biogeoquímica global, as raízes são pouco representadas em modelos globais (Jackson et al., 1997). A produção e a decomposição de raízes são fatores importantes na ciclagem do carbono fotossintetizado pelas plantas (Silver et al. 2005).

Em um estudo avaliando a biomassa abaixo do solo em plantio (idade?) de palma de óleo, Haniff et al., (2014) verificaram nos resultados que a biomassa foi significativamente afetada pelo clima seco do norte da Malásia. Os resultados mostraram que o incremento em biomassa, volume e produção de raízes exibem uma tendência irregular que foi influenciada pela variação da precipitação. Visto que a densidade de raízes mortas foi superior ao de emissões de raízes, durante uma severa seca que ocorreu em 2005.

Dufrene (1989) em seu estudo, obteve uma biomassa total de raízes de 31,5 Mg/ha para palma de óleo de 10 anos de idade na Costa do Marfim, enquanto Lamade & Setiyo (1996) encontraram apenas 14,1 Mg/ha para uma família e 9,7 Mg/ha para outra família de palma na Indonésia. Rees & Tinker (1963) obtiveram resultados de biomassa abaixo do solo de 16,4 Mg/ha palmas com 17 anos na Nigéria, enquanto Corley et al. (1971) obtiveram em seu estudo 7,5 Mg/ha com a mesma idade, na Malásia. Henson & Chai (1997) encontraram uma maior biomassa em um solo de aluvião costeiro (15,9 Mg/ha em 10 anos) do que em solos interiores (7,0-10,8 Mg/ha). No entanto, essa taxa de crescimento decresce com o tempo, mas

não é claro se essa taxa se mantém para além dos 8-10 anos, ou se, como ocorre como na biomassa foliar, onde a taxa de crescimento aumenta com a idade da planta (Corley & Tinker, 2003).

4.7.Método dos monólitos

Estimativas para estudos de biomassa acima do solo, baseadas em metodologias estabelecidas são abundantes, enquanto que para estimativas de biomassa radicular as metodologias são menos comuns (Cairns et al.,1997). Dentre as metodologias voltadas para o estudo de raízes o método dos monólitos sempre foi considerado como sendo uma metodologia padrão (Park et al., 2007). Muito útil em estudos sobre morfologia e distribuição de raízes finas (entre 2 e 1 mm) no perfil do solo, além de permitir uma avaliação completa contendo um maior volume de raízes por classe de diâmetro, entretanto, coleta de monólitos demanda muita mão-de-obra e tempo, o que geralmente dificulta a pesquisa (Böhm, 1979).

5.Material e Métodos

5.1.Caracterização da área

O estudo foi realizado na propriedade da empresa Marborges S/A (latitude 1°58'42" S e longitude 48°36'50" W) município de Moju (Figura 1), Estado do Pará, , entre setembro e novembro de 2015. O solo é do tipo Latossolo amarelo distrófico franco arenoso e o clima é do tipo equatorial, com pluviosidade média (1994 a 2010) de 2.890 mm, com estação mais chuvosa no primeiro semestre do ano.

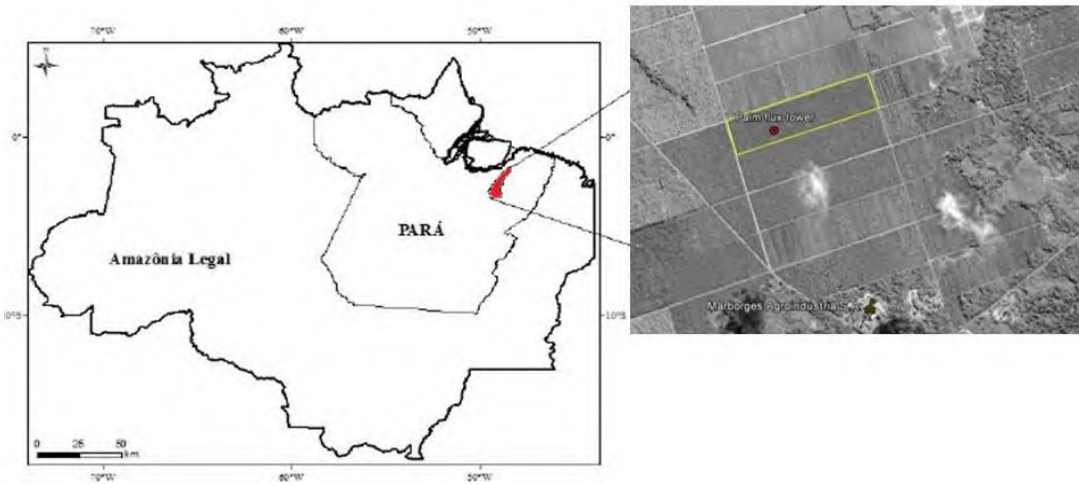


Figura 1: Mapa do Estado do Pará e imagem de satélite da empresa Marborges S/A. Em amarelo a parcela experimental.

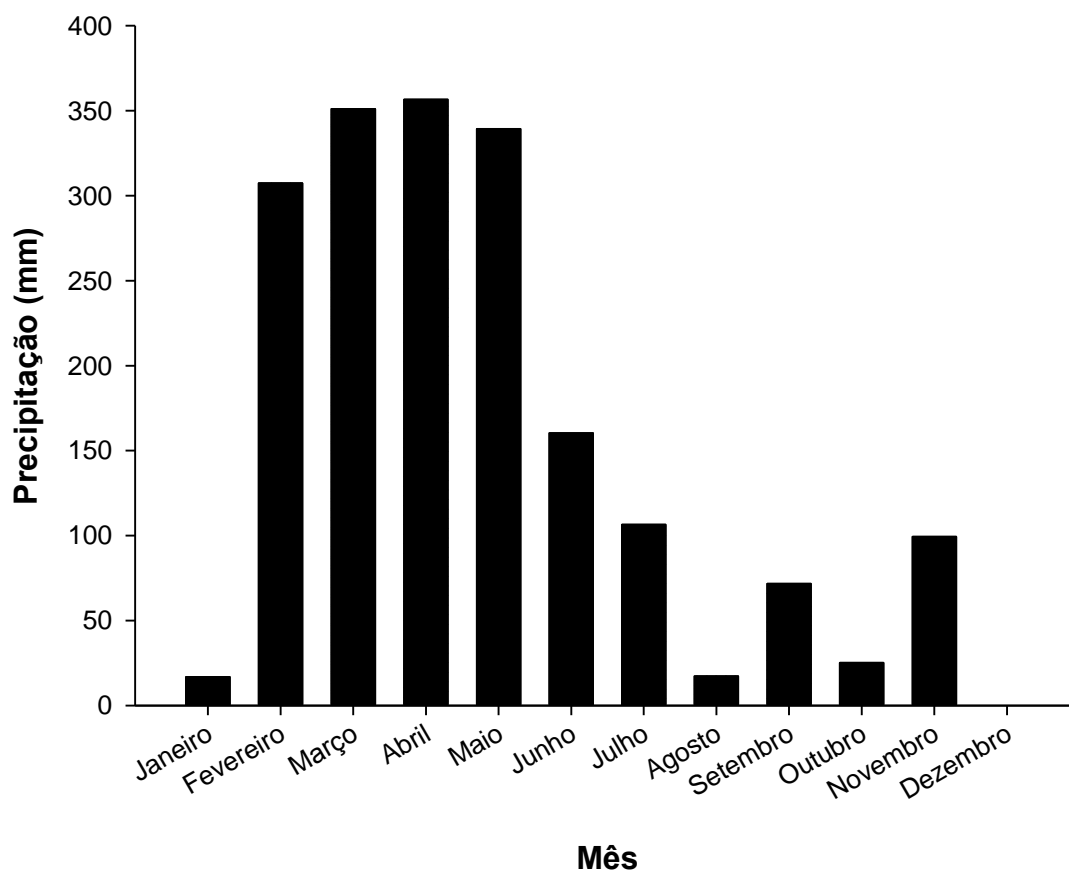


Figura 2: Precipitação acumulada no ano de 2015 na área do experimento.

5.2. Histórico da área

O experimento foi conduzido na Parcela C22 (Figura 1), da empresa Marborges S/A, que constitui de um ensaio de progênes de Híbrido Interespecífico, cultivar BRS Manicoré, implantado em 2007. Este plantio foi realizado após a remoção de um cultivo de palma de óleo africana (*E. guineensis*), em 2007. As plantas foram retiradas e nos espaços entre plantas onde havia a cultivar Africana foi realizado um novo plantio, sendo este com HIE BRS Manicoré, com diferentes materiais genéticos plantados em cada linha.

Os tratos culturais realizados na parcela C22 consistiram nas mesmas práticas culturais usadas em plantios do intraespecífico, incluindo roçagem mecanizada, realizada 2 vezes ao ano, e controle químico de invasoras anualmente. A frequência da poda das folhas foi de 2 vezes ao ano. A colheita foi realizada a cada 12-15 dias, sendo os cachos removidos do plantio por meio de tração animal. Anualmente distribuíram-se mecanicamente 3,8 toneladas de adubo NPK (15:9:20) na região entre plantas. A polinização assistida, prática necessária em plantios de HIE, foi realizada a cada dois dias.

5.3. Coleta de raízes

Em agosto de 2015, foram selecionadas ao acaso 4 plantas, com atributos morfológicos e vegetativos similares, sendo cada planta de famílias distintas (Figura 3).



Figura 3: Desenho esquemático da Parcela C22. Círculos pretos indicam as plantas coletadas para o estudo de raízes, cujas identificações estão em vermelho.

Para a coleta de raízes foi utilizado o método dos monólitos (Böhm, 1979). Após a coleta da biomassa da parte aérea, foram escavadas duas trincheiras por planta, sendo uma entre plantas (TP) e outra perpendicular ao carregador (TC) (Figura 4). As trincheiras foram escavadas com retroescavadeira acoplada a um trator. Cada trincheira com 4 metros de comprimento, 50 centímetros de largura e 3 metros de profundidade. Neste estudo, avaliamos apenas as trincheiras entre plantas, a uma profundidade de 0-60 cm.

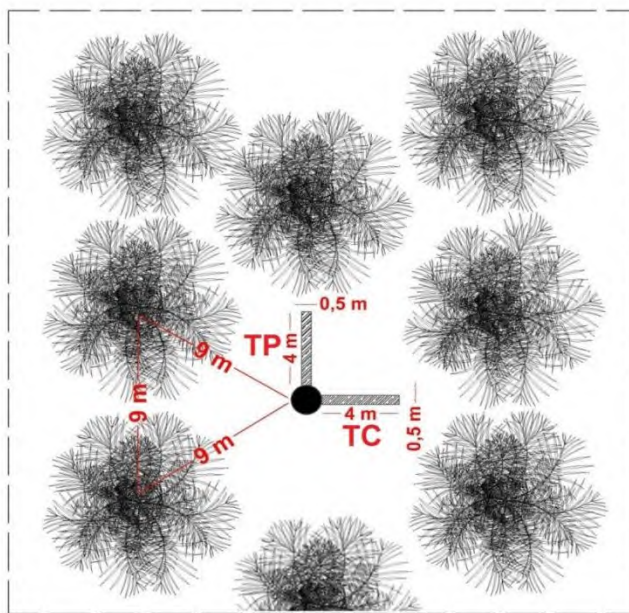


Figura 4: Vista superior da disposição das trincheiras em relação às plantas de palma de óleo. Sendo TP, trincheira entre plantas e TC, trincheira do carregador.

Monólitos de 50 cm de comprimento e 30 cm de largura foram coletados em diferentes camadas ao longo do perfil e também a diferentes distâncias a partir da base da planta (Figura 5). Dessa forma, foram coletados 8 monólitos em cada camada nas profundidades 0-15 cm (camada A), 15-30 cm (camada B) e 30-60 cm (camada C).

