



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

GERSON CARLOS PINTO GLORIA

**Alocação de biomassa e a distribuição de raízes do híbrido
interespecífico de palma de óleo (*Elaeis oleifera* x *Elaeis guineensis*)**

BELÉM

2020



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

GERSON CARLOS PINTO GLORIA

**Alocação de biomassa e a distribuição de raízes do híbrido
interespecífico de palma de óleo (*Elaeis oleifera* x *Elaeis guineensis*)**

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

Orientador: Dr. Steel Silva Vasconcelos

BELÉM - PARÁ

2020

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

GERSON CARLOS PINTO GLORIA

**Alocação de biomassa e a distribuição de raízes do híbrido
interespecífico de palma de óleo (*Elaeis oleifera* x *Elaeis guineensis*)**

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

BANCA EXAMINADORA

Dr. Steel Silva Vasconcelos

Orientador

Embrapa Amazônia Oriental

Dr. Michel Keisuke Sato– 1º Examinador

Instituto Federal do Pará

Dr. Gilson Sergio Bastos de Matos – 2º Examinador

Universidade Federal Rural da Amazônia

Dr. Augusto José Silva Pedroso – 3º Examinador

Instituto Federal do Pará

Dra. Maria de Lourdes Pinheiro Ruivo – 4º Examinador

Museu Paraense Emílio Goeldi

Dedico

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

AGRADECIMENTOS

A DEUS, por me conceder força e sabedoria;

A minha esposa Kelly Ferreira, por todo amor, carinho, dedicação e ser a personificação do amor de Deus na minha vida. Te amo.

A meus sogros, Rita Ferreira e José Calazans, por todo carinho e atenção.

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 Maués Junior e Leandro Melo, Priscila Sampaio e Rafael Sampaio, 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, Liliâne Cunha, Raissa Lopes, Cléo Souza, Ivanildo Trindade 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, Crislayne Pacheco, Deborah Teixeira, Ingrid Lobato, Jessyca Camilly, Mylena Manso, Prisco Aranha, Rebeca Duarte, Marcia Pinheiro, Marli dos Santos, Luan da Silva, Laureane Raiol, José Batista, Erika Pacheco, Darlan de Sousa, Daniela da Silva, Ivan Abreu, Milton Sousa, Ivo da Costa 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 CAPES, pela concessão da bolsa.

A FAPESPA, pelo 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. Augusto Pedroso, Dra. Maria de Lourdes e Dr. Gilson Matos.

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

Resumo

O Brasil possui uma extensa área com clima e solo aptos ao plantio de palma de óleo. No entanto, a produção em parte desta área tem sido limitada pela ocorrência da anomalia Amarelecimento Fatal (AF), cujo sintoma inicial é o apodrecimento de raízes de absorção. Esse sintoma pode ser mais severo em materiais genéticos de palma de óleo que apresentem sistema radicular reduzido. Avaliamos características morfológicas de raízes e parte aérea de mudas de três genótipos de palma de óleo com graus diferentes de resistência ao AF: Tenera (sensível), Caiaué (resistente) e Híbrido Interespecífico (resistente). O Híbrido Interespecífico apresentou valores de massa de raízes finas e muito finas superiores em relação ao Caiaué (155 e 99%, respectivamente) e Tenera (228 e 94%, respectivamente). O Híbrido Interespecífico também apresentou valores superiores de comprimento de raízes finas e muito finas em relação ao Caiaué (155 e 99% respectivamente) e Tenera (228 e 94% respectivamente). Em um outro estudo avaliamos 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. Amostras de raízes foram obtidas por meio de coleta de monólitos em trincheiras com 4 metros de comprimento, 50 cm de largura e 290 cm de profundidade. Foram coletados monólitos em 8 camadas (2 – 15, 2 – 30 e 4 de 50 cm de profundidade) e em cada camada, foram coletados 8 monólitos medindo 50 cm de comprimento, 30 de largura e a altura de acordo com a camada coletada. Em laboratório as raízes foram classificadas de acordo com seu diâmetro em primárias ($\geq 5,0$ mm), secundárias (1– 4,9 mm), terciárias (0,5 – 0,9 mm) e quaternárias (0,25 – 0,49 mm). A profundidade de 15-30 cm concentra mais de 50% da DMS total (50,77% TP e 59,91% TC), e destes, 81,49% da DMS é de raízes primárias. As terciárias representam 8,96% do total da DMS de TP e 4,85% de TC e a quantidade de raízes quaternárias na região entre plantas é 78,05% maior do que a quantidade encontrada na região de carreamento. O cultivo de palma de óleo com 8 anos de idade apresenta uma biomassa total de raízes superior à de culturas sazonais, vegetação secundária, cultivo Tradicional, cultivo de Maracujá e pimenta do reino.

Palavras-chave: Densidade de raízes; Dendê; Monolito; Amarelecimento Fatal

Abstract

Brazil has an extensive area with a suitable climate and soil for planting palm oil. However, the production in part of this area has been limited due to the occurrence of the Fatal Yellowing anomaly (AF), whose initial symptom is the rotting of absorption roots. This symptom may be more severe in oil palm genetic materials that have a reduced root system. We evaluated morphological characteristics of roots and shoots of seedlings of three oil palm genotypes with different degrees of resistance to AF: Tenera (sensitive), Caiaué (resistant) and Interspecific Hybrid (resistant). The Interspecific Hybrid showed higher values of thin and very fine root masses in relation to Caiaué (155 and 99%, respectively) and Tenera (228 and 94%, respectively). The Interspecific Hybrid also showed higher values of length of thin and very thin roots in relation to Caiaué (155 and 99% respectively) and Tenera (228 and 94% respectively). In another study, we evaluated the biomass below the ground in a commercial plantation of interspecific oil palm hybrid (*Elaeis oleifera* cortés x *Elaeis guineensis* jacq.), Cultivar BRS Manicoré, in the municipality of Moju, northeastern of the State of Pará. The root samples were obtained by collecting monoliths in trenches 4 meters long, 50 cm wide and 290 cm deep. Monoliths were collected in 8 layers (2 - 15, 2 - 30 and 4 50 cm deep) and in each layer, 8 monoliths measuring 50 cm in length, 30 in width and height were collected according to the collected layer. In the laboratory, the roots were classified according to their diameter into primary (≥ 5.0 mm), secondary (1–4.9 mm), tertiary (0.5 - 0.9 mm) and quaternary (0.25 - 0.49 mm). The depth of 15-30 cm concentrates more than 50% of the total DMS (50.77% TP and 59.91% TC), and of these, 81.49% of the DMS is made up of primary roots. The tertiary ones represent 8.96% of the total DMS of TP and 4.85% of TC and the amount of quaternary roots in the region between plants is 78.05% bigger than the amount found in the carrying region. The cultivation of palm oil at the age of 8 presents a total root biomass higher than that of seasonal crops, vegetation secondary, Traditional cultivation, Passion fruit and black pepper cultivation.

Keywords: Root density; Palm oil; Monolith; Fatal yellowing; leaf area;

Sumário	
1.REFERENCIAL TEÓRICO	1
1.1.Importância da palma de óleo na Amazônia	1
1.2. Palma de óleo	2
1.3.Amarelecimento Fatal	4
1.4.Híbrido interespecífico BRS Manicoré	5
1.5. Sistema radicular de palma de óleo	6
1.6. Biomassa	9
1.7.Método dos monólitos	10
2. ACURÁCIA DE MÉTODOS DE MENSURAÇÃO DO COMPRIMENTO RADICULAR DE PALMA DE ÓLEO	11
2.1 Introdução	13
2.2 Material e Métodos	15
2.3 Resultados e Discussão	18
2.4 Conclusão	21
2.5 Referências	22
3. CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS RADICULARES DE GENÓTIPOS DE PALMA DE ÓLEO COM RESISTÊNCIA DIFERENCIAL AO AMARELECIMENTO FATAL	27
3.1 Introdução	29
3.2 Material e Métodos	30
3.3. Resultados	33
3.4. Discussão	33
3.5. Conclusão	37
3.6. Referências	43
4. DISTRIBUIÇÃO DE BIOMASSA EM PLANTIO DE HÍBRIDO INTERESPECÍFICO DE PALMA DE ÓLEO	47
4.1. Introdução	48
4.2.Material e Métodos	49
4.2.1.Caracterização da área	49
4.2.2.Histórico da área	50

4.2.3. Coleta de raízes	51
4.2.4. Análise Estatística	55
4.3. Resultados e Discussão	55
4.3.1. Densidade de Massa de Seca (DMS) de raízes	55
4.3.2. Densidade de comprimento de raízes (DCR)	57
4.3.3. Biomassa e comprimento total	59
4.4. Conclusão	60
4.5. Referências	72

1.Referencial Teórico

1.1. 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.

1.2. 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).

1.3. 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 EMADE (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).

1.4. 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).

1.5. 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, 2016).

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, 2016). 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, 2016). 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.

1.6. 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).

1.7. 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).