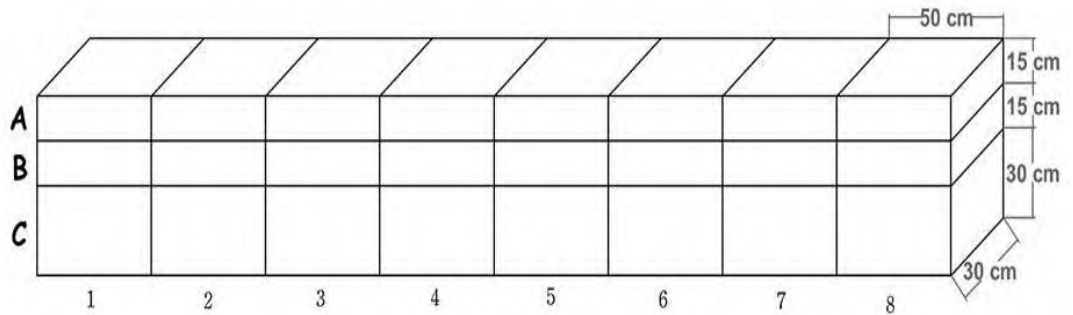


Figura 5: Desenho esquemático da disposição dos monólitos coletados na trincheira e dimensões. Sendo A camada de 0-15 cm, B, Camada de 15-30 e C, camada de 30-60 cm. Os números de 1 a 8, representam o numero do monólito coletado, sendo estes retirados a cada 50 cm de distância em relação a planta.

Uma vez coletados, os monólitos foram mantidos em sacos de 60 kg tipo rafia em local sombreado e arejado. Em no máximo 3 dias após a coleta, as amostras foram colocadas sobre uma tela com 1 m² de área e malha de 2 mm (Figura 6) e lavadas com jato de água corrente com pressão moderada para minimizar danos as raízes.

Após a remoção do solo, todo material vegetal retido na malha de 2 mm foi armazenado em sacos plásticos e mantido sob refrigeração (aproximadamente 4° C) até o processamento no Laboratório de Análise de Sistemas Sustentáveis (LASS) da Embrapa Amazônia Oriental, em Belém.



Figura 6: Lavagem dos monólitos

O processamento em laboratório consistiu de separação, secagem em estufa de circulação forçada de ar e pesagem das raízes. Estas, foram separadas em três classes de diâmetro, sendo classificadas em primárias (diâmetro entre 5 e 10 mm), secundárias (diâmetro entre 1 e 4,9 mm) e terciárias (diâmetro entre 0,5-0,9 mm) (Figura 7). A classificação das raízes nessas classes de diâmetro foi baseada em uma adaptação de Corley & Tinker (2003). Após a separação, uma subamostra de raízes (de aproximadamente 100 g) obtidas de cada monólito foi digitalizada com *scanner* (Marca Canon, Modelo 280 pix), gerando imagens (resolução 319x418 dpi) das raízes de cada classe de diâmetro. As imagens foram editadas utilizando o programa IMAGEJ® V1.0 para conversão em imagens binárias (Figura 8). Em seguida, processadas no programa SAFIRA® V1.1 para estimar o comprimento. Finalmente, todas as amostras (incluindo as subamostras usadas para determinação do comprimento) foram secas em estufa, a 65 °C, por 96 horas e pesadas em uma balança com precisão de quatro casas decimais.



Figura 7- Mensuração do diâmetro das raízes utilizando um parquímetro digital.

Os valores estimados pelo software SAFIRA V1.1 foram ajustados usando-se fatores de correção, determinados comparando-se o comprimento nominal de fios com diâmetro conhecido (dentro de cada classe de diâmetro) e o comprimento estimado pelo software. Para obtenção dos fatores de correção, foi realizado um

ensaio com 10 repetições de fios de *nylon* com diâmetros de 7,06 mm, 2,84mm e 0,82 mm. Para cada classe diâmetro, a diferença entre o comprimento nominal e o comprimento estimado pelo software SAFIRA foi expressa em porcentagem e usada para corrigir as estimativas das amostras. O software SAFIRA superestimou o diâmetro das raízes primárias em 4,22%, das secundárias em 2,22% e das terciárias em 4,74%.



Figura 8: Imagem digitalizada em *scanner* de subamostra de raízes primárias (a) e respectiva imagem binária obtida após processamento no *software* ImageJ (b).

Os valores de massa seca de raízes de cada monólito foram usados para estimar a massa total de raízes de cada planta, assumindo-se que a distribuição do sistema radicular é homogêneo ao redor da planta. A extrapolação do valor do monólito para o total ao redor da planta foi realizado de acordo com Cuesta et al. (1997), com base em anéis (coroas circulares) delimitados por dois círculos concêntricos de “espessura” igual ao comprimento do respectivo monólito (Figura 9). A partir da massa seca de raízes presente em cada volume de monólito (cm^3 de solo), foi calculada a densidade de massa de raízes. O volume total do anel correspondente a um dado monólito foi calculado com a equação $V = (\pi \times R^2 - \pi \times r^2) \times h$, em que: R é a distância do maior anel em relação a planta, r é a menor distância da circunferência e h é a profundidade.

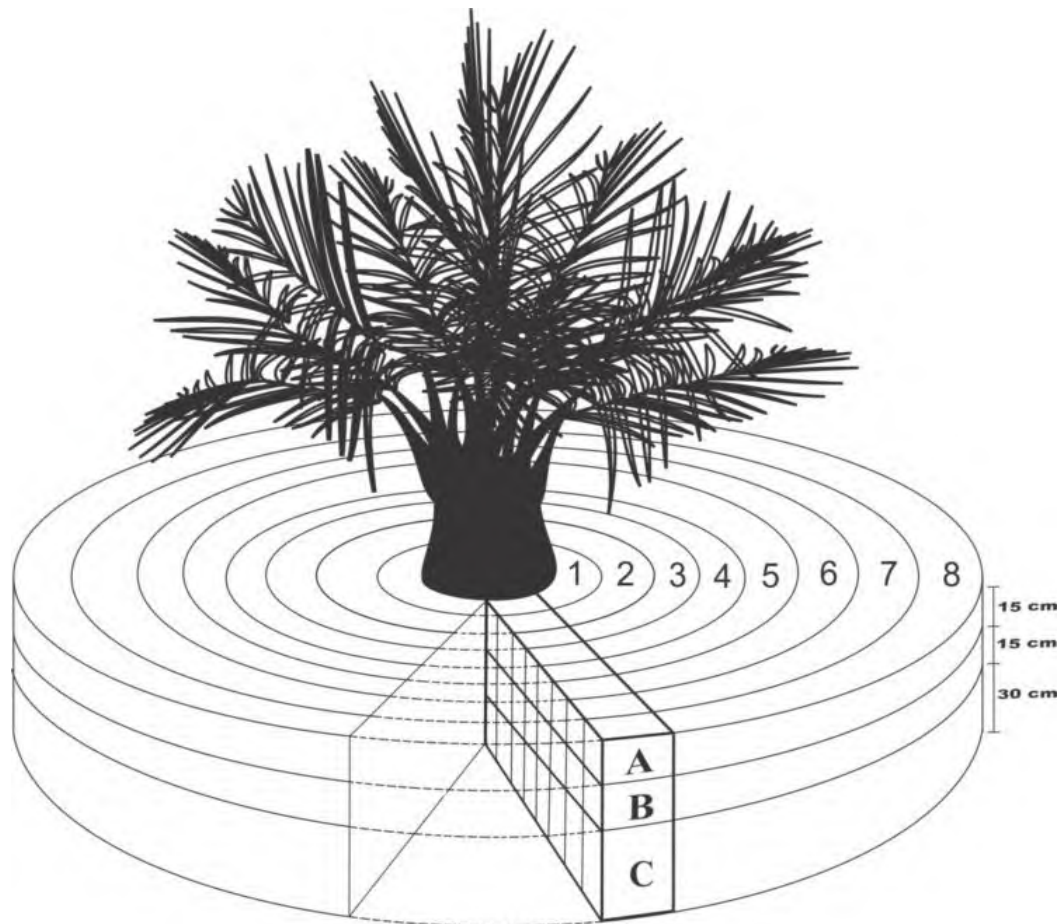


Figura 9: Esquema de anéis concêntricos para cálculo de biomassa total.

6. Análise Estatística

A densidade de massa de raízes foi expressa em mg/cm^3 e a densidade de comprimento de raízes em cm/cm^3 . A biomassa total de raízes foi expressa em kg/planta e Mg/ha e o comprimento total de raízes foi expresso em km/planta e km/ha . Com ANOVA de dois critérios, foram testados os efeitos de distância da palma, profundidade do solo e interação entre distância e profundidade sobre a densidade de massa e de comprimento de raízes, separadamente para cada classe de raiz.

Quando necessário, os dados foram transformados (raiz quadrada, Log_{10}) para atender aos requisitos de normalidade e homogeneidade de variância da estatística paramétrica. A análise não-paramétrica foi usada quando os dados transformados não atenderam os requisitos da estatística paramétrica. Para

comparação de médias, aplicou-se o teste Tukey ($p \leq 0,05$). As análises foram conduzidas com o *software* SigmaPlot 11.0.

7.Resultados

7.1.Densidade de massa de raiz (DMR)

A densidade de massa de raízes (DMR) primárias não variou significativamente com a distância nas profundidades de 0-15 e 15-30 cm (Tabela 1), sendo verificada diferença significativa para essas duas profundidades apenas quando se comparou cada distância da planta entre as profundidades. Entretanto, na profundidade de 15-30 cm, os valores de densidade de massa de raiz diferem significativamente entre as distâncias 0-50 e 350-400 cm, mas não houve variação significativa entre as demais distâncias. A DMR de primárias diferiu significativamente entre as profundidades de 15-30 e 30-60 cm no intervalo de 0-150 cm distante da palma de óleo, e na distância 300-350 cm, sendo a profundidade de 15-30 cm a que concentrou os maiores valores de DMR de primárias. Nas demais distâncias, não houve diferença significativa entre estas duas profundidades. Comparando a profundidade de 15-30 com a profundidade de 0-15 cm, a profundidade de 0-15 cm apresentou valores significativamente superiores apenas na distância de 150-200 cm. No entanto, não foi encontrada diferença significativa entre estas duas profundidades nas demais distâncias avaliadas. De forma geral, a densidade de massa de raízes primárias exibiu uma tendência, em que a densidade de raízes foi maior na profundidade de 15-30 cm, do que na profundidade de 30-60 cm (exceção das distâncias entre 150 a 300 e 350-400 cm da planta), porém não diferiu estatisticamente da DMR na profundidade de 0-15 cm (exceção da distância 150-200 cm).

A densidade de massa de raízes (DMR) de secundárias variou significativamente entre as distâncias da planta nas profundidades 0-15 e 30-60 cm (Tabela 1). Na profundidade de 0-15 cm, as distâncias de 0-50 e 100-150 cm apresentaram valores de densidade significativamente superiores aos encontrados nas distâncias 250-300 e 350-400 cm, não havendo diferença significativa entre as demais distâncias dentro desta camada de solo (0-15 cm). Na profundidade de 30-

60 cm, a distância 0-50 cm apresentou valores significativamente superiores aos encontrados na distância de 300-350 cm; para as demais distâncias, não houve diferença estatística significativa. Comparando a densidade entre as profundidades, não houve diferença significativa na densidade de massa de raízes, com exceção da profundidade de 0-15 cm, que na distância de 300-350 cm, apresentou valores de densidade significativamente superior aos de densidade na profundidade de 30-60 cm.

A DMR de terciárias não variou significativamente ao longo do perfil, em nenhuma profundidade, sendo verificada uma diferença significativa apenas quando se compara cada distância da planta entre as profundidades. Entretanto, dentro da profundidade de 0-15 cm, a DMR de terciárias foi maior do que na profundidade de 30-60 cm, sendo esta diferença verificada em todo o perfil (0-400 cm). Na profundidade de 15-30 cm apenas nas distâncias de 0-50 e 200-250 cm a variação foi significativa.

A densidade total de raízes (soma dos valores de primária, secundária e terciária nas profundidades de 0-60 cm) a distância de 0-50 cm representa 58% da densidade total de massa de raízes na profundidade de 0-15 cm, e difere significativamente das demais distâncias (50-400 cm). A partir dos 50 cm, esta representatividade diminui para 10% da densidade total, não havendo diferença significativa entre as demais. Na profundidade de 15-30 cm apresenta diferença significativa apenas na distância de 0-50 cm. As demais distâncias (50-400 cm) não diferem significativamente entre si. Na profundidade de 30-60 cm a densidade total de raízes apresentou diferença significativa apenas entre a distância 0-50 cm, onde os valores de densidade foram significativamente superiores aos encontrados na distância 300-350 cm desta mesma profundidade.