2. Acurácia de métodos de mensuração do comprimento radicular de palma de óleo

Gerson Carlos Pinto Glória ⁽¹⁾; Juciene Trindade. Amador ⁽²⁾; Steel Silva Vasconcelos ⁽²⁾

⁽¹⁾ Universidade Federal Rural da Amazônia, programa de pós-graduação em agronomia, Avenida Presidente Tancredo Neves, Nº 2501 Bairro: Terra Firme, CEP 66.077-830, Belém, PA, Brasil. E-mail: gersoncarllos@hotmail.com, ⁽²⁾ Universidade Federal Rural da Amazônia, Engenharia Ambiental e Energias Renováveis, Avenida Presidente Tancredo Neves, nº 2501, CEP 66077-830 Belém, PA, Brazil ⁽³⁾ Embrapa Amazônia Oriental, Laboratório de Análise de Sistemas Sustentáveis. Trav. Dr. Enéas Pinheiro, s/nº, Bairro: Marco, CEP 66.095-903, Belém, PA, Brasil. E-mail: steel.vasconcelos@embrapa.br

Resumo

O entendimento acerca do desenvolvimento das raízes da palma de óleo e a sua relação no ecossistema servem como base para tomada de decisão tanto de caráter técnico como científico. As raízes também são importantes tanto no contexto ambiental como agrônômico, pois além de serem uma estrutura vital da planta, são um excelente bioindicador de qualidade ambiental. E também, um dos parâmetros comumente usados para avaliar essa relação é o comprimento radicular. Para testar a acurácia das metodologias de análise de imagens (SAFIRA® V.1.1 e ImageJ® V.1.46) e método da interseção (Tennant) na mensuração do comprimento de raízes utilizou-se fios (elétricos e de nylon) e raízes de palma de óleo. Tanto para raízes como para fios utilizou-se 10 amostras, compostas de 5 raízes ou fios, escolhidos aleatoriamente do conjunto de 15 fragmentos, e todas as combinações formadas foram avaliadas por todos métodos. Os resultados obtidos a partir dos métodos de análise de imagens, foram usados para obter um fator de correção e assim corrigir o comprimento de raiz estimado pelos softwares Safira® e ImageJ®. Utilizamos o teste t pareado com n = 10 a 5% de significância para comparação dos métodos com a medição direta (padrão). Os softwares de análise de imagens (Safira e ImageJ) e o Tennant se mostraram ferramentas com acurácia limitada, pois dependendo do diâmetro da raiz, seus resultados diferiram significativamente do

método padrão. A variação do percentual de erro entre as análises de fios e raízes não exibiram um padrão entre estes dois tipos de materiais. O método Tennant apresentou percentuais de erro relativo elevados quando se mensura raízes de palma de óleo, podendo o erro chegar a 6,74%. O Safira se mostrou um Software de análise de raízes limitado, com baixa acurácia em relação às demais ferramentas de mensuração testadas, pois mesmo com o uso de fatores de correção, o mesmo só aumenta de forma significativa em raízes com diâmetro no intervalo entre 0,20-0,99 mm. O ImageJ se mostrou uma excelente ferramenta para análise de raízes de palma de óleo, possibilitando estudos com uma boa acurácia na mensuração e baixo erro relativo quando se usa fatores de correção.

Termos para indexação: Palma de óleo, *Elaeis guineensis*, Diâmetro de raiz, análise de imagens, comprimento de raiz

2.1 Introdução

O sistema radicular de uma planta é considerado como a estrutura responsável pela captação dos recursos abaixo do solo, como água e nutrientes disponíveis, além de exercer a função de sustentação da planta (Taiz & Zeiger, 2006). Para avaliar ou modelar a eficiência da absorção de água e nutrientes pelas raízes, as variáveis comumente estudadas são massa seca, área superficial e comprimento (Nye & Tinker, 1977), principalmente de raízes finas (diâmetro ≤ 2 mm), devido a sua maior relevância na absorção de água e nutrientes (Schroth, 1999).

De forma geral, a medição dessas variáveis é extremamente trabalhosa e demorada (Böhm, 1979). Assim, há muita necessidade de pesquisar métodos que minimizem o esforço e o tempo nos estudos de raízes.

Dados de comprimento específico de raiz e área superficial são muito limitados por conta da insuficiência de estudos que envolvem a mensuração do comprimento de raízes. Os métodos disponíveis na literatura como método da interseção (Marsh, 1971; Newman, 1966; Tennant, 1979) e de medição direta (Ahlrichs et al., 1990) são considerados como padrões para avaliação do comprimento radicular, porém, demandam muito tempo e mão-de-obra (Tennant, 1979; Zoon & Tienderen, 1990) e apresentam uma baixa acurácia por conta da subjetividade humana (Judd et al., 2015); o erro em medições de raízes (medição direta e método da interseção) pode variar entre 2 a 5% (Newman, 1966; Reicosky et al., 1970).

Softwares de análise automática e semiautomática possibilitam estimar comprimento, área e diâmetro de raízes utilizando imagens de raízes (Delory et al., 2017; Vamerli et al., 2003) mais eficientemente do que métodos de medição direta. A exemplo destes softwares podemos citar o Safira, desenvolvido pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), e o ImageJ, desenvolvido pelo National Institute of Health (NIH), E.U.A., ambos com a vantagem de acesso livre. No entanto, não se tem

registros da utilização dessas ferramentas para raízes grossas (> 2 mm), pois nos estudos que avaliaram a acurácia tanto do Safira como do ImageJ (Delory et al., 2017; Costa et al., 2014; Tanaka et al., 1995) se limitaram a estudar apenas raízes finas (≤ 2 mm) de culturas de ciclo curto, principalmente pela importância das raízes finas na absorção de água e nutrientes.

As raízes grossas (>2 mm) também possuem importância dentro do contexto agrônomo, como exemplo, a palma de óleo (*Elaeis guineensis*), uma cultura perene cujas raízes grossas (cerca de 84% da biomassa total de raízes) são responsáveis pela sustentação da planta (Gloria, 2016). É uma commodity de origem africana, cujo óleo extraído do seu fruto representa a principal matéria prima da indústria de oleaginosas no mundo (Corley & Tinker, 2016). Compreende 38,82% do óleo vegetal comercializado no mundo, com um total de 70 milhões de toneladas de óleo (entre 2017/2018), e o Brasil representa 0,72% deste total (USDA, 2018).

Apesar de sua importância econômica, é uma cultura que sofre pela escassez de estudos relacionados ao seu sistema radicular quando comparamos com culturas de ciclo curto, principalmente pela não separação das raízes em classes de diâmetros. Entre as variáveis estudadas como biomassa de raízes (Jourdan et al., 2000; Sommer et al., 2000; Cuesta et al., 2010; Kiyono et al., 2015; Corley et al., 1971; Rees & Tinker, 1963; Sanquetta et al., 2015), arquitetura do sistema radicular (Jourdan & Rey, 1996; Jourdan & Rey, 1997a; Jourdan & Rey, 1997b) e comprimento de raízes (Yahya et al., 2010) a biomassa de raízes possui um número considerável de estudos, devido à metodologia para análise das amostras serem simples e bem estabelecidas, porém poucos fazem a distinção entre classes de diâmetro de raízes ou estudam o sistema radicular completo. Por isso, é necessário estabelecer protocolos que possibilitem a mensuração do comprimento de

raízes de forma a abranger todas as classes de raízes de uma cultura de forma simples e com boa acurácia.

Nosso objetivo foi avaliar a acurácia de métodos com potencial de uso em estudos do comprimento radicular de palma de óleo.

2.2 Material e Métodos

O estudo foi realizado no Laboratório de Análises de Sistemas Sustentáveis (LASS) da Embrapa Amazônia Oriental, entre agosto e outubro de 2017. Utilizamos fios elétricos e de *nylon* com diâmetros conhecidos e segmentos de raízes de palma de óleo para avaliar a acurácia dos métodos (Tennant, Softwares de análise de imagens) e obter fatores de correção.

Em abril de 2017, coletamos raízes de híbrido interespecífico de palma de óleo (*Elaeis oleifera* x *Elaeis guineensis*), em um plantio comercial da empresa Marborges S/A, localizado no Município de Moju, Estado do Pará. As plantas estavam em um espaçamento de 9 m x 9 m, em triângulo equilátero. As raízes foram coletadas a 1 metro de distância da planta na camada 0-30 cm do solo. Em laboratório, as raízes foram lavadas em água corrente e armazenadas em câmara fria a 5 °C. Após 1 dia, separamos as raízes por classe de diâmetro: primárias (5-10 mm), secundárias (1-4,9 mm), terciárias (0,5-0,9 mm) e quaternárias (0,2-0,49 mm) (adaptado Corley & Tinker , 2016).

Após a classificação, selecionamos ao acaso 15 raízes de cada classe de diâmetro e cortamos as primárias, secundárias e terciárias em segmentos de aproximadamente 10 cm. Devido à ausência de raízes quaternárias com comprimento maior ou igual a 10 cm, selecionamos os 15 segmentos mais longos (média de 3,3 cm) dessa classe de raiz. Para cada classe de diâmetro, formamos 10 amostras, cada uma composta de 5 segmentos de

raízes, escolhido aleatoriamente entre os 15 segmentos de raiz, havendo reposição de segmentos para formar diferentes combinações (amostras).