As três classes de raízes na profundidade de 0-15 cm variam a medida que se distancia da planta, sendo que na distância de 0-50 desta profundidade, as raízes primárias apresentam valores de DMR significativamente superiores aos encontrados para raízes secundárias e terciárias (Figura 1).

Na profundidade de 15-30, o alto valor de densidade de massa de raízes primárias ocorreu em todas as distâncias avaliadas (0-400 cm), sendo superior significativamente as demais classes de raízes, com exceção na distância de 50-100, em que a densidade de primárias não difere significativamente da encontrada para raízes secundárias. A medida que se distancia da planta, a densidade de

massa de raízes primárias diminui gradativamente, havendo diferença significativa entre as distâncias 0-50 e 350-400 cm (Tabela 1).

A profundidade de 30-60 apresenta os menores valores de densidade de massa de raiz (Tabela 1), sendo os valores de densidade de primárias significativamente menores aos encontrados na profundidade de 15-30 cm em 4 das 8 distâncias avaliadas em relação a planta. Também não difere significativamente da densidade de massa de raízes secundárias em todo o perfil do solo, diferindo das terciárias em apenas algumas distâncias da planta (0-50, 200-250 cm). Considerando-se todo o perfil avaliado (0-60 cm), a DMR de secundárias não difere significativamente entre as profundidades, com exceção da DMR na distância de 300-350 cm em relação a planta, que foi maior na profundidade de 0-15 cm do que de 30-60. A DMR de raízes terciárias, foi significativamente superior nos primeiros 100 cm de distância da planta e na distância entre 200-300 cm .

Tabela-1: Densidade de massa de raízes primárias ($\Phi \geq 5$ mm), secundárias ($\Phi = 1 - 4,9$ mm) e terciárias ($\Phi = 0,5 - 0,9$ mm) em função da distância a partir do colo da palma de óleo em diferentes camadas do solo. Raízes totais são a soma das médias das três classes de raízes. Dados são média \pm erro padrão (n=4). Letras maiúsculas comparam as distâncias dentro de cada profundidade, e as letras minúsculas comparam cada distância entre as profundidades (Tukey, 5%)

Distância da palma (cm)	Camada de solo (cm)		
	0-15	15-30	30-60
Raízes Primárias (mg/cm³)			
0-50	14,98 \pm 8,34 Aab	14,50 \pm 2,62 Aa	0,61 \pm 0,18 Ab
50-100	1,27 \pm 0,57 Aab	11,92 \pm 2,98 ABa	0,44 \pm 0,24 Ab
100-150	0,93 \pm 0,40 Aab	5,68 \pm 1,49 ABa	0,30 \pm 0,25 Ab
150-200	0,24 \pm 0,21 Ab	3,28 \pm 0,88 ABa	0,32 \pm 0,19 Aab
200-250	0,60 \pm 0,53 Aa	2,18 \pm 0,65 ABa	0,30 \pm 0,16 Aa
250-300	0,41 \pm 0,17 Aa	1,39 \pm 0,49 ABa	0,10 \pm 0,06 Aa
300-350	0,23 \pm 0,15 Aab	1,48 \pm 0,51 ABa	0,09 \pm 0,08 Ab
350-400	0,24 \pm 0,10 Aa	1,12 \pm 0,39 Ba	0,16 \pm 0,13 Aa
Raízes Secundárias (mg/cm³)			
0-50	3,03 \pm 0,64 Aa	2,23 \pm 0,59 Aa	0,99 \pm 0,36 Aa
50-100	1,54 \pm 0,57 ABa	2,76 \pm 0,84 Aa	0,78 \pm 0,27 ABa
100-150	1,70 \pm 0,54 Aa	1,24 \pm 0,34 Aa	0,54 \pm 0,12 ABa
150-200	1,06 \pm 0,26 ABa	1,02 \pm 0,27 Aa	0,48 \pm 0,13 ABa
200-250	1,15 \pm 0,66 ABa	0,95 \pm 0,29 Aa	0,57 \pm 0,17 ABa
250-300	0,60 \pm 0,12 Ba	0,59 \pm 0,18 Aa	0,36 \pm 0,09 ABa
300-350	0,59 \pm 0,09 ABa	0,54 \pm 0,13 Aab	0,18 \pm 0,07 Bb
350-400	0,57 \pm 0,23 Ba	0,62 \pm 0,12 Aa	0,19 \pm 0,04 ABa
Raízes Terciárias (mg/cm³)			
0-50	0,46 \pm 0,14 Aa	0,13 \pm 0,03 Ab	0,07 \pm 0,03 Ab
50-100	0,37 \pm 0,10 Aa	0,11 \pm 0,02 Aab	0,07 \pm 0,03 Ab
100-150	0,29 \pm 0,10 Aa	0,11 \pm 0,4 Aab	0,06 \pm 0,02 Ab
150-200	0,36 \pm 0,09 Aa	0,11 \pm 0,02 Aab	0,07 \pm 0,01 Ab
200-250	0,20 \pm 0,07 Aa	0,11 \pm 0,03 Ab	0,07 \pm 0,01 Ab
250-300	0,30 \pm 0,11 Aa	0,10 \pm 0,03 Aab	0,07 \pm 0,02 Ab
300-350	0,25 \pm 0,07 Aa	0,09 \pm 0,03 Ab	0,05 \pm 0,01 Ab
350-400	0,20 \pm 0,09 Aa	0,10 \pm 0,03 Aab	0,03 \pm 0,00 Ab
Raízes Totais (mg/cm³)			
0-50	18,48 \pm 9,14 Aa	16,87 \pm 3,24 Aa	1,67 \pm 0,57 Ab
50-100	3,19 \pm 1,25 Bb	14,79 \pm 3,84 ABCa	1,29 \pm 0,54 ABb
100-150	2,94 \pm 1,05 Ba	7,03 \pm 1,87 ABCa	0,90 \pm 0,40 ABb
150-200	1,67 \pm 0,56 Bab	4,41 \pm 1,16 ABCa	0,87 \pm 0,33 ABb
200-250	1,96 \pm 1,26 Ba	3,25 \pm 0,97 BCa	0,94 \pm 0,35 ABa
250-300	1,30 \pm 0,40 Bab	2,07 \pm 0,70 Ca	0,50 \pm 0,16 ABb
300-350	1,07 \pm 0,31 Ba	2,12 \pm 0,67 Cb	0,32 \pm 0,16 Bb
350-400	1,02 \pm 0,42 Bab	1,84 \pm 0,54 Ca	0,38 \pm 0,17 ABb

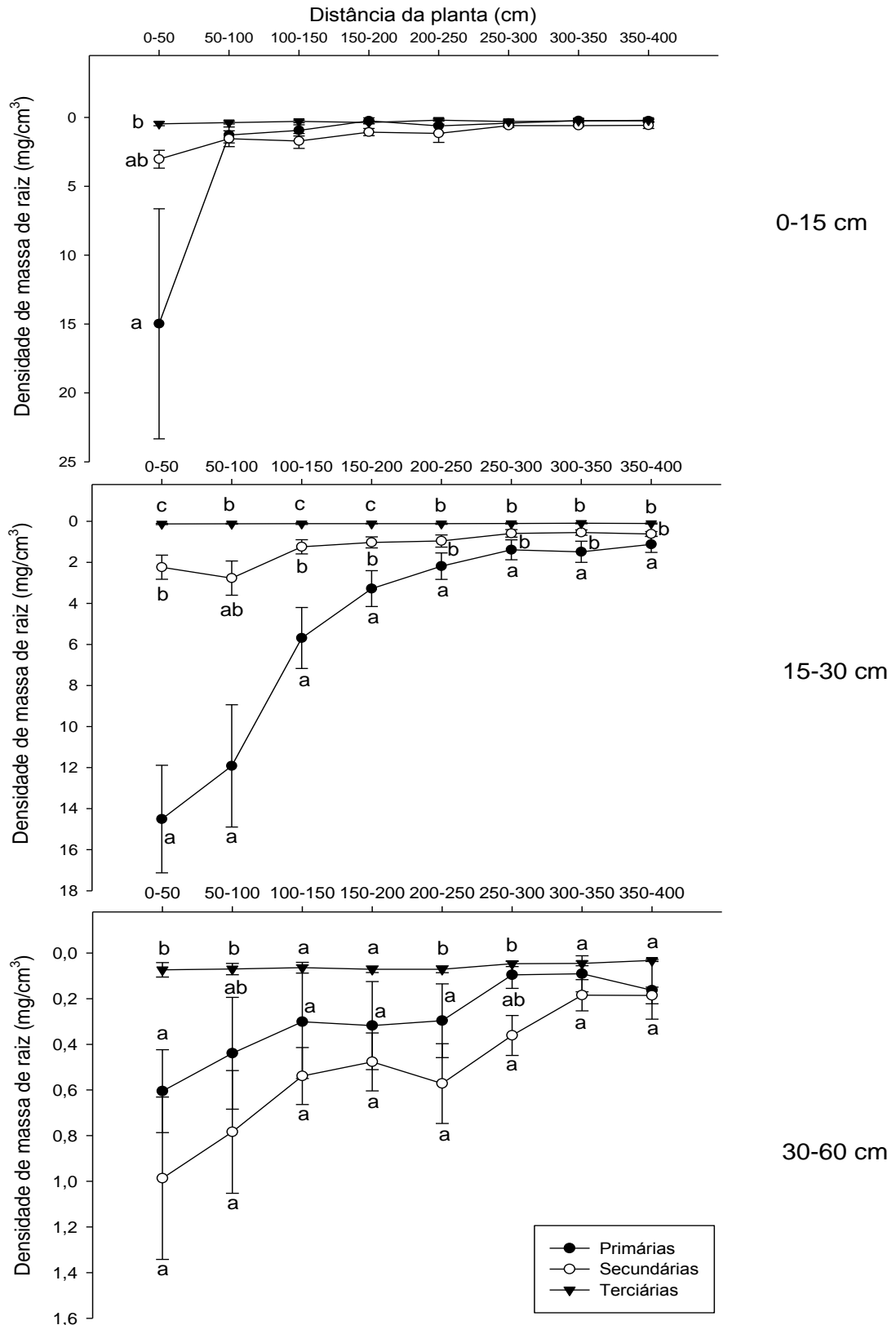


Figura 10- Densidade de massa de raízes primárias ($\Phi \geq 5$ mm), secundárias ($\Phi = 1- 4,9$ mm) e terciárias ($\Phi = 0,5 - 0,9$ mm) em função das distâncias a partir do colo da planta de palma de óleo, em diferentes profundidades de amostragem. Letras minúsculas comparam as classes de raízes em cada distância da planta (tukey a 5%). Dados são média \pm erro padrão (n=4).

7.2.Densidade de comprimento de raiz (DCR)

Na profundidade de 0-15 cm, a densidade de comprimento de raízes (DCR) primárias, secundárias e terciárias não variou significativamente ao longo das distâncias. No intervalo 0-100 cm a partir da base da planta, não houve diferença significativa de DCR entre as diferentes classes de raízes. Entretanto, à medida que se aumenta a distância a partir dos 100 cm, a DCR de terciárias apresenta valores significativamente superiores aos de primárias no intervalo de 100 a 350 cm distante da planta. As secundárias diferem significativamente das raízes primárias apenas nas distâncias de 100-150 cm. E também, das raízes terciárias, com valores inferiores na distância de 300-350 cm da planta.

Na profundidade de 15-30 cm, a DCR de secundárias e terciárias não variou significativamente entre as distâncias a partir da base da planta. A DCR de primárias foi significativamente maior a 0-50 cm do que a 350-400 cm. Fazendo uma relação entre as 3 classes de raízes dentro desta profundidade, a DCR de terciárias foi significativamente superior ao de primárias a partir dos 200 cm de distância da planta. As secundárias foram significativamente superiores as demais classes de diâmetro nas distâncias de 200-250 e 300-400 cm.

Na profundidade de 30-60 cm, a DCR não diferiu significativamente entre classes de raízes em nenhuma distância da planta. Comparando-se as 3 classes de raízes nesta profundidade, a DCR de terciárias apresentou valores significativamente superiores aos de primárias, em todo o perfil do solo, com exceção da distância 50-100 cm. As raízes secundárias apresentaram valores significativamente superiores aos de primárias, com exceção na distância de 50-100 cm. No geral, não houve diferença significativa entre a DCR de primárias e secundárias, exceto na distância de 200-250 cm, em que os valores de secundárias foram significativamente inferiores aos de terciárias.

Tabela-2: Densidade de comprimento de raízes primárias ($\Phi \geq 5$ mm) secundárias ($\Phi = 1 - 4,9$ mm) e terciárias ($\Phi = 0,5 - 0,9$ mm) em função da distância a partir do colo da palma de óleo em diferentes camadas do solo. Raízes totais são a soma das médias das três classes de raízes. Dados são média \pm erro padrão (n=4). Letras maiúsculas comparam as distâncias dentro de cada profundidade, e as letras minúsculas comparam cada distância (tukey a 5%).

Distância da palma (cm)	Camada de solo (cm)		
	0-15	15-30	30-60
Raízes Primárias (cm/cm ³)			
0-50	0,1567 \pm 0,0934 Aa	0,1699 \pm 0,0360 Aa	0,0156 \pm 0,0033 Aa
50-100	0,0372 \pm 0,0223 Aab	0,1231 \pm 0,0338 ABa	0,0100 \pm 0,0057 Ab
100-150	0,0081 \pm 0,0031 Ab	0,0576 \pm 0,0151 ABa	0,0096 \pm 0,0047 Aab
150-200	0,0066 \pm 0,0058 Aa	0,0438 \pm 0,0118 ABa	0,0087 \pm 0,0052 Aa
200-250	0,0080 \pm 0,0068 Aa	0,0302 \pm 0,0080 ABa	0,0084 \pm 0,0048 Aa
250-300	0,0093 \pm 0,0047 Aa	0,0222 \pm 0,0095 ABa	0,0047 \pm 0,0022 Aa
300-350	0,0035 \pm 0,0020 Aa	0,0203 \pm 0,0067 ABa	0,0023 \pm 0,0020 Aa
350-400	0,0042 \pm 0,0018 Aa	0,0173 \pm 0,0050 Ba	0,0068 \pm 0,0054 Aa
Raízes Secundárias (cm/cm ³)			
0-50	0,2275 \pm 0,0775 Aa	0,2379 \pm 0,0632 Aa	0,0912 \pm 0,0151 Aa
50-100	0,0842 \pm 0,0159 Aa	0,3141 \pm 0,1412 Aa	0,1434 \pm 0,0367 Aa
100-150	0,2073 \pm 0,0928 Aa	0,1369 \pm 0,0461 Aa	0,0836 \pm 0,0207 Aa
150-200	0,0917 \pm 0,0478 Aa	0,1209 \pm 0,0388 Aa	0,0751 \pm 0,0180 Aa
200-250	0,0643 \pm 0,0374 Aa	0,1190 \pm 0,0218 Aa	0,1181 \pm 0,0260 Aa
250-300	0,0557 \pm 0,0196 Aa	0,0467 \pm 0,0096 Aa	0,0711 \pm 0,0135 Aa
300-350	0,0573 \pm 0,0091 Aa	0,0758 \pm 0,0178 Aa	0,0489 \pm 0,0122 Aa
350-400	0,0781 \pm 0,0265 Aa	0,0813 \pm 0,0244 Aa	0,0443 \pm 0,0050 Aa
Raízes Terciárias (cm/cm ³)			
0-50	0,9757 \pm 0,4460 Aa	0,1369 \pm 0,0270 Aab	0,1680 \pm 0,0784 Ab
50-100	0,6063 \pm 0,1938 Aa	0,1736 \pm 0,1060 Ab	0,1777 \pm 0,0637 Aab
100-150	0,6368 \pm 0,4530 Aa	0,1083 \pm 0,0413 Aa	0,1637 \pm 0,0515 Aa
150-200	0,5711 \pm 0,2452 Aa	0,1144 \pm 0,0244 Aa	0,1779 \pm 0,0352 Aa
200-250	0,2061 \pm 0,0778 Aa	0,1271 \pm 0,0416 Aa	0,1551 \pm 0,0415 Aa
250-300	0,6524 \pm 0,3940 Aa	0,1008 \pm 0,0267 Aa	0,1251 \pm 0,0315 Aa
300-350	0,2998 \pm 0,1107 Aa	0,0904 \pm 0,0209 Aa	0,1317 \pm 0,0273 Aa
350-400	0,1774 \pm 0,0633 Aa	0,0988 \pm 0,0280 Aa	0,0923 \pm 0,0178 Aa
Raízes Totais (cm/cm ³)			
0-50	1,3598 \pm 0,6168 Aa	0,5447 \pm 0,1261 Aab	0,2748 \pm 0,0968 Ab
50-100	0,7277 \pm 0,2321 Aa	0,6108 \pm 0,2810 Aa	0,3312 \pm 0,1061 Aa
100-150	0,8523 \pm 0,5489 Aa	0,3028 \pm 0,1024 Aa	0,2568 \pm 0,0769 Aa
150-200	0,6695 \pm 0,2989 Aa	0,2791 \pm 0,0750 Aa	0,2617 \pm 0,0583 Aa
200-250	0,2784 \pm 0,1220 Aa	0,2763 \pm 0,0714 Aa	0,2816 \pm 0,0722 Aa
250-300	0,7174 \pm 0,4183 Aa	0,1697 \pm 0,0459 Aa	0,2008 \pm 0,0473 Aa
300-350	0,3605 \pm 0,1217 Aa	0,1865 \pm 0,0455 Aa	0,1865 \pm 0,0415 Aa
350-400	0,2597 \pm 0,0916 Aa	0,1974 \pm 0,0574 Aa	0,1434 \pm 0,0282 Aa

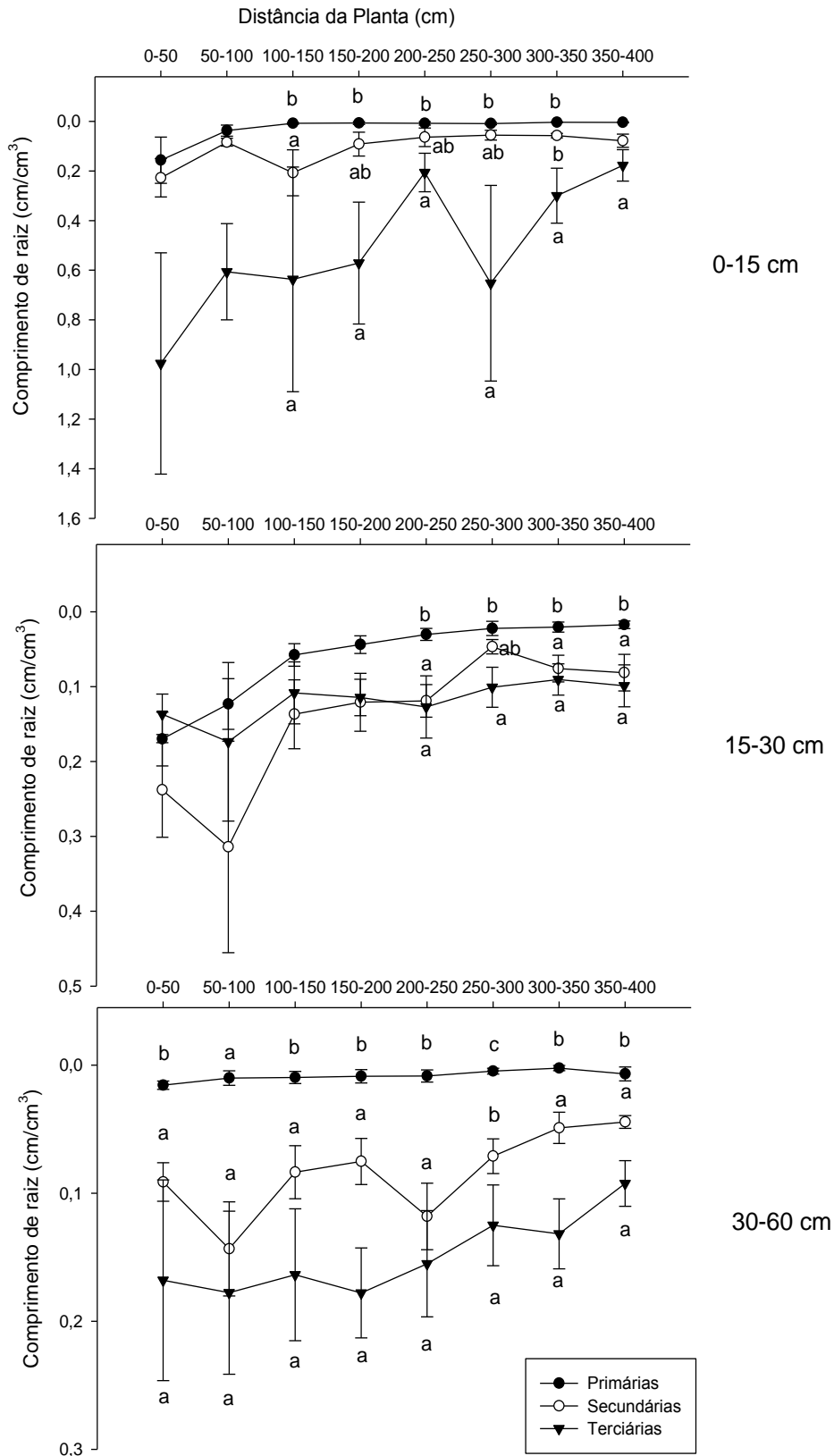


Figura 11- Densidade de massa de raiz em mg/cm^3 as distâncias a partir da base da planta em diferentes profundidades de amostragem. Raízes primárias ($\Phi \geq 5$ mm), secundárias ($\Phi = 1- 4,9$ mm) e terciárias ($\Phi = 0,5 - 0,9$ mm). Letras minúsculas comparam as classes de diâmetro em cada distância (tukey a 5%). Dados são média \pm erro padrão (n=4).

7.3. Relação comprimento/massa

De forma geral, a relação comprimento/massa variou significativamente entre as classes de raízes em todas as profundidades e em todas as distâncias a partir da base da planta (Figura 12). Nos primeiros 15 cm de solo (camada 0-15 cm), as raízes primárias exibem uma variação constante de relação massa/comprimento (Tabela 3), que não difere significativamente entre as distâncias da planta, sendo a única diferença significativa encontrada na distância 100-150, que apresenta valor significativamente maior do que na distância 150-200 cm. A relação comprimento/massa de raízes secundárias foi significativamente superior nas distâncias 100-150 e de 150-250 cm, sendo que as demais não diferiram significativamente entre si. Não houve variação significativa na relação comprimento/massa de raízes terciárias nesta profundidade em relação as distâncias da planta. Comparando-se as 3 classes de raízes (Figura 3), as raízes terciárias apresentam valores significativamente superiores aos de raízes primárias em praticamente todas as distâncias da planta; apenas na distância entre a 200-250 cm não houve diferença significativa entre estas duas classes. O mesmo resultado pode ser verificado quando se compara esta relação (comprimento/massa) entre as classes terciárias e secundárias. As secundárias exibem valores significativamente superiores aos da classe primária nas distâncias 0-50, 100-150, e no intervalo de 250-400 cm. Nas demais distâncias, não houve diferença significativa estas duas classes de raízes.

Na profundidade de 15-30 cm, não houve diferença significativa de relação comprimento/massa entre as distâncias da planta, para nenhuma das classes de raízes. Entretanto, comparando-se as 3 classes de raízes nesta profundidade, a relação comprimento/massa foi significativamente maior nas raízes terciárias do que nas demais classes de raízes, com exceção na distância 50-100 cm, em que as terciárias, não diferiram significativamente das secundárias nesta distâncias. As secundárias apresentaram razão comprimento/massa significativamente superior aos de primárias em todo o perfil do solo (0-400 cm distante da planta).