Para determinar a diferença percentual das estimativas dos outros métodos (Tennant, Safira e ImageJ) em relação ao método padrão, utilizamos fios com diâmetros de 6,9, 2,75, 0,75 e 0,35 mm, respectivamente próximos do valor intermediário do intervalo de diâmetro das raízes primárias, secundárias, terciárias e quaternárias. Usamos fios elétricos para os diâmetros maiores (2,75 e 6,9 mm) e fios de nylon para os demais. Pintamos os fios com tinta automotiva do tipo spray na cor preta para uniformizar a coloração e melhorar o contraste para a captura da imagem pelo scanner. Em seguida, cortamos os fios em segmentos de aproximadamente 10 cm de comprimento.

No método de medição direta (MD), considerado como método de referência (padrão) neste estudo, medimos novamente o comprimento de cada segmento de raiz ou fio com régua milimetrada.

No método da interseção (Tennant, 1975), as amostras foram dispostas aleatoriamente, porém sem sobreposição de raízes, sobre uma folha de papel tamanho A4. Usamos papel com quadrículas de 2 cm x 2 cm para raízes primárias e fios de 6,9 mm de diâmetro e quadrículas de 1 cm x 1 cm para as demais classes de raízes e fios. Utilizamos a fórmula $L = 1,5714 \times N \times G$ para raízes primárias e fios de 6,9 mm de diâmetro e $L = 0,7857 \times N \times G$ para as demais classes de diâmetros, sendo L o comprimento total, N o número de interseções, e G a unidade da quadricula (Tennant, 1975). Por fim, computamos o tempo gasto para obter os resultados de comprimento total de cada amostra.

Nos métodos de análise de imagens, inicialmente realizamos a digitalização das amostras de raízes e fios com um *scanner* de mesa da marca Canon, modelo 280 pix, com resolução 319 x 418 DPI. Junto às amostras colocamos uma régua de 10 cm, graduada

em milímetros, para possibilitar a calibração da escala nos programas. Em seguida, cada imagem foi convertida em imagem binária. O tempo médio de aquisição das imagens e sua conversão em binárias foi 1,3 minuto, e este foi adicionado ao tempo médio nas análises de cada software. Analisamos as imagens com os softwares SAFIRA® V.1.1 (Jorge & Silva, 2010), desenvolvido pela Embrapa, e o plugin Smartoot do ImageJ® V.1.46 (ImageJ, 1997), desenvolvido pela National Institute of Health, E.U.A (figura 1).

No ImageJ®, inserimos a informação de pixels/cm (obtida utilizando a opção de calibração do software e a régua na imagem) para calibração, porque permite maior acurácia dos resultados quando se usa informação de DPI (resolução) da imagem. Para raízes primárias, secundárias e terciárias, usamos o valor de 31,500 pixels/cm, e, para quaternárias, usamos o valor de 23,802 pixels/cm. Para fios, usamos 23,601 pixels/cm (6,9 e 2,5 mm), 158,16 (0,7 mm) e 156,91 (0,35 mm). Utilizamos a ferramenta de traçar raiz (Trace-root) por ser mais precisa e devido a falhas na mensuração (omissão de fragmentos na análise) da raiz no modo automático (Automatic Drawing) quando analisamos terciárias e quaternárias.

Inicialmente calibramos o Safira usando a escala (régua) inserida em cada imagem. Ajustamos a limiarização e, em seguida, realizamos os procedimentos de análise.

Os resultados obtidos na análise de raízes nos softwares Safira e ImageJ® foram usados para obter os fatores de correção (FC) de cada classe de raiz. Estes fatores de correção foram obtidos a partir da equação: $FC = \frac{LR-LE}{LR}$, sendo FC o percentual de comprimento (Fator de correção), LR comprimento real das raízes (determinado no método manual) e LE o comprimento estimado pelo software. Para correção dos comprimentos de raízes, usamos a equação $LC = LE \times (LE-FC)$, em que LC é o comprimento corrigido e LE o comprimento estimado. Sorteamos novamente 10 outras amostras de raízes (5 imagens individuais de raízes em cada amostra), de palma de óleo,

obedecendo a mesma quantidade de raízes por amostra, assim como o número total de amostras do teste anterior (1 imagem contendo 5 fragmentos de raízes por amostra) e as analisamos com os softwares. Em seguida, os resultados desta análise foram corrigidos utilizando os fatores de correção de cada classe de raiz.

Utilizamos o teste t pareado com $n = 10$ a 5% de significância para comparação dos métodos com a medição direta (padrão). Em raízes secundárias e quaternárias com correção, usamos a estatística não paramétrica. A análise estatística foi conduzida utilizando o software Sigmaplot versão 12.0.

2.3 Resultados e Discussão

Para analisar raízes, os softwares de análise de imagens (Safira e ImageJ) e o método de Tennant apresentaram acurácia limitada; para algumas classes de diâmetro de raiz, as estimativas desses métodos diferiram significativamente do método padrão (Medição Direta). O comprimento estimado pelo Safira diferiu significativamente do valor determinado pelo método padrão para todas as classes de raízes (Tabela 1). O tempo médio gasto para mensurar cada classe de raiz variou entre 2 e 4 min com o Safira. O ImageJ foi acurado para estimar o comprimento de raízes quaternárias, mas para as demais classes de raízes (Primária, Secundária e Terciária), as estimativas diferiram significativamente do método padrão. O tempo para análise de cada classe de raiz foi de 5,30 a 10 min aproximadamente com o ImageJ. O método Tennant não diferiu do método padrão em duas classes de raízes (terciárias e quaternárias) e o tempo médio para análise variou entre e 1,00 e 1,20 min. Embora em outros estudos (Kimura et al., 1999; Delory et al., 2017) o ImageJ tenha analisado raízes em um tempo menor que outros métodos avaliados por conta da utilização da análise automática (automatic drawing), sua acurácia

é fortemente afetada, podendo o erro relativo do comprimento de raízes chegar a 7% (Tanaka et al. 1995).

A acurácia de cada método foi avaliada também com base na estimativa com fios. A estimativa do comprimento de fios de 0,35 mm com o método de Tennant e o ImageJ não diferiu do valor estimado pelo método padrão (Tabela 2); no entanto, o ImageJ subestima o comprimento em 0,24% e o Tennant superestima em 0,66% neste diâmetro. Kimura et al. (1999) verificaram que os resultados do ImageJ não diferiram da medição direta com arames de 0,3 mm de diâmetro. Nos resultados com fios de 6,9 mm, o Safira não apresentou diferença estatística com o de medição direta. Nos demais diâmetros, os resultados foram diferentes do método padrão (MD). Porém, o ImageJ apresentou o menor percentual de erro relativo de raízes primárias, secundárias e terciárias em comparação aos demais métodos.

A variação do percentual de erro entre as análises de fios e raízes não exibiu um padrão claro (Tabela 3), ou seja, para uma determinada classe de diâmetro de raiz e seu respectivo padrão de fio, houve tanto super como subestimativa, dependendo do método de estimação do comprimento radicular, como relatado por Delory et al (2017). No método Tennant o maior intervalo do diâmetro das secundárias (1,0-4,9 mm) pode ter gerado o alto percentual de erro das raízes, visto que não se verificou este percentual de erro nos fios de 2,5 mm.

O método Tennant está sujeito a fontes de erros que os softwares de análise de imagem não apresentam, como omissão involuntária de interseções, erro na interpretação de interceptação usando as diretrizes da Tennant, fadiga do operador e variação entre operadores (Delory et al., 2017). Isso pode representar um erro de 10% em análise individual de cada operador e de 7% pela variação do rearranjo diário (diferentes critérios de disposição das raízes) (Bland & Mesarch, 1990).

Em uma nova análise de raízes usando apenas os softwares Safira e ImageJ e utilizando os erros relativos de cada classe de raiz obtidos pela equação $LC = LE - FC$ para corrigir os resultados, o Safira apresentou acurácia limitada (Tabela 4). Mesmo aplicando os fatores de correção, os seus resultados de primárias (5-10 mm) e secundárias (1-4,9 mm) diferiram estatisticamente do método padrão (MM). Desta forma, o uso de fatores de correção é útil apenas quando os diâmetros de raízes estiverem no intervalo entre 0,35 e 0,99 mm.

A estimativa do ImageJ sem correção não diferiu estatisticamente do método padrão para duas classes de raízes (Primárias e Quaternárias) (Tabela 4). Com a aplicação do fator de correção (Tabela 5) nenhuma das estimativas com ImageJ diferiu dos valores do método de medição direta (Tabela 4).

O ImageJ geralmente subestima o comprimento radicular (Tanaka et al., 1995) consistente com a subestimativa do comprimento radicular de primárias (0,43%), secundárias (1,09%) e quaternárias (0,38 %) encontradas neste estudo. superestimou em 0,56 % (Terciária).