Na profundidade de 30-60 cm, assim como na de 15-30 cm, a relação comprimento/massa não variou significativamente entre as distâncias da planta, em nenhuma das classes de raízes. Comparando-se as 3 classes de raízes dentro desta profundidade, a relação comprimento/massa de raízes terciárias foi

significativamente maior do que a de primárias, em todo o perfil do solo. A relação comprimento/massa diferiu significativamente entre raízes terciárias e secundárias nas distâncias 0-50, 100-150, e 200-300 cm. As demais classes de raízes não diferiram significativamente. Houve diferença significativa da relação comprimento/massa de secundárias e primárias apenas nas distâncias 0-50 e 200-250 cm.

Tabela-3: Relação comprimento/massa de raízes primárias ($\Phi \geq 5$ mm) secundárias ($\Phi = 1 - 4,9$ mm) e terciárias ($\Phi = 0,5 - 0,9$ mm) em função da distância a partir do colo da palma de óleo em diferentes camadas do solo. Dados são média \pm erro padrão (n=4). Letras maiúsculas comparam as distâncias dentro de cada profundidade, e as letras minúsculas comparam cada distância (tukey a 5%).

Distância da palma (cm)	Camada de solo (cm)		
	0-15	15-30	30-60
Raízes Primárias (m/g)			
0-50	0,10 \pm 0,01 ABa	0,12 \pm 0,02 Aa	0,16 \pm 0,05 Aa
50-100	0,36 \pm 0,29 ABa	0,11 \pm 0,01 Aa	0,09 \pm 0,03 Aa
100-150	0,14 \pm 0,05 Aab	0,11 \pm 0,03 Aa	0,71 \pm 0,62 Ab
150-200	0,13 \pm 0,07 Ba	0,14 \pm 0,01 Aa	0,10 \pm 0,03 Aa
200-250	0,07 \pm 0,04 ABa	0,14 \pm 0,01 Aa	0,10 \pm 0,03 Aa
250-300	0,15 \pm 0,06 ABa	0,15 \pm 0,01 Aa	0,39 \pm 0,30 Aa
300-350	0,13 \pm 0,05 ABa	0,13 \pm 0,01 Aa	0,06 \pm 0,03 Aa
350-400	0,13 \pm 0,04 ABa	0,17 \pm 0,02 Aa	0,15 \pm 0,05 Aa
Raízes Secundárias (m/g)			
0-50	0,76 \pm 0,18 ABa	1,10 \pm 0,23 Aa	0,62 \pm 0,17 Ba
50-100	0,79 \pm 0,30 ABa	1,09 \pm 0,19 Aa	1,04 \pm 0,13 ABa
100-150	1,32 \pm 0,48 ABa	1,18 \pm 0,33 Aa	0,79 \pm 0,08 ABa
150-200	0,71 \pm 0,20 Ba	1,09 \pm 0,17 Aa	0,81 \pm 0,04 ABa
200-250	0,43 \pm 0,17 Bb	1,46 \pm 0,24 Aa	1,16 \pm 0,16 ABab
250-300	0,85 \pm 0,18 ABa	0,93 \pm 0,23 Aa	1,06 \pm 0,16 ABa
300-350	1,02 \pm 0,22 ABa	1,42 \pm 0,22 Aa	1,54 \pm 0,31 Aa
350-400	2,23 \pm 0,81 Aa	1,28 \pm 0,29 Aa	1,25 \pm 0,13 ABa
Raízes Terciárias (m/g)			
0-50	18,21 \pm 6,30 Aa	11,54 \pm 1,67 Aa	10,96 \pm 0,60 Aa
50-100	16,37 \pm 4,42 Aa	13,95 \pm 7,88 Aa	11,54 \pm 1,67 Aa
100-150	15,68 \pm 6,42 Aa	10,41 \pm 0,81 Aa	13,46 \pm 2,81 Aa
150-200	14,40 \pm 3,93 Aa	11,05 \pm 2,11 Aa	13,14 \pm 2,46 Aa
200-250	7,73 \pm 2,63 Aa	10,98 \pm 0,72 Aa	10,71 \pm 2,15 Aa
250-300	19,12 \pm 7,46 Aa	10,85 \pm 1,32 Aa	14,04 \pm 2,27 Aa
300-350	11,66 \pm 1,88 Aa	10,90 \pm 2,03 Aa	15,68 \pm 2,92 Aa
350-400	9,12 \pm 2,64 Aa	10,04 \pm 0,97 Aa	16,03 \pm 4,70 Aa

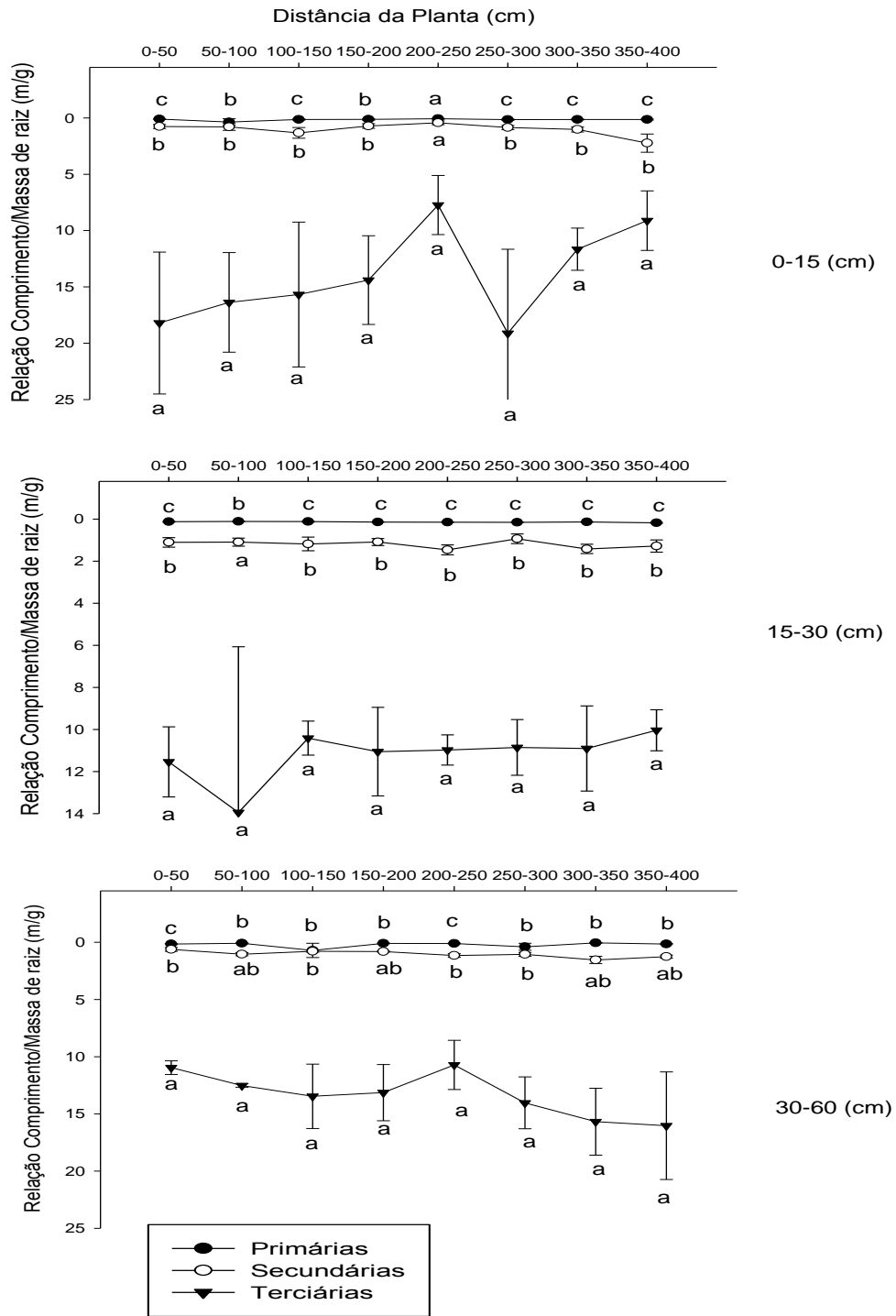


Figura 12 - Relação comprimento/massa em função das distâncias a partir do colo da planta de palma de óleo, em diferentes profundidades de amostragem. Raízes primárias ($\Phi \geq 5$ mm), secundárias ($\Phi = 1 - 4,9$ mm) e terciárias ($\Phi = 0,5 - 0,9$ mm). Letras minúsculas comparam distância dentro de cada profundidade (tukey a 5%). Dados são média \pm erro padrão (n=4).

7.4. Estimativas a partir dos cálculos dos anéis concêntricos.

A partir dos resultados de biomassa total por planta obtidos por meio do método dos anéis concêntricos, em um volume de 30,16 m³ de solo (r = 4 m; h = 0,6 m), a massa seca de raiz e o comprimento de raiz obtidos foram expressos em kg e km, respectivamente (Tabela 4). O total de raízes é dividido em primárias (58,08%), secundárias (35,09%) e terciárias (6,82%). Do comprimento total de raízes por planta, 44,08% são primárias, 35,62% são secundárias e 20,31% são terciárias.

Tabela-4: Valores médios estimativos de biomassa em Kg/planta e Mg/ha, e comprimento em m/planta e km/ha de raízes primárias ($\Phi \geq 5$ mm) secundárias ($\Phi = 1 - 4,9$ mm) e terciárias ($\Phi = 0,5 - 0,9$ mm) em função da distância a partir do colo da palma de óleo em diferentes camadas do solo. Raízes totais são a soma das médias das três classes de raízes. Dados são média \pm erro padrão (n=4).

Raiz	Massa		Comprimento	
	kg/planta	Mg/ha	km/planta	km/ha
Primária	33,63 \pm 12,4	4,81 \pm 0,89	4,36 \pm 1,72	623,99 \pm 245,58
Secundária	20,32 \pm 5,70	2,91 \pm 0,41	20,09 \pm 6,06	2873,07 \pm 866,70
Terciária	3,95 \pm 0,60	0,56 \pm 0,09	52,20 \pm 21,65	7464,35 \pm 3095,51
Total	57,90 \pm 9,70	8,28 \pm 1,39	76,65 \pm 29,43	10961,42 \pm 4207,80

8. Discussão

8.1. Densidade de massa de raiz (DMR)

Na camada mais superficial (0-15 cm) concentram-se 34,76% da DMR total (soma de primárias, secundária e terciárias) do perfil vertical amostrado (0-60 cm) (tabela 5). Na região mais próxima da planta (distância de 0-50 cm) estão localizados 58% do total das raízes primárias (camada 0-15 cm). A partir dos 50 cm de distância, houve uma redução de 72,54% da DMR de primárias. Nestes primeiros 15 cm de profundidade, estão presentes 64,29% da densidade de massa total de raízes terciárias no perfil vertical amostrado (0-60 cm), não havendo diferença significativa ao longo do perfil horizontal (ou entre distâncias da planta). Isso pode ser explicado pela concentração de material vegetal oriundo do manejo e que é depositado na região entre plantas que por uma rápida decomposição (24 meses) proporciona a mineralização de nutrientes como N (43%) P (63%) K (76%) e Mg (60%) esses nutrientes ficam disponíveis no solo (região coletada entre plantas/empilhamento) (Kee & Chew, 1997) tornando assim um ambiente favorável ao desenvolvimento de raízes terciárias e quaternárias nestas camadas (Selle et al., 2010). Sendo estes nutrientes essenciais para a rizogênese da cultura da palma de óleo (Da Cunha et al., 2009).

Na profundidade de 15-30 cm, em que se concentram 57,64% da DMR total, a densidade está mais distribuída dentro desta profundidade (figura1), do que em relação a profundidade de 0-15 cm, sendo que a classe de raiz primária é responsável por 79,35% da DMR da profundidade 15-30 cm (Tabela 5). Isso pode ser explicado pelo crescimento horizontal da raiz primária (Jourdan et al 2000), que concentra seu desenvolvimento nesta camada (15-30 cm).