Apesar da acurácia adequada do ImageJ, esta ferramenta apresentou o maior tempo de análise de imagens em relação aos demais métodos, incluindo o método direto (Tabela 1). No entanto, a nossa estimativa de tempo não considerou o tempo gasto para separar as raízes de classes de diâmetro diferentes. Esse procedimento não é necessário para o método de análise de imagens com o ImageJ porque a estimativa que esta ferramenta possibilita não é afetada pela sobreposição de raízes que naturalmente ocorre em um sistema radicular intacto. Na medição direta, entretanto, é necessário uma prévia separação de raízes em classes de diâmetro (primárias, secundárias, etc.) para reduzir a variância na estimativa de comprimento devido a sobreposição das raízes (Tennant, 1988). Assim, o tempo gasto no método direto foi subestimado no nosso estudo.

2.4 Conclusão

1. O método Tennant apresentou percentuais de erro relativo elevados quando se mensura raízes de palma de óleo, podendo o erro chegar a 6,74%.

2. O Safira se mostrou um Software de análise de raízes limitado, com baixa acurácia em relação aos demais métodos testados e mesmo com o uso de fatores de correção, o mesmo só pode ser usado em raízes com diâmetro no intervalo entre 0,35-0,99 mm.

3. O ImageJ se mostrou uma excelente ferramenta para análise de raízes de palma de óleo, possibilitando resultados com uma boa acurácia quando se usa fatores de correção (tabela 5) e baixo erro relativo.

Agradecimentos

À FAPESPA, pela concessão da bolsa e financiamento do projeto. Ao programa de Pós Graduação em Agronomia da Universidade Federal Rural da Amazônia. À Empresa Marborges S/A e Embrapa Amazônia Oriental pelo suporte logístico e apoio técnico.

2.5 Referências

- AHLRICH, J.L.; KARR, M.C.; BALIGAR, V.C.; WRIGHT, R.J. Rapid bioassay of aluminum toxicity in soil. **Plant and Soil**, v.122, p.279-285, 1990.
- BÖHM, W. Methods of studying root systems. New York, **Springer-Verlag**, p.194, 1979.
- BLAND, W.L.; MESARCH, M.A. Counting error in the line-intercept method of measuring root length. **Plant and Soil**, v.125, p.155-157, 1990.
- CORLEY, R. H. V.; TINKER, P. B. **The oil palm**. Oxford: Blackwell Science, 2016. 692p.
- COSTA, M. C. G.; CUNHA, I. M. L.; JORGE, L. A. C.; ARAÚJO, I. C. S. Public-Domain Software For Root Image Analysis. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.38, p.1359-1366, 2014.
- CUESTA, R.R.; PÉREZ, S.B., ROJAS, E.A.P. Root system distribution of oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) in Tumaco, Colombia. **PALMAS**, v.18, p.9, 1997.
- DELORY, B.M.; WEIDLICH, E.W.A.; MEDER, L.; LÜTJE, A.; DUIJNEN, R.V.; WEIDLICH, R.; TEMPERTON, V.M. Accuracy And Bias Of Methods Used For Root Length Measurements In Functional Root Research. **Methods in Ecology and Evolution**, v.8, p.1594-1606, 2017.
- GLORIA, G. C. P. **Biomassa de raízes em plantio de híbrido interespecífico de Palma de óleo no leste da Amazônia**. 2016. 54p. Tese (mestrado) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém.
- IMAGEJ, 1997. **Image processing and Analysis in Java**. Disponível em: <https://imagej.nih.gov/ij/>. Acesso em: 30 maio 2017.
- JORGE, L. A. C.; SILVA, D. J. C. B. **SAFIRA: manual de utilização**. Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2010. Disponível em: www.cnpdia.embrapa.br
- JOURDAN, C.; FERRIERE-MICHAUX, N.; PERBAL, G. Root system architecture and gravitropism in the oil palm. **Annals of Botany**, v.85, p.861-868, 2000.
- JOURDAN, C.; REY, H. Architecture and development of the oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) root system. **Plant and Soil**, v.189, p.33-48, 1997a.
- JOURDAN, C.; REY, H. Modelling and simulation of the architecture and development of the oil-palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) root system. **Plant and Soil**, v.190, p. 235-246, 1997b.
- JOURDAN, C.; REY, H. Oil palm root architecture: modelling and simulation. **Plantations, recherche, développement**, p.324-327, 1996.
- JUDD, L. A.; JACKSON, B. E.; FONTENO, W. C. Advancements in Root Growth Measurement Technologies and Observation Capabilities for Container-Grown Plants. **Plants**, v.4, p.369-392, 2015.
- KIMURA, K.; KIKUCHI, S.; YAMASAKI, S. Accurate root length measurement by image Analysis. **Plant and Soil**, p.117-127, 1999.

- KIYONO, Y.; MONDA Y.; TORIYAMA, 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 Forestry and Forest Products Research Institute**, v.14, p.147-158, 2015.
- MARSH, B. a'B. Measurement of length in random arrangements of lines. **Journal of Applied Ecology**, v.8, p.265-267, 1971.
- NEWMAN, E. I. A method of estimating the total length of root in a sample. **Journal of Applied Ecology**, v.3, p.139-145, 1966.
- NYE, P.H.; TINKER, P.H. Solute Movement in the Soil-Root System. **Blackwell Scientific Publications**, Oxford, 1977.
- OSTONEN, I.; PÜTTSEPP, Ü.; BIEL, C.; ALBERTON, O.; BAKKER, M. R.; LÖHMUS, K.; MAJDI, H.; METCALFE, D.; OLSSTHOORN, A. F. M.; PRONK, A.; VANGUELOVA, E.; WEIH, M.; BRUNNER, I. Specific root length as an indicator of environmental change, **Plant Biosystems - An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology**, v.141, p.426-442. 2007. DOI:10.1080/11263500701626069
- REES, A.R.; TINKER, P.B. Dry-matter production and nutrient content of plantation oil palms in Nigeria. I. Growth and dry-matter production. **Plant and Soil**, v.19, p.19-32, 1963.
- REICOSKY, D. C.; MILLINGTON, R. J.; PETERS, D. B. A comparison of three methods for estimating root length. **Agronomy Journal**, v. 62, p. 451-453, 1970.
- SANQUETTA, C.R.; NETTO, S. P.; CORTE, A. P. D.; RODRIGUES, A. L.; BEHLING, A.; SANQUETTA, M. N. I. Quantifying biomass and carbon stocks in oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) in Northeastern Brazil. **African Journal of Agricultural Research**, v.10, p.4067-4075, 2015.
- SCHROTH, G. A review of belowground interactions in agroforestry, focussing on mechanisms and management options. **Agroforestry Systems**, v.43, p.5-34, 1999.
- SOMMER, R.; DENICH, M.; VLEK, P.L.G. Carbon storage and root penetration in deep soils under small-farmer land-use systems in the Eastern Amazon region, Brazil. **Plant and Soil**, v.219, p.231-241, 2000.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3.ed. Porto Alegre: Artmed, 2006. 722p.
- TANAKA, S.; YAMAUCHI, A.; KONO, Y. Easily Accessible Method for Root Length Measurement Using an Image Analysis System. **Japan Journal Crop Science**, v.64. p. 144-147, 1995.
- TENNANT, D. A test of a modified line intersect method of estimating root length. **Journal of Ecology**, v.63, p.995-1001, 1975.
- USDA. United States Department of Agriculture. **Oilseeds: World Market and Trade**. 2018. Disponível em: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/app/index.html#/app/compositeViz>. Acesso em: 25 Jun. 2018.
- VAMERALI, T.; GANIS, A.; BONA, S.; MOSCA, G. Analysis of root images from auger sampling with a fast procedure: a case of application to sugar beet. **Plant and Soil**, v.255, p.387-397, 2003.

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**. v.7, p.343-348, 2010.

ZOON F.C.; TIENDEREN, V.P.H. A rapid quantitative measurement of root length and root branching by microcomputer image analysis. **Plant and Soil**, v.126, p.301-308, 1990.

Tabela 1. Resultados de comprimento de raízes Primárias, Secundárias, Terciárias e Quaternárias de palma de óleo. Valores são médias de comprimento (n=10) ± desvio padrão. Asteriscos identificam resultados estatisticamente diferentes aos de medição direta (MD) (Padrão) com teste t a 5%.

Método	PRIMÁRIA		SECUNDÁRIA		TERCIÁRIA		QUATERNÁRIA	
	Comprimento (Cm)	Tempo						
MD	51,06 ± 0,10*	00:23,56	50,66 ± 0,04*	00:29,07	50,59 ± 0,09*	00:36,35	16,62 ± 0,21*	00:55,60
TENNANT	54,37 ± 1,20*	01:21,28	46,83 ± 0,43*	01:21,27	50,13 ± 0,59	01:24,39	16,66 ± 0,52	01:12,83
SAFIRA	53,65 ± 0,49*	02:16,45	52,02 ± 0,19*	02:38,82	53,24 ± 0,20*	02:51,78	17,02 ± 0,17*	03:36,47
IMAGEJ	50,84 ± 0,16*	05:31,29	50,10 ± 0,06*	05:56,77	50,88 ± 0,12*	10:03,89	16,54 ± 0,20	07:52,47

Tabela 2. Resultados de comprimento de fios (Cm) de diferentes diâmetros (mm) e percentual de erro relativo. Valores são médias de comprimento (n=10) ± desvio padrão. * identificam resultados estatisticamente diferentes aos de medição direta (MD)(Padrão) ao teste t pareado a 5%.

Método	COMPRIMENTO DE FIOS (Cm)							
	6,95	Erro (%)	2,5	Erro (%)	0,75	Erro (%)	0,35	Erro (%)
MD	50,2	-	50	-	50	-	50,11	-
TENNANT	53,58*	6,74	51,54*	3,08	51,78*	3,56	50,44	0,66
SAFIRA	50,21	0	53,56*	6,58	51,46*	2,41	52,32*	4,21
IMAGEJ	49,40*	-1,6	50,20*	0,4	49,70*	-0,59	49,99	-0,24

Tabela 3. Erro relativo associado com a estimativa do comprimento de raízes de palma de óleo por diferentes métodos. Sinais negativos e positivos mostram resultado subestimado (-) ou superestimado (+) respectivamente.

Método	Raiz Primária		Raiz Secundária		Raiz Terciária		Raiz Quaternária	
	Fio 6,5 mm	%	Fio 2,5 mm	%	Fio 0,75 mm	%	Fio 0,35 mm	%
Tennant	6,51	6,74	-7,55	3,08	-0,91	3,56	0,23	0,66
Safira	5,07	0,00	2,69	6,58	5,23	2,41	2,68	4,21
ImageJ	-0,43	-1,60	-1,09	0,40	0,56	-0,59	-0,48	-0,24

Tabela 4. Resultados de comprimento de raízes Primárias, Secundárias, Terciárias e Quaternárias de palma de óleo. Valores são médias de comprimento (n=10) ± desvio padrão. * identificam resultados estatisticamente diferentes aos de medição direta (MD) (Padrão) ao teste t pareado a 5%.

	MD		Safira				ImageJ			
	Comprimento (cm)	S/ Correção (cm)	C/ Correção (cm)	p	%	S/ Correção (cm)	C/ Correção (cm)	p	%	
Primária	51,13 ± 0,08	52,98 ± 0,36*	50,30 ± 0,34*	0,06	1,54	50,91 ± 0,07	51,13 ± 0,07	0,84	-0,03	
Secundária	50,56 ± 0,05	54,43 ± 0,52*	52,97 ± 0,51*	0,08	4,37	50,37 ± 0,04*	50,81 ± 0,12	<0,05	0,49	
Terciária	50,63 ± 0,05	54,02 ± 0,17*	51,20 ± 0,16	0,01	1,13	51,08 ± 0,18*	50,79 ± 0,18	0,40	0,33	
Quaternária	16,54 ± 0,23	16,68 ± 0,19*	16,24 ± 0,18	0,11	1,81	16,34 ± 0,24	16,40 ± 0,24	0,56	0,80	

Tabela 5. Fator de correção para estimativa do comprimento de raízes de palma de óleo com o software ImageJ®. Sinais negativos e positivos mostram resultado subestimado (-) ou superestimado (+) respectivamente.

Método	Raízes (%L)			
	Primária	Secundária	Terciária	Quaternária
ImageJ	-0,43	-1,09	0,56	-0,38

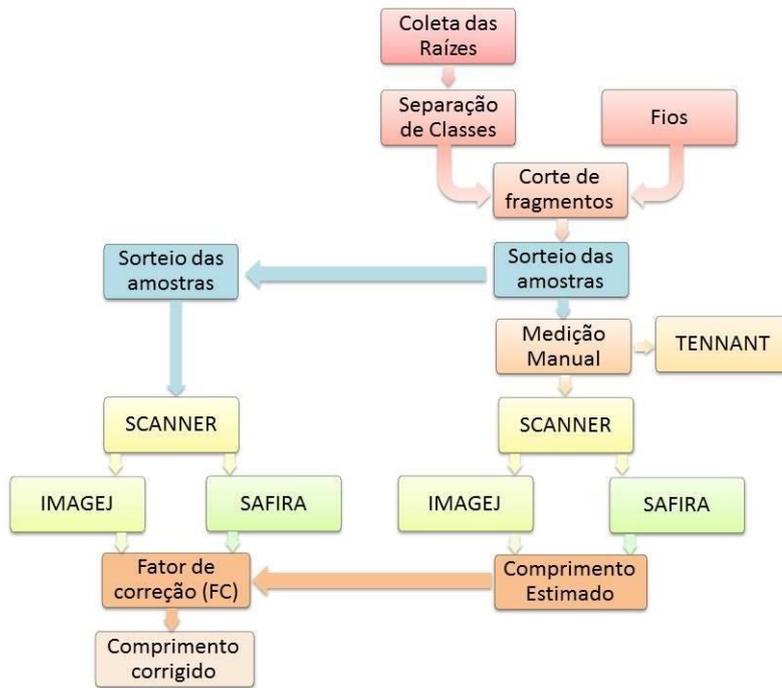


Figura 1. Fluxograma esquemático dos processos de análise do estudo

3. Características morfológicas radiculares de genótipos de palma de óleo com resistência diferencial ao Amarelecimento Fatal

Gerson Carlos Pinto Gloria^a, Steel Silva Vasconcelos^b, Rui Alberto Gomes Junior^b, Alessandra de Jesus Boari^b. Marcelo Murad Magalhães^b

^(a) Universidade Federal Rural da Amazônia, Programa de Pós-graduação em Agronomia, Avenida Presidente Tancredo Neves, Nº 2501 Bairro: Terra Firme, CEP 66.077-830, Belém, PA, Brasil. E-mail: gersoncarlos@hotmail.com,^(b) Embrapa Amazônia Oriental. Trav. Dr. Enéas Pinheiro, s/nº, Bairro: Marco, CEP 66.095-903, Belém, PA, Brasil. E-mail: steel.vasconcelos@embrapa.br

Resumo

O Brasil possui uma extensa área com clima e solo aptos ao plantio de palma de óleo. No entanto, a produção em parte desta área tem sido limitada pela ocorrência da anomalia Amarelecimento Fatal (AF), cujo sintoma inicial é o apodrecimento de raízes de absorção. Esse sintoma pode ser mais severo em materiais genéticos de palma de óleo que apresentem sistema radicular reduzido. Avaliamos características morfológicas de raízes e parte aérea de mudas de três genótipos de palma de óleo com graus diferentes de resistência ao AF: Tenera (sensível), Caiaué (resistente) e Híbrido Interespecífico (resistente). A biomassa da parte aérea não variou estatisticamente entre os materiais genéticos. Massa, comprimento e área de raízes finas e muito finas foram significativamente maiores no Híbrido Interespecífico do que no Caiaué e no Tenera. O Híbrido Interespecífico apresentou valores de massa de raízes finas e muito finas superiores em relação ao Caiaué (155 e 99%, respectivamente) e

Tenera (228 e 94%, respectivamente). O Híbrido Interespecífico também apresentou valores superiores de comprimento de raízes finas e muito finas em relação ao Caiuê (155 e 99% respectivamente) e Tenera (228 e 94% respectivamente). As características radiculares do Híbrido Interespecífico e do Tenera são compatíveis com sua resistência diferencial ao AF. Nossos resultados demonstram a importância de ampliar o estudo da relação entre morfologia radicular e resistência ao AF destes materiais genéticos em condições que favoreçam a ocorrência da anomalia, como alagamento.

Abstract

Brazil has an extensive area with climate and soil suitable for planting oil palm. However, production in part of this area has been limited by the occurrence of the Fatal Yellowing (AF) anomaly, whose initial symptom is the decay of absorption roots. This symptom may be more severe in genetic materials of oil palm that have a reduced root system. We evaluated morphological characteristics of roots and shoots of seedlings of three oil palm genotypes with different degrees of resistance to AF: Tenera (sensitive), Caiuê (resistant) and Interspecific Hybrid (resistant). The shoot biomass did not vary statistically between genetic materials. Mass, length and area of fine and very fine roots were significantly higher in the Interspecific Hybrid than in Caiuê and Tenera. The Interspecific Hybrid showed higher values of fine and very fine root mass in relation to Caiuê (155 and 99%, respectively) and Tenera (228 and 94%, respectively). The Interspecific Hybrid also showed higher values of fine and very fine root length in relation to Caiuê (155 and 99% respectively) and Tenera (228 and 94% respectively). The root characteristics of the Interspecific Hybrid and Tenera are compatible with their differential resistance to AF. Our results demonstrate the importance of expanding the study of the relationship between root morphology and AF resistance of these genetic materials in conditions that favor the occurrence of the anomaly, such as flooding.

3.1 INTRODUÇÃO

O óleo de palma é amplamente utilizado no mundo, principalmente para alimentação (71%) e produção de cosméticos (24%) e de energia (5%) (USDA, 2019). O Brasil é o quinto maior produtor de óleo de palma (Abrapalma, 2019) e produz anualmente cerca de 360.000 ton de óleo de palma e 30.000 ton de óleo de palmiste. Esse volume de produção é insuficiente para atender à demanda interna — 506.071 ton e 233.000 ton, respectivamente (MAPA 2018). Portanto, há grande necessidade de expandir o cultivo de palma de óleo para minimizar a forte dependência das importações.