No intervalo 0-200 cm a partir da base da planta, a DMR foi menor na camada 30-60 cm do que na camada 15-30 cm. A DMR de primárias na camada 30-60 cm reduziu 94,42% em relação aos valores da camada de 15-30 cm. Nenhuma classe de raiz exibiu uma redução tão considerável de uma camada para outra. Em virtude desta redução, a DMR de secundárias, que nos primeiros 0-30 cm de solo apresentou valores inferiores aos encontrados para classe de raízes primárias, nesta profundidade (30-60 cm) representa 59,30% da DMR total. Como estratégia de desenvolvimento, as raízes da palma de óleo tendem a se desenvolver de acordo

com as condições físicas do solo. Em solos com resistência a penetração, as raízes primárias tendem a diminuir seu comprimento, aumentar o diâmetro, e emitir um número maior de ramificações (Bennie, 1996; Jungk, 1996; Yahya et al., 2015). Desta forma, a medida em que aumenta a profundidade no perfil do solo, diminui a DMR de primárias, e as ramificações oriundas desta raiz aumentam.

Tabela 5- Valores absolutos e relativos de densidade de massa de raízes em diferentes camadas do solo. Os valores relativos (em %) referem-se ao total por camada.

Classes	Camada (cm)						Total (mg/cm ³)
	0-15		15-30		30-60		
	DMR (mg/cm ³)	%	DMR (mg/cm ³)	%	DMR (mg/cm ³)	%	
Primárias	18,90	59,87	41,55	79,35	2,32	33,62	62,77
Secundária	10,24	32,44	9,95	19,00	4,09	59,28	24,28
Terciárias	2,43	7,70	0,86	1,64	0,49	7,10	3,78
Total	31,57	100,00	52,36	100	6,90	100	90,83
%	34,76		57,65		7,60		

Os primeiros 30 cm de profundidade concentram 92,41% da densidade de massa de raízes encontradas na região entre plantas, que sofre menos influência do manejo e onde se realiza a deposição de restos vegetais (folhas podadas). No entanto, Khalid et al. (1999) verificaram que não houve diferença significativa na densidade de raízes primárias e secundárias (95,84% da DMR total neste estudo) entre região de carreamento e empilhamento, havendo apenas um incremento na densidade de terciárias nas camadas superficiais (0-15 cm) na região de empilhamento.

Os resultados exibem uma tendência de diminuição dos valores de DMR a medida que se distânciam da planta, e aumenta-se a profundidade do solo, sendo maior a concentração de raízes nas camadas superficiais (0-30 cm). Estes resultados confirmam a hipótese 1 deste estudo, que a biomassa de raízes diminui a medida que se distânciam da planta e aumenta-se a profundidade em relação a base da palma de óleo, semelhante ao sistema radicular do híbrido intraespecífico e concordando com o verificado por Khalid et al. (1999), Cuesta et al. (2010) e Kiyono et al. (2015). Um estudo avaliando o sistema radicular de duas espécies de palmeiras (*Cocos nucifera* e *Euterpe oleracea*) mostrou que a distribuição do sistema radicular se concentra predominantemente em um raio de 1 metro nas fases jovens (Santos et al., 2008), podendo chegar a 5 metros de raio a uma idade de 10

anos (Menezes Neto, 1994). Em cultivo de palma de óleo de 10 anos na Colômbia, Cuesta et al. (2010) verificaram que a maior densidade de raízes ocorreu nos primeiros 0-50 cm de distância da planta, diminuindo a medida que aumenta a distância da planta. Além disso, Cuesta et al. (2010) verificaram que a maior concentração de raízes se encontra nos primeiros 0-60 cm de solo.

8.2.Densidade de comprimento de raiz (DCR)

Na profundidade de 0-15 cm, estão presentes 53,82% do comprimento total de raízes, sendo que as raízes terciárias representam 78,95% deste total, secundárias 16,58% e primárias 4,47%. O alto percentual de comprimento de raiz nesta profundidade está relacionado com a DCR de terciárias, que exibiu uma tendência de crescimento (em relação as outras camadas avaliadas). Assim como foi verificado nos resultados de densidade de massa de raiz, a maior concentração de raízes terciárias está na camada de 0-15 cm, o que também foi verificado nos resultados de DCR. Possivelmente, devido as raízes terciárias superficiais (Jourdan et al., 2000) que, como forma da planta obter um melhor aproveitamento dos nutrientes disponibilizados via adubação ou a partir da mineralização dos resíduos vegetais depositados nesta região entre plantas/empilhamento (Corley & Tinker , 2003). Nunes et al. (2009), analisando a densidade de raízes de palma de óleo sob sistemas de irrigação, concluíram que mais da metade (52%) do comprimento total de raízes da palma de óleo localiza-se nos primeiros 20 cm de solo; aproximadamente 80% estavam concentrados até 40 cm de profundidade. As raízes finas (terciárias) representam cerca de 90 a 95% do comprimento total do sistema radicular no solo e também são as principais estruturas responsáveis pelo aproveitamento da solução do solo (Gaitan et al.,2005).

Na camada 15-30 cm, estavam distribuídos 26,27% do comprimento total de raízes, sendo que as raízes secundárias representaram o maior percentual de comprimento nesta profundidade (44,41%), seguidas das terciárias (37,26%) e primárias (18,33%). A raiz primária nesta camada (15-30 cm) possui tipo de crescimento horizontal (Jourdan et al., 2000), e como foi verificado nos resultado de DMR nesta profundidade, houve o maior percentual de DCR de primárias (em comparação com a DCR total das outras camadas). O percentual de DCR de

secundárias encontrado nesta camada possivelmente também esta relacionado ao tipo de crescimento vertical da raiz secundária descrito por Jourdan et al. (2000). Para promover uma DMR de terciárias superficiais na camada de 0-15 cm, a planta emite raízes secundárias com crescimento ascendente a partir das primárias de crescimento horizontal.

Já na profundidade de 30-60 cm, ocorreu o menor percentual de DCR total, com 19,91%. Deste percentual, as terciárias representam 61,63%, as secundárias 34,95% e as primárias 3,42%. Nesta camada, o percentual de DCR de primárias e secundárias reduziu em comparação as camadas anteriores, e o percentual da densidade de comprimento de terciárias foi maior em comparação ao da camada de 15-30 cm. Isso se deve pelo aumento da densidade do solo com o aumento da profundidade (dados de densidade do solo não inseridos neste estudo). Em áreas submetidas a compactação, as raízes tendem a produzir menos raízes primárias e secundárias, havendo um incremento na densidade de raízes terciárias e quaternárias, como estratégia para melhorar a eficiência na absorção de água e nutrientes (Yahya et al., 2015). Em experimento para verificar o desenvolvimento do sistema radicular em plantio de palma de óleo submetido a compactação com maquinário de 0, 2 e 4 toneladas na Colômbia, Yahya et al. (2010) verificaram que a densidade de raízes primárias foi reduzida em solos submetidos a compactação a partir do uso de maquinário de 2 toneladas, enquanto que as raízes secundárias só foram afetadas em regiões com tráfego de maquinário de 4 toneladas.

8.3.Relação comprimento/massa

O padrão de variação da relação comprimento/massa encontrada neste estudo está de acordo com resultados obtidos para outras espécies (Claus & George, 2005; Ostonen et al., 2005), ou seja, a relação comprimento/massa aumenta com a diminuição do diâmetro da raiz. Esse padrão se deve ao comprimento da raiz estar relacionado com a necessidade da planta em aquisição de recursos (água, nutrientes) e o diâmetro da raiz estar diretamente relacionado com a manutenção (sustentação) (Eissenstat & Yanai, 1997).

Acredita-se que as diferenças significativas encontrada entre os diferentes valores da relação comprimento/massa esteja relacionado a diferença entre os

diâmetros das raízes (Pregitzer et al., 2002). Quando maior o diâmetro da raiz, menor os valores desta relação (Ostonen et al., 2007). Fazendo uma média de todas as classes de raiz, seu valor varia proporcionalmente com a classe raiz. Esta relação comprimento/massa de raízes de *Picea europeia* com diâmetro de raízes entre 0 - 1 mm pode variar de 62% a 72%. (Claus & George, 2005; Ostonen et al., 2005). As raízes terciárias da palma de óleo representaram neste estudo, uma total da relação de comprimento/massa de 91,12%.

8.4. Biomassa total de raízes

Para uma biomassa total de raízes de $57,90 \pm 9,70$ kg/palma de óleo, 58,1% deste total foi composto de raízes primárias, 35,1% por secundárias e 6,8% de terciárias. Khalid et al. (1999) encontrou valores de biomassa abaixo do solo de 16,5 Mg/ha em palma de óleo de 23 anos a uma profundidade de 0-60 cm. Em estudo avaliando a biomassa radicular de palma de óleo na Colômbia, Cuesta et al. (2010) encontraram uma biomassa abaixo do solo (camada 0-60 cm) de 2,36 Mg/ha para palma de óleo de 5 anos e 8,60 Mg/ha para palma de óleo de 8 anos. Cruz Filho (2012) obteve 39,908 Mg/ha de massa seca da parte aérea em plantio de Híbrido BRS Manicoré de 7 anos e 49,353 Mg/ha em palma de óleo de 9 anos. Segundo Sanquetta et al. (2004) a raiz corresponde a aproximadamente 16% da biomassa total da palma de óleo. Sendo assim, a biomassa da parte aérea correspondente a uma biomassa de raízes de 8,28 Mg/ha (Tabela 4) seria 43,47 Mg/ha. Valor semelhante ao encontrado por Cruz Filho (2012) em plantio de 7 e 9 anos de híbrido interespecífico BRS Manicoré no estado do Pará.

Assumindo que o teor de C na biomassa é de 50%, estima-se que o estoque de carbono na biomassa abaixo do solo é 4,14 Mg C /ha em um plantio de Híbrido Interespecífico de palma de óleo (tabela 6) e também podemos comparar estes valores com outros sistemas de uso do solo (Tabela 7).

Tabela -6 Resultados de estudos da biomassa de raízes em cultivos de palma de óleo.

Local	Idade (anos)	Profundidade (cm)	massa (Mg/ha)	C (Mg/ha)	Fonte
Malásia	4	100	3,00	1,50	Jourdan et al., 2000
Brasil	8	60	8,28	4,14	*Este estudo
Brasil	9	600	14,00	7,00	Sommer et al., 2000
Colômbia	10	90	8,60	4,30	Cuesta et al., 2010
Malásia	12	90	33,80	16,90	Kiyono et al., 2015
Malásia	14	90	9,85	4,93	Corley et al., (1971)
Nigéria	17	90	16,40	8,20	Rees & Tinker, (1963)
Malásia	23	100	16,00	8,00	Khalid et al., 1999
Malásia	27	90	18,59	9,30	Corley et al., (1971)

Tabela -7 Biomassa de raízes em diversos sistemas de uso do solo no nordeste do estado do Pará. *Souza & Gehring, 2010; **Sommer et al., 2000; ***Este estudo.