A Amazônia brasileira apresenta condições de solo e clima favoráveis ao cultivo da palma de óleo e concentra 91% do total de área plantada dessa cultura no Brasil. Contudo, a expansão da cultura em alguns locais da Amazônia brasileira tem sido limitada pela ocorrência de uma anomalia conhecida como amarelecimento fatal (AF). O AF causa amarelecimento dos folíolos basais das folhas intermediárias e, com o passar do tempo, pode resultar na seca total da planta, e, conseqüentemente, na sua morte (Duff, 1963; Turner, 1981; Trindade et al., 2005).

No solo, o AF causa apodrecimento de raízes, reduzindo o crescimento de raízes terciárias e quaternárias (Albertazzi et al., 2005). Assim, plantas suscetíveis apresentam sistema radicular reduzido em relação a plantas saudáveis (Ayala, 2001). O apodrecimento do sistema radicular é um sintoma primário do AF (Van Slobbe, 1991), pois surge antes dos sintomas foliares.

Existe relação direta entre altos índices pluviométricos e desenvolvimento de ambiente favorável (por exemplo, menor aeração do solo) para o surgimento do AF (Turner 1981; Monge et al. 1993; Alvarado et al. 1997; Chinchilla & Durán 1998, 1999, De Franqueville 2001; Venturieri et al., 2009). Alagamentos ou elevação do lençol freático afetam o desenvolvimento do sistema radicular da palma de óleo, reduzindo significativamente a densidade de raízes (Albertazzi et al., 2009). Entretanto, em alguns casos, estes efeitos negativos nas raízes não se manifestam na parte aérea (Da Ponte et al., 2018, Kastelein et al., 1990).

De acordo com o princípio do equilíbrio funcional (Le Chatelier, 2010), um sistema estável sob estresse sofre alterações morfológicas na direção de minimizar o estresse. Essas alterações são respostas da alocação de biomassa para diferentes órgãos da planta e podem ser governadas por fatores genéticos (Poorter & Nagel, 2000). Alterações em biomassa geralmente são acompanhadas por mudanças em outras variáveis secundárias (arquitetura, densidade, volume), as quais são diretamente ou indiretamente afetadas pelo estresse (Szaniawski, 1983). Por isso, a resistência ao AF pode estar relacionada a maior ou menor capacidade da planta em minimizar os efeitos negativos do balanço hídrico, por meio de órgãos de captação, principalmente estimulando o desenvolvimento do sistema radicular e a translocação de assimilados (Da Ponte et al, 2018).

O híbrido interespecífico de palma de óleo (*Elaeis oleifera* x *Elaeis guineensis*), material genético resistente ao AF, tem sido plantio em áreas vulneráveis à ocorrência dessa anomalia. Há diferença morfológica da parte aérea entre o HIE e a palma de óleo africana (*Elaeis guineensis*) (Corley & Tinker, 2016). Possivelmente o sistema radicular desses materiais genéticos também sejam diferentes. Por exemplo, apesar da maior concentração de raízes do Caiuê se encontram na região de emergência do estipe procumbente, e este é dotado de uma quantidade considerável de raízes adventícias que se desenvolvem após o tombamento da planta. Em contrapartida, tanto o Tenera quanto o Híbrido concentram suas raízes na região de emergência do estipe (Corley & Thinker, 2016). Por isso, nosso objetivo foi avaliar alguns parâmetros morfológicos do sistema radicular e parte aérea desses genótipos para fornecer subsídios ao entendimento da resistência diferencial desses materiais ao AF.

3.2 Material e Métodos

Em 2017, desenvolvemos este estudo no Laboratório de Análises de Sistemas Sustentáveis (LASS) da Embrapa Amazônia Oriental, em Belém-PA, Brasil (48°26'45"W e 1°26'31"S). Avaliamos mudas de Híbrido (HIE), Tenera (*Elaeis guineensis* x *Elaeis guineensis*) e Caiuê (*Elaeis oleifera*) cultivadas em casa de vegetação. Plantamos sementes oriundas do banco de germoplasma da

Embrapa Amazônia Ocidental (24/10/2016) em sacos de polietileno preto (15 X 28cm), preenchidos com substrato de terra e esterco de galinha. As mudas cresceram sob as mesmas condições de luminosidade e manejo na casa de vegetação.

2.2.1 Biomassa da parte aérea

Para avaliar a biomassa da parte aérea, identificamos as folhas de cada muda, iniciando pela folha flecha (folha 1 neste estudo); numeramos as demais folhas seguindo a disposição em espiral até a última folha verde. Destacamos todas as folhas por meio de corte basal no pecíolo, restando ao final apenas o bulbo, que cortamos próximo à inserção das raízes.

Em seguida, separamos o pecíolo do limbo foliar. Capturamos imagens (300 dpi) de cada limbo foliar com *scanner* de mesa da marca Epson, modelo J371A, e as convertimos em imagens binárias com o *software* ImageJ® V.1.46, National Institute of Health, EUA. Utilizamos uma escala milimetrada em cada imagem gerada utilizamos uma escala milimetrada em cada imagem gerada para calibração do software. Realizamos este procedimento em 10 diferentes imagens com o mesmo valor de DPI e usamos a média (118.20 pixel/cm) como resolução padrão em toda a avaliação da área foliar. Secamos o limbo foliar, pecíolo e bulbo em estufa de circulação forçada (65 °C, 72 horas) e os pesamos em balança de precisão de 3 casas decimais. Somamos a massa seca foliar total (limbo+pecíolo) com a massa seca do bulbo para determinar a biomassa total da parte aérea.

2.2.2 Biomassa de raízes

Para avaliar a biomassa de raízes, lavamos o sistema radicular de cada planta com água corrente sobre um conjunto de peneiras em sequência decrescente de malha (2 e 0,30 mm). Em seguida, separamos as raízes de acordo com as seguintes classes de diâmetro: grossas (>1 mm), finas (0,50-0,99 mm) e muito finas (0,25-0,49 mm). De cada amostra, escaneamos uma subamostra de aproximadamente 10, 1,0 e 0,5 g de cada classe de raiz (grossa, fina e muito fina, respectivamente). Secamos a amostra e as subamostras de

todas as raízes em estufa de circulação forçada (65 °C, 72 horas). Calculamos a biomassa total do sistema radicular por meio da soma da biomassa das classes de raízes (massa seca das amostras + respectivas subamostras de raízes de cada classe de diâmetro) de cada planta.

Utilizamos o plugin SmartRoot do ImageJ® para determinar o comprimento radicular. Nos testes preliminares, verificamos que a resolução foi de 35.367; 39.300 e 39.335 pixel/cm para as raízes grossas, finas e muito finas, respectivamente.

Ainda na fase de ajustes de metodologia, optamos por utilizar a ferramenta *Trace Root* ao invés do modo *Automatic Drawing*, pois a primeira foi mais precisa e específica. Além disso, fragmentos de raízes finas e muito finas não foram detectados no modo *Automatic Drawing*. Para estimar o comprimento total, utilizamos a seguinte equação: $L_t = \frac{L_{sa} \times M_t}{M_{sa}}$, sendo L_t o comprimento total, L_{sa} o comprimento da subamostra, M_t a massa seca total (amostra+subamostra) e M_{sa} a massa seca da subamostra. Estimamos a área radicular com a equação: $A = 2 \times \pi \times r \times L$, em que r é o raio das raízes (em cm) e L o comprimento da subamostra (em cm). Para estimar a área radicular, consideramos r como o valor intermediário da faixa de variação de cada classe de diâmetro, ou seja, 0,125 cm para raízes grossas, 0,075 cm para raízes finas e 0,037 cm para raízes muito finas.

Calculamos o comprimento específico de raiz (CER) pela relação entre o comprimento total e a massa seca total.

Calculamos a relação raiz/parte aérea, tanto de biomassa como de área com as equações: Relação Biomassa = $\frac{Biomassa\ radicular}{Biomassa\ aérea}$ e Relação Área = $\frac{Área\ radicular}{Área\ foliar}$, respectivamente.

Utilizamos o delineamento em blocos inteiramente casualizado, com 20 repetições (n=20) e uma planta por parcela. Aplicamos ANOVA de dois critérios para testar o efeito de material genético sobre a biomassa, com o software Sigmaplot versão 14.0. Aplicamos Tukey a 5% para comparação de médias.

3.3. Resultados

A biomassa da parte aérea não variou significativamente entre os três materiais genéticos (Híbrido: $9,92 \pm 0,66$ g planta⁻¹, Caiuê: $9,45 \pm 0,69$ g planta⁻¹ e Tenera: $8,25 \pm 0,99$ g planta⁻¹) (Figura 1A). A área foliar do Híbrido ($10,12 \pm 0,51$ m² planta⁻¹) foi significativamente maior do que a do Caiuê ($7,97 \pm 0,25$ m² planta⁻¹); a área foliar do Tenera ($8,57 \pm 0,73$ m² planta⁻¹) não diferiu significativamente da área foliar dos outros materiais genéticos (Figura 1B).

Massa (Figura 2A), comprimento (Figura 2D) e área (Figura 2G) de raízes grossas não variaram significativamente entre materiais genéticos. No entanto, massa (Figura 2B e 2C), comprimento (Figura 2E e 2F) e área (Figura 2H e 2I) de raízes finas e muito finas foram significativamente maiores no Híbrido do que no Caiuê e no Tenera.

O comprimento específico de raízes grossas (Figura 2J) não variou significativamente entre os materiais genéticos. O comprimento específico de raízes finas (Figura 2L) do Tenera foi significativamente maior do que o do Caiuê; o Híbrido apresentou valores intermediários que não diferiram significativamente dos outros materiais genéticos. O comprimento específico de raízes muito finas (Figura 2M) do Tenera foi significativamente maior que o do Híbrido e do Caiuê.

A relação biomassa da parte aérea /biomassa radicular (Figura 3) e a relação massa radicular/área da parte aérea (Figura 4A) e área radicular/área da parte aérea (Figura 4B) foram significativamente maiores no Híbrido do que no Caiuê e no Tenera.

3.4. Discussão

Na literatura, são citadas diferenças tanto na acumulação da biomassa da parte aérea quanto na área foliar entre o Híbrido e o Tenera. Na Colômbia, a biomassa da parte aérea e a área foliar de mudas de 11 meses de idade do Híbrido foram superiores às do Tenera (Ibarra-Ruales e Reyes-Cuesta2015). De forma similar, a área foliar do Híbrido foi superior a dos seus pais (*Elaeis oleifera* e *Elaeis guineensis*) em estudos com plantas adultas (Hardon, 1969; Hartley, 1988). Já neste estudo, com mudas de 8 meses, não verificamos diferença de biomassa da parte aérea entre os materiais avaliados. No entanto, os resultados

da área foliar do Híbrido foram superiores aos do Caiuapé, e ambos (Híbrido e Caiuapé) não apresentaram diferença em relação ao Tenera.

A alocação de biomassa para o sistema radicular do Híbrido foi muito superior à dos demais materiais (71,66% em relação ao Caiuapé e 109,82% em relação ao Tenera) (Figura 3). Tal diferença ocorreu também nas principais raízes de absorção, como as raízes finas (Figura 2B) e muito finas (Figura 2C), o que sugere que esta elevada biomassa radicular esteja relacionada com fatores genéticos (sobredominância). A diferença de área e comprimento radiculares entre o Híbrido e os outros materiais genéticos também é consistente com a hipótese da sobredominância. A hipótese da sobredominância proposta por Shull (1908) assume que a causa da heterose são os genes em heterozigose, os quais eram sempre superiores em relação aos genes em homozigose para o mesmo loco. Dessa forma, os indivíduos F1, como o Híbrido, podem expressar sobredominância em relação aos seus genitores, como observado para outras culturas (Souza et al., 2016).

A hipótese da sobredominância pode explicar os resultados do sistema radicular do Híbrido, que apresentou maior massa seca de raízes finas (Figura 2B) e muito finas (Figura 2C) do que os outros materiais genéticos. Estes resultados sugerem que o Híbrido tem um maior potencial de busca e absorção de nutrientes do que o Tenera e o Caiuapé. Por outro lado, não houve diferença na biomassa de raízes grossas (Figura 2A), que estão mais relacionadas com estruturas de manutenção (sustentação, reservas) (Corley & Tinker, 2016).

O maior comprimento de raízes de absorção do Híbrido no nosso estudo não se expressa apenas em condições favoráveis de ambiente. Em outro estudo, um déficit hídrico prolongado (57 dias) causou aumento de 12% no comprimento total de raízes e redução de 41,7% na biomassa de raízes de mudas de Híbrido com 1 ano de idade (Silva et al., 2017). Assim, o estudo de Silva et al (2017) mostra que o Híbrido aloca energia para aumentar o potencial de absorção em situações de reduzida disponibilidade de água.

O comprimento específico de raiz (CER) permite avaliar como uma planta investe os fotoassimilados entre estrutura de sustentação (raízes grossas) e de

captação de recursos (raízes finas) (Eissenstat & Yanai, 1997). Neste estudo, o Tenera apresentou o valor mais alto de comprimento específico de raiz (CER), mesmo com os valores de biomassa, menores do que do Híbrido. Os altos valores de comprimento específico de raiz nas classes de raízes finas (Figura 2L) e muito finas (Figura 2M) do Tenera sugerem que este material aloca boa parte de seus fotossintatos para aumento de ramificações ao invés de aumento no diâmetro. Esta é uma característica que ocorre não somente em plantas de palma, mas também em outras espécies de plantas que apresentaram um alto valor de CER (Bilbrough & Caldwell, 1995; Bouma et al., 2001; Pregitzer et al., 1997).

Porém, a massa seca (diâmetro) e o comprimento radiculares do Tenera foram inferiores aos do HIE e iguais aos do Caiaué, o que pode sugerir que o Tenera apresenta raízes com menor diâmetro ou densidade tecidual em relação aos outros dois materiais genéticos. No caso de apresentar raízes com baixa densidade tecidual, estas têm menor longevidade, o que pode ser desfavorável ao Tenera pelo fato do AF alterar inicialmente o sistema radicular (Van Slobbe, 1991; Bernardes, 2001), afetando a região meristemática das raízes (Kastelein et al., 1990).

Os resultados de comprimento e área radiculares de mudas de Híbrido são consistentes com a reconhecida resistência ao AF de plantas adultas deste material genético (Corley & Tinker, 2016) e com a hipótese de um possível papel do sistema radicular na resistência a esta anomalia. Dessa forma, o Caiauê, que também é um material resistente, deveria ter apresentado valores de variáveis radiculares similares aos do Híbrido. No entanto, os valores de variáveis radiculares do Caiauê não diferiram daqueles do Tenera, material sensível ao AF. Assim, embora as características do sistema radicular do HIE possam contribuir para sua resistência ao AF, mais pesquisas são necessárias para entender melhor a relação entre características radiculares (root traits) e a resistência ao AF. Sendo uma próxima etapa da pesquisa com esses 3 genótipos, será necessária a comparação do crescimento da parte aérea e radicular, avaliando as concentrações de proteínas, potássio e número de pneumatóforos em mudas sob condições de alagamento, visto que algumas

pesquisas (Cui et al., 2019, Da Costa et al., 2018, Nascimento et al., 2018) associam o excesso de água com o Amarelecimento Fatal.

Contudo, nesta primeira etapa do estudo o Caiaué, material genético também resistente ao AF, apresentou comprimento e massa seca de raízes semelhantes aos do Tenera, o que leva a entender que a resistência do Híbrido não está relacionada a biomassa radicular de forma isolada, e que a manifestação do AF pode estar relacionada com a capacidade de aquisição de recursos pelo sistema radicular e outros fatores, como por exemplo através da maior quantidade de células taníferas presentes nas raízes do Caiaué em comparação ao Tenera (Barcelos, 1986) o que podem conferir a este material a resistência ao AF. Além disso, o Tenera apresenta maior suscetibilidade a estresse ambiental em sua parte aérea em comparação ao Caiaué e o Híbrido (Chia, 2012)

A proporção em que as plantas investem seus fotossimilados para o desenvolvimento do sistema radicular, seja este influenciado por fatores endógenos ou exógenos, pode ser medida por meio das relações massa radicular / massa foliar e área radicular / área foliar. Quanto maior a relação, maior o aporte de energia para o desenvolvimento radicular em relação à parte aérea (Marschner 1986; Rodríguez & Leihner, 2006). Dessa forma, tanto os resultados de biomassa de raízes, como os da relação massa radicular / massa aérea (Figura 4A), sugerem que o Híbrido aloca mais energia para o desenvolvimento do seu sistema radicular em comparação com os demais materiais genéticos. Tal padrão também pode ser verificado na relação área radicular / área foliar (Figura 4B), o que sugere que o Híbrido apresenta maior potencial de captação de recursos abaixo do solo do que os outros materiais genéticos.

A diferença morfológica que o Híbrido apresentou em relação aos demais materiais genéticos devem ser levadas em consideração para escolha de local de plantio. Em ambientes com algum tipo de limitação de recursos, o Tenera é fortemente afetado. Na Costa do Marfim (Dufrene, 1989; Dufrene et al., 1990 e 1992), o déficit hídrico resultou em biomassa radicular elevada e crescimento

restrito da parte aérea da palma de óleo (Tenera), levando a uma relação raiz/ parte aérea maior que 0,9 g/g, consideravelmente maior do que apresentado no nosso estudo (0,3 g/g). Em contrapartida, o excesso de água (alagamento) pode comprometer o desenvolvimento radicular, mas não a biomassa da parte aérea do Tenera (Da Ponte et al 2018), levando a valores altos de massa radicular / massa aérea (0,25 g/g), próximo do encontrado em nosso estudo (0,3 g/g) e o de Henson & Chai (1997) em plantas de 3 anos de idade.

3.5. Conclusão

Confirmamos parcialmente a hipótese de que o sistema radicular tem relação com a resistência ao AF, como demonstrado pela maior biomassa e comprimento radiculares e maior alocação de biomassa para raízes no HIE, material resistente ao AF. Valores intermediários de massa e comprimento radiculares do outro material resistente (Caiaué) podem sugerir que o sistema radicular (biomassa e comprimento) de forma isolada não é o fator responsável pela resistência. Ou que o Caiaué, através de células taníferas presentes em suas raízes podem conferir a este material resistência ao AF.