Sistema	Biomassa de raiz (Mg/ha)	C (Mg/ha)	Profundidade (cm)
Culturas sazonais (1 ano)*	1,98	0,99	100
Floresta Primária**	22	11,00	600
Floresta Secundária (40 anos)**	34	17,00	600
vegetação Secundária (12 anos)**	30	15,00	600
vegetação Secundária (5 anos)**	23	11,50	600
Vegetação Secundária (1 anos)**	12	6,00	600
Cultivo Tradicional (15 meses)**	13	6,50	600
Cultivo de Maracujá**	3,0	1,50	600
Pimenta do reino**	5,0	2,50	600
Palma de óleo***	8,28	4,14	60

Em relação a outros estudos de biomassa de raízes de palma de óleo, cujas medições foram realizadas até no máximo 100 cm de profundidade, verificou-se que a biomassa de raízes do HIE apresentou valores bem próximos aos encontrados para cultivares de intraespecífico (Figura 13)

Biomassa de raízes em função da idade de plantio

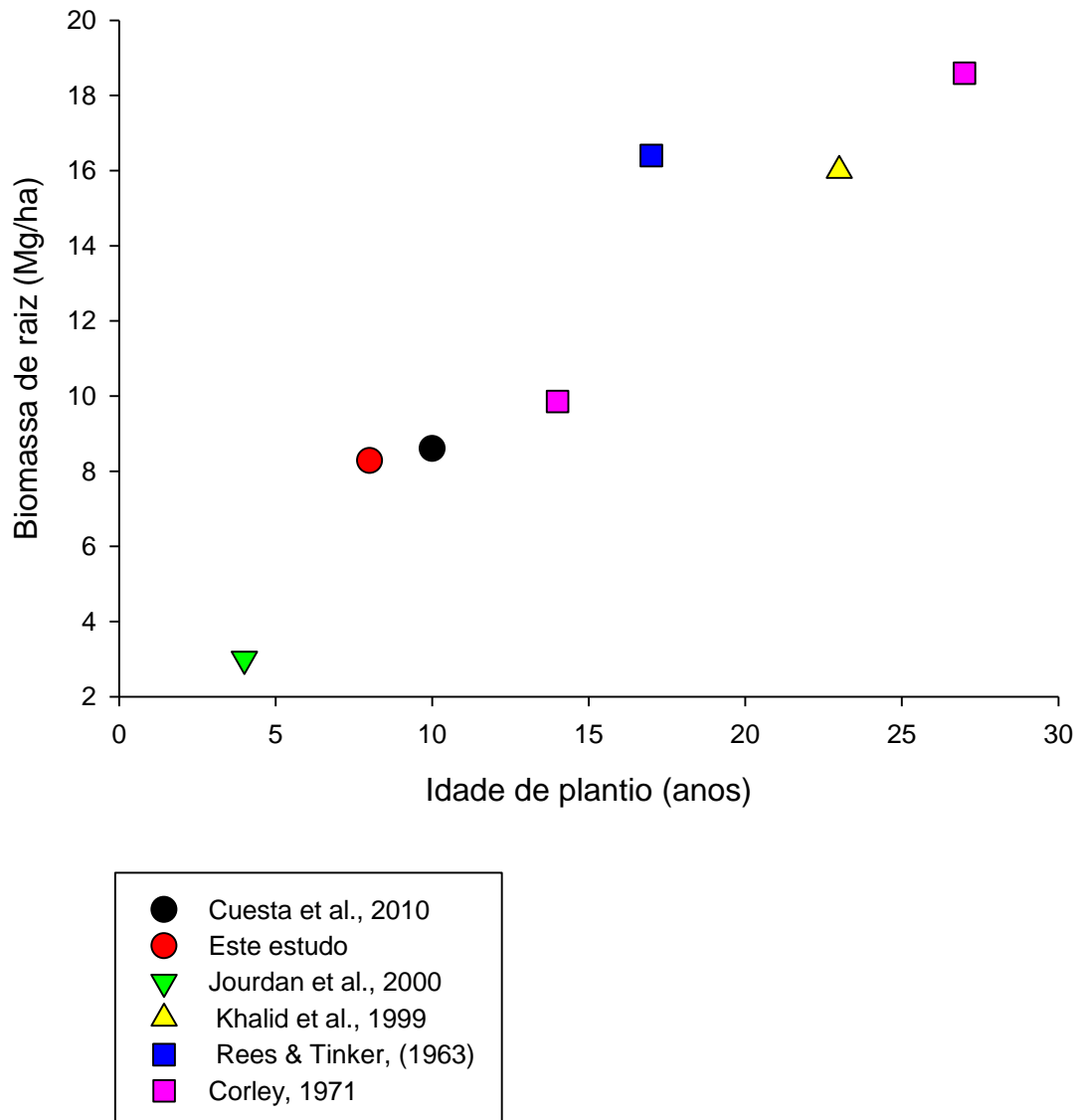


Figura 13 - Biomassa de raiz (Mg/ha) de palma de óleo em função da idade de plantio.

Embora em alguns estudos os resultados não exibem uma similaridade com os resultados encontrados com este estudo, porém podemos verificar que está de acordo com grande parte dos resultados obtidos por outros autores. Podemos salientar que a maioria das avaliações feitas para estudo da biomassa radicular da palma de óleo foram realizados em diferentes condições ambientais, além de características das diferentes cultivares (de palma de óleo) avaliadas podem influenciar na variação da biomassa total de raízes. Outros fatores também afetam a variação nos resultados de biomassa abaixo do solo, como o adensamento de

plantio, idade da planta, tipo de solo (Sung, 2016), metodologia, sobretudo a profundidade de amostragem considerada no estudo (Böhm, 1979).

Os valores obtidos de biomassa e estimativa de carbono neste estudo reforçam a ideia de que o cultivo de palma de óleo representa uma cultura com potencial de estoque de carbono superior a culturas sazonais, assim como pimentado-reino (*Piper nigrum* L) e maracujá (*Passiflora edulis*) (tabela 8).

9. Conclusão

- A densidade de massa e de comprimento de raízes diminui em função da distância da planta e da profundidade do solo.

- A distribuição da massa total e do comprimento total, varia com a classe de diâmetro, com os seguintes padrões para densidade de massa de raízes (primárias>secundárias>terciárias) e densidade de comprimento de raízes (terciárias>secundárias>primárias).

- A densidade de massa de raízes se concentra nos primeiros 30 cm de solo (92,41% da DMR total).

- A distribuição das raízes terciárias, principais responsáveis pela absorção de nutrientes, estão concentradas na camada mais superficial (0-15 cm), tanto em relação à densidade de massa de raízes como na densidade de comprimento de raízes. A maior densidade de massa e de comprimento de raízes terciárias ocorreu no intervalo entre 0-100 cm de distância horizontal da planta. Sendo esta, uma informação que pode auxiliar na estratégia de adubação do híbrido interespecífico de palma de óleo.

10.REFERÊNCIAS

ADUAN, R. E.; VILELA, M. de F.; KLINK, C. A. Ciclagem de carbono em ecossistemas terrestres: o caso do cerrado brasileiro. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2003. 30 p. (Embrapa Cerrados. Documentos, 105).

AGROANALYSIS. Agroanalysis: Revista de Agronegócios da UFV. Vol.34. nº02. p. 16. Fevereiro 2014.

BACHY A. Tropisme racinaire du palmier à huile. Oléagineux, 19, 1964. p.684–685.

BASIRON, Y. Malaysian palm oil: Assuring sustainable supply of oils e fats into the future. Disponível em: http://www.mpoc.org.my/upload/Tan_Sri_Yusof_POTS_PHP.pdf>.Acesso em 20 Out.2012.

BECKER, B. 2010. Recuperação de áreas desflorestadas da Amazônia: será pertinente o cultivo da palma de óleo?. N10. França: Confins. Disponível em <https://confins.revues.org/6609?lang=pt>. Acessado em 2016.

BENNIE, A.T.P., Growth and Mechanical Impedance. In: Plants Roots The Hidden Half, Waisel, Y., A. Eshel and U. Kafkafi (Eds.), Marcel Dekker, New York, ISBN: 0824796853, 1996. pp: 453-470.

BOARI, A.J. ; TEIXEIRA, W.G. ; VENTURIERI, A. ; MARTORANO, L. ; TREMACOLDI, C.R. ; CARVALHO, K.B. Avanços nos estudos sobre o amarelecimento fatal da palma de óleo (*Elaeis guineensis* Jacq.). Tropical Plant Pathology 37 (Suplemento), agosto 2012 45º Congresso Brasileiro de Fitopatologia - Manaus,AM disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/959983/1/BoarietalTropicalPlantPathology3720121.pdf>.

BOARI, A. J. “O Desafio das Pesquisas com a Etiologia do Amarelecimento Fatal da Cultura da Palma de Óleo”. In: Ramalho Filho et al., Zoneamento Agroecológico, Produção e Manejo para a Cultura da Palma de Óleo na Amazônia, parte II, cap. 10.Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ, 2010.

BÖHM, W. Methods of studying root systems. New York, Springer-Verlag, 1979.p.194.

CAMPOS, M. A. A. Balanço de biomassa e nutrientes em povoamentos de *Ilex paraguariensis*. Avaliação na safra e na safrinha. 106 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1991.

CARVALHO, C.J.R. - Mècanismes de resistance a la sècheresse chez des plantes jeunes et adultes de palmier à huile (*Elaeis guineensis* Jacq.). Thèse Doct., Univesité de Paris-Sud, Orsay, 203p,1991

CARVALHO, C.J.R. - ECOFISIOLOGIA DO DENDEZEIRO (*Elaeis guineensis* Jacq.). in: A cultura do dendezeiro na Amazônia brasileira. Embrapa, 2000, 1ª Edição, p.89-124.

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, 2010 p.101-115. .

CORLEY, R. H. V.; TINKER, P. B. (Ed.). *The oil palm*. Oxford: Blackwell Science, 2003. 608 p.

CORRÊA RS. Recuperação de áreas degradadas pela mineração no cerrado. 2ª.ed. Brasília, DF: Universa; 2009.

CORLEY R.H.V., GRAY B.S. & NG S.K. Productivity of the oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) in Malaysia. *Expl Agric.*, 7, 1971. p.129-13.

CUESTA, R.R.; PÉREZ, S.B., ROJAS, E.A.P. Root system distribution of oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) in Tumaco, Colombia. *PALMAS*, Volumen 18, No. 3, 1997 p.9.

CUEVAS, E.; BROWN, S.; LUGO, A. E. Above- and belowground organic matter storage and production in a tropical pine plantation and a paired broadleaf secondary forest. *Plant and Soil*, v. 135, 1991 p. 257-268.

CUNHA, R. N. V; LOPES, R. BRS Manicoré: Híbrido interespecífico entre Caiuá e o Dendezeiro Africano recomendado para áreas de incidência do amarelecimento fatal. Embrapa: Comunicado Técnico, v. 85, 2010 p. 1-3.

CUNHA, A.C.M.C.M., PAIVA, H.N., XAVIER, A., OTONI, W.C. Papel da Nutrição Mineral na Formação de Raízes Adventícias em Plantas Lenhosas. *Pesquisa Florestal Brasileira*, Colombo, n58, 2009, p.35-47. Disponível em : <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/37636/1/Papel-da-nutricao-mineral-na-formacao-de-raizes-adventicias-em-plantas-lenhosas..pdf>

CRUZ FILHO, D. Crescimento e Estoque de Carbono no Dendezeiro Híbrido Interespecífico BRS MANICORE em Função da Idade, no Nordeste Paraense, Amazônia Oriental. Tese Apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia; 2012 . p.93.

CLAUS A, GEORGE E. Effect of stand age on fine-root biomass and biomass distribution in three European forest chronosequences. *Can J Forest Res* 2005. p.1617 – 1625.

DUFRENE E. Photosynthèse, consommation en eau et modélisation de la production chez le palmier à huile (*Elaeis guineensis* Jacq.). Thesis, Univ. of Paris-Sud, Orsay. 1989.

EISSENSTAT DM, YANAI RD. The ecology of root lifespan. *Adv Ecol Res* 27: 1997 p.1 – 62.

FAPESPA – Fundação Amazônia de Amparo a estudos e pesquisas do Pará. Boletim Agropecuário do estado do Pará 2015. 2015. p.21-21. Disponível em : http://www.fapespa.pa.gov.br/sites/default/files/Boletim_Agropecuario_do_Estado_do_Para_2015.pdf.

GAITÁN, J.J.; PENÓN, E. A.; COSTA, M.C. Distribución de raíces finas de *Eucalyptus grandis* ssp. Maidenii y su relación com algunas propiedades del suelo. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 15, n. 1, 2005. p. 33-41.

GIBBS, H. K.; JOHNSTON, M.; FOLEY, J. A.; ZAKS, D. Carbon payback times for crop-based biofuel expansion in the tropics: the effects of changing yield and technology. *Environmental Research Letters*, 2008. p. 3-10,

GLASS, V. Expansão do dendê na Amazônia Brasileira: Elementos para uma análise dos impactos sobre a agricultura familiar no nordeste do Pará. Centro de Monitoramento de Agrocombustíveis. ONG Repórter Brasil, 2013. p.15.

GOMES JUNIOR, R. A. Características vegetativas na fase juvenil de híbridos interespecíficos de caiaué com dendezeiro. *Rev. Cienc. Agrar.*, v. 58, n. 1, 2015. p. 27-35.

GÖTTINGEN, C. V. The potential of oil palm and forest plantations for carbon sequestration on degraded land in Indonesia. *Ecology and Development Series*. Syahrudin No. 28, 2005 p.112.

HANIFF M. H.; ZURAI DAH Y.; ROSLAN M. M. N.; 2014 Oil Palm Root Study at a Northern Region in Peninsula Malaysia. *International Journal of Agriculture Innovations and Research* Volume 3, Issue 3. 2014. p.797-801.

HARTLEY, C.W.S.. *The Oil Palm*. 3rd. ed. Longman Scientific & Technical, England. 1988. 761 p.

HENSON I.E. & CHAI S.H. (1997) Analysis of oil palm productivity. II. Biomass, distribution, productivity and turnover of the root system. *Elaeis*, 9, 78–92.

HOUGHTON, R.A.; HALL, F.; GOETZ, S.J. Importance of biomass in the global carbon cycle. *Journal of Geophysical Research*, v.114, 2009. p.1-13.

JACKSON, R. B.; MOONEY, H. A.; SCHULZE, E. -D. A global budget for fine root biomass, surface area, and nutrient contents. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. v. 94, 1997 p. 7362–7366, Jul..

JOURDAN C., Michaux-Ferriere N. & Perbal G. Root system architecture and gravitropism in the oil palm. *Ann. Bot.*, 85; 2000 p.861–868.

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

JOURDAN C. & REY H. Oil palm root architecture: modelling and simulation. Plantations, recherche, développement. 1996 p.324-327.

JUNGK, A.O.,. Dynamic of Nutrient Movement at the Soil-Root Interface. In: Plants Roots: The Hidden Half, Waisel, Y., A. Eshel and U. Kafkafi Eds.), 2nd Edn., Revised and Expanded, Mercel Dekker, New York.ISBN: 0824796853, 1996. pp: 529-556.

KEE, K. K.; CHEW, P. S. Nutrients recycle form pruned fronds in mature oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq). In: Iternational Plant Nutricion Colloquium, Tokyo., 1997.p13.

KIYONO Y.; MONDA Y.,; TORIYAMA2 J.; CHADDY A.; GOH K. J.; MELLING L. Destructive sampling method for estimating the biomasses of African oil palm (*Elaeis guineensis*) plantations on tropical peatland Bulletin of FFPRI Vol.14 No.3 2015. p.147 – 158.

LAL, R. Carbon sequestration in soil. perspectives in agriculture, veterinary science, nutrition and natural resources , v. 3, n. 30, 2008. p.1-20.

LAL, R Carbon management in Agricultural Soils. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, v.12, 2007 p.303-322,.

LAMADE E, SETIYO I. Characterisation of carbon pools and dynamics for oil palm and forest ecosystems : application to environmental evaluation. In : International Oil Palm Conference. Indonésie : Nusa Dua, Bali, 2002 ; (Juillet 8–12).

LAMADE E. & SETIYO I.E. Test of Dufrêne's production model on two contrasting families of oil palm in North Sumatra. In: Proc. 1996 PORIM Int. Palm Oil Congr. 'Competitiveness for the 21st century' (Ed. by D. Ariffin et al.), 1996. pp. 427–435,.

LAMBOURNE J.; Note on the root habit of oil palms. Malay. agric. J., 23, 1935. 582–583.

LANGE M.V. A Mudança do Estoque de Carbono Por Transformação da Terra e Seu Uso no Inventario de Ciclo de Vida de Produtos de Origem Renovável: Estudo do Caso da Possível Expansão da Palmade Óleo Na Amazônia Legal Brasileira. Curitiba:UTFPR, 2012. 90p. Tese de Mestrado.

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. 2008 p. 767-786.

LOPES, R.; CUNHA, R. N. V.; RESENDE, M. D. V. Produção de cachos e parâmetros genéticos de híbridos de caiaué com dendezeiro. Pesquisa Agropecuaria Brasileira, v. 47, n. 10, 2012 p. 1496-1503. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2012001000012>.

MEDEIROS, J. S.; SANO, E. Análise multitemporal de imagens digitais do Landsat TM na detecção de áreas afetadas por ataques de lagartas (*Sibine fusca*) na cultura de dende (*Elaeis guineensis*). In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 5. Natal. Anais. São José dos Campos, INPE, 1988.

MENEZES NETO, M.A. Influência da disponibilidade de oxigênio sobre a germinação, crescimento e atividade das enzimas álcool desidrogenase e lactato desidrogenase em açaí (*Euterpe oleracea* Mart.). Lavras: ESAL, 1994. 50p. Tese de Mestrado

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR. (MDIC). Exportação e importação mundial e brasileira de óleo de dendê. Secretaria de comércio exterior. Sistema Aliceweb. 2012. (Documento Técnico).

MOURA J.I.L., Polinização do Dendzeiro por *Elaeidobius subvittatus* Faust e *Elaeidobius kamerunicus* Faust (COLEOPTERA, CURCULIONIDAE) no Sul do Estado da Bahia [dissertation]. Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal (SP). 2008.

MULLER, A. A. A Embrapa Amazônia Oriental e o agronegócio do dendê no Pará / Antonio Agostinho Müller, José Furlan Júnior, Pedro Celestino Filho. Embrapa Amazônia Oriental, 2006.

NOUVELLON Y, ROUPSARD O, BONNEFOND, et al. The carbon budget of eucalyptus and coconut plantations estimated from different methods. In : Séminaire Carbone. Montpellier, 2004 ; (16-18 novembre).

NUNES, M.F.F.N; VARGAS, S.B.R.;ROCHA, L.P;BATISTELA,G.;AZEVEDO, J.A; RODRIGUES,L.N;SILVA,E.F.F. Quantificação de raízes de dendê irrigado por micro aspersão no cerrado utilizando imagens Digitais. Universidade Federal de Pernambuco, Recife. Brasil,2009.

ODUM, E. P. Ecologia. 2 ed. São Paulo, Pioneira, 1986. 434p.

OSTONEN I, LÖHMUS K, PAJUSTE K. Fine root biomass, production and its proportion of NPP in a fertile middle-aged Norway spruce stand: Comparison of soil core and ingrowth core methods. Forest Ecol Manag 2005. p.264 – 277.

OSTONEN I, LÖHMUS K, HELMISAARI H-S, TRUU J, MEEL S. Fine root morphological adaptations in Scots pine, Norway spruce and silver birch along a latitudinal gradient in boreal forests. Tree Physiol, 27: 2007. p.1627 – 1634.

PARK, B.B., YANAI, R.D., VADEBONCOEUR, M.A., Hamburg, S.P.,. Estimating root biomass in rocky soils using pits, cores, and allometric equations. Soil Sci. Soc. Am. J. 71, 2007. 206–213.

PREGITZER KS, DEFOREST JL, BURTON AJ, ALLEN MF, RUESS RW, HENDRICK RL. Fine root architecture of nine North American trees. Ecol Monogr . 2002. p.72:93 – 309.

PURVIS C. The root system of the oil palm: its distribution, morphology and anatomy. J. W. Afr. Inst. Oil Palm Res., 1 (4), 1956. p.61– 82.

RAICH JW. Aboveground productivity and soil respiration in three Hawaiian rain forests. For Ecol Manage 1998 ; 107 : 309-18.

REES A.R. & TINKER P.B. Dry-matter production and nutrient content of plantation oil palms in Nigeria. I. Growth and dry-matter production. Pl. Soil, 19, 1963. 19–32.

TAILLIEZ B. The root system of the oil palm on the San Alberto plantation in Colombia. Oléagineux, 26, 1971 p.435 – 448.

RODRIGUES, J.A.C.; MARTINÉZ, F.M; GARCIA, A.A.; SANTACRUZ, L.; VALDERRAMA, M.T.; Relacion de las características edáficas y el desarrollo del sistema de raíces de la palma de aceite (*Eleais guineensis* Jacq). IN: Palmas Vol.28.No. 1, 2007, p.21-29.

ROUPSARD, O.; BONNEFOND, J.M.; JOURDAN, C.; Carbon sequestration by Coconut plantations in Oceania (Vanuatu). In : 2nd CarboEurope meeting, 4-8 March. Budapest : Hungary, 2002.

RUER P. Morphologie et anatomie du système racinaire du palmier à huile. Oléagineux, 22, 1967. p.595–599.

SANQUETTA, C.R.; BALBINOT.R.; ZILLOTTO,M.A.B. Fixação de Carbono: atualidades, projetos e pesquisas. Curitiba: AM, 2004. 211p.

SANTOS, R.S.S; ROCHA, V.K.G; SILVA, M.P; CARDOSO, P.N; O Híbrido interespecífico entre o dendezeiro e o Caiuá como agente de sustentabilidade da cadeia produtiva. IV Simpósio de Estudos e Pesquisas em Ciências Ambientais na Amazônia . Belém-PA. 18 a 20/11. 2015.

SILVER, W. et al. Fine root dynamics and trace gas fluxes in two lowland tropical forest soils. Global Change Biology. v. 11, . 2005 p. 290-306.

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

SOUSA J.TR.; GEHRING C. Adequacy of contrasting sampling methods for root mass quantification in a slash-and-burn agroecosystem in the eastern periphery of Amazonia. Biol Fertil Soils 2010 p.851–859

TAILLIEZ B. The root system of the oil palm on the San Alberto plantation in Colombia. Oléagineux, 26, 1971 p.435 – 448.

TAN K.S. & RAO A.N. Certain aspects of developmental morphology and anatomy of oil palm. In: Histochemistry, developmental and structural anatomy of Angiosperms: a symposium, 1979 pp. 267–285.

TRINDADE, D.R.; Doenças do dendezeiro *Elaeis guineensis* in: Kimati, H.; AMORIN, L. ; BERGAMIN FILHO, A. ; CAMARGO, L.E.A; REZENDE J.A.M.; (ED). Doenças das plantas cultiváveis. São Paulo: Series, 1997. p338-344. (Manual de Fitopatologia v.2).

TRINDADE, D. R.; POLTRONIERI, L. S.; FURLAN JÚNIOR, J. Abordagem sobre o estado atual das pesquisas para a identificação do agente causal do amarelecimento fatal do dendezeiro. In: poltronieri, l. S.; trindade, d. R.; santos, i. P. Dos (ed.). Pragas e doenças de cultivos amazônicos. Belém: embrapa amazônia oriental, 2005. P. 441-450.

VENTURIERI , A,; FERNANDES, W. R., BOARI, A. J.; VASCONCELOS, M. A.. Relação entre ocorrência do amarelecimento fatal do Dendezeiro (*Elaeis guineensis* jacq.) E variáveis ambientais no estado do Pará. Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril, INPE, 2009 p. 523-530.

VENTURIERI, A. “Programa de Mapeamento e Monitoramento da Expansão do Plantio de Palma de Óleo no Brasil”. Apresentação na 8a Reunião Ordinária da Câmara Setorial da Cadeia Produtiva da Palma de Óleo. Brasília, DF, 8 de agosto de 2012.

VIEIRA, I. C. G.; SILVA, J. M.; TOLEDO, P. M. Estratégias para Evitar a Perda da Biodiversidade na Amazônia. Estudos Avançados, São Paulo, v. 19, n. 54, 2005 p.153-164.

VIÉGAS, I. de J.M.; MULLER, A.A. A cultura do dendezeiro na Amazônia brasileira. Embrapa Amazônia oriental. 2000. 374p.

VIJAY, V.; PIMM, S.L.; JENKINS, C.N.; SMITH, S.J. The Impacts of Oil Palm on Recent Deforestation and Biodiversity Loss. PLoS ONE 11. p.19. 2016 disponível em: <http://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0159668>

YAHYA ,Z.; HUSIN , A.; TALIB, J.; OTHMAN, J.; AHMED ,O. H. ; JALLOH, M. B. Oil Palm (*Elaeis guineensis*) Roots Response to Mechanization in Bernam Series Soil. American Journal of Applied Sciences 7 (3): 2010 p.343-348,

YAHYA ,Z.; HANIFF M. H.; ZULKIFLI H. Oil Palm Roots Adaptation Under Soil Compacted By Mechanization. International Journal of Agricultural Science and Research (IJASR) Vol. 5 . 2015. p.331-342.

YAMPOLSKY C. A contribution to the study of the oil palm (*Elaeis guineensis*, Jacq.). Bull. Jard. Bot., Buitenzorg, 3, 1922 p.107–174 .