Dentre os materiais avaliados, o Híbrido interespecífico é o que possui a maior capacidade de minimizar os efeitos negativos do ambiente o qual está submetido. A partir de uma maior alocação de biomassa para o sistema radicular em comparação com seus progenitores, possibilita uma melhor exploração e busca por água e nutrientes no solo, sendo este de potencial uso para regiões com limitações ambientais.

Contribuições dos Autores

Rui Gomes Junior e Alessandra de Jesus Boari cultivaram as mudas na casa de vegetação. Gerson Carlos Pinto Gloria e Steel Silva Vasconcelos elaboraram e conduziram experimento em laboratório. Gerson Carlos Pinto Gloria, Steel Silva Vasconcelos, Rui Gomes Junior, Alessandra de Jesus Boari, e Marcelo Magalhães Murad

Abreviações

AF – Amarelecimento Fatal

HIE – Híbrido interespecífico de palma de óleo

Embrapa – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

LASS – Laboratório de Análises de Sistemas Sustentáveis

DPI – Dots per inch

CER – Comprimento específico de raiz

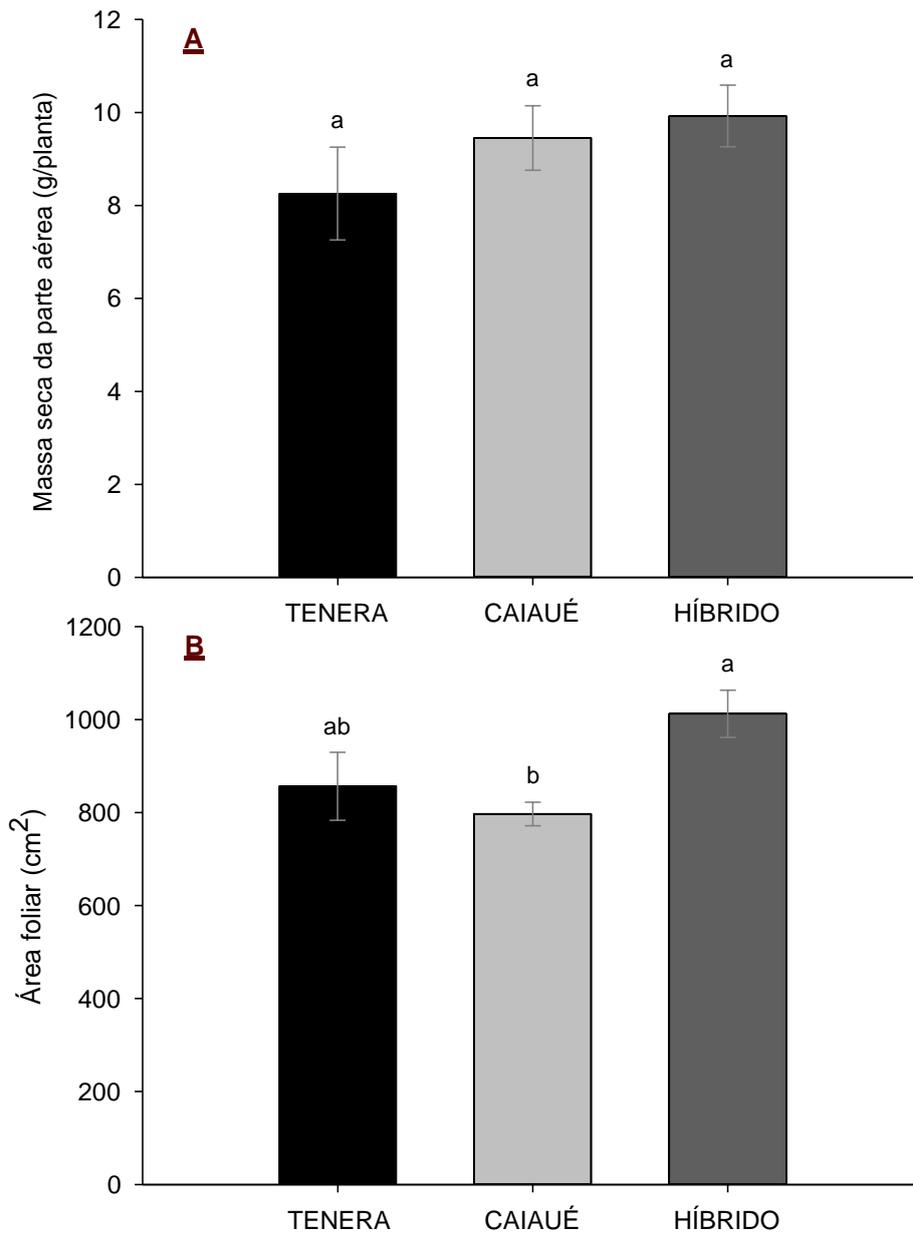


Figura 1 –Biomassa da parte aérea (A) e área foliar de mudas de 8 meses de idade de Caiaué, Tenera e seu Híbrido interespecífico. Dados são a média \pm erro padrão (n=20).

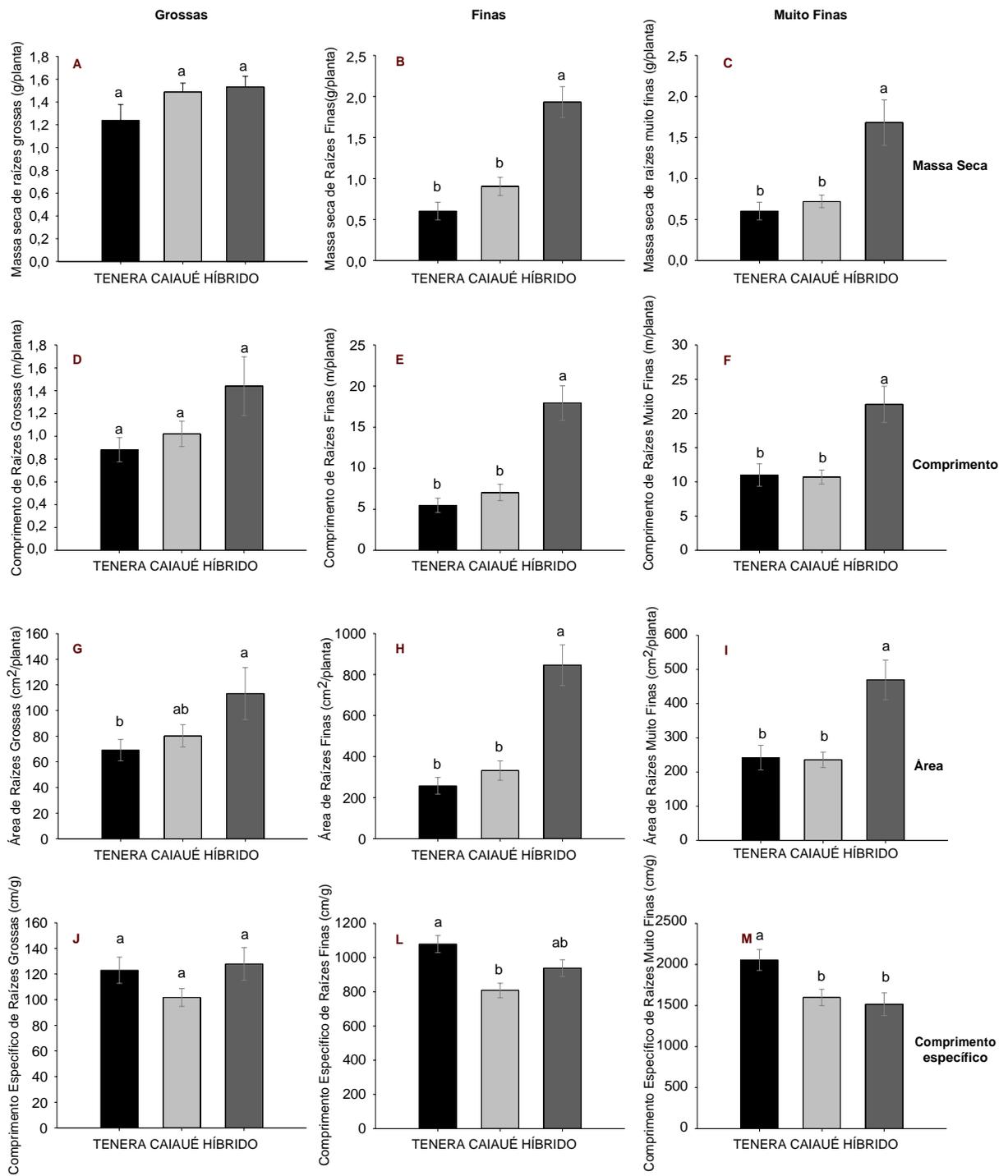


Figura 2 – Variáveis relacionadas ao sistema radicular de mudas de 8 meses de idade de Caiaué, Tenera e seu Híbrido interespecífico. Dados são a média ± erro padrão (n=20).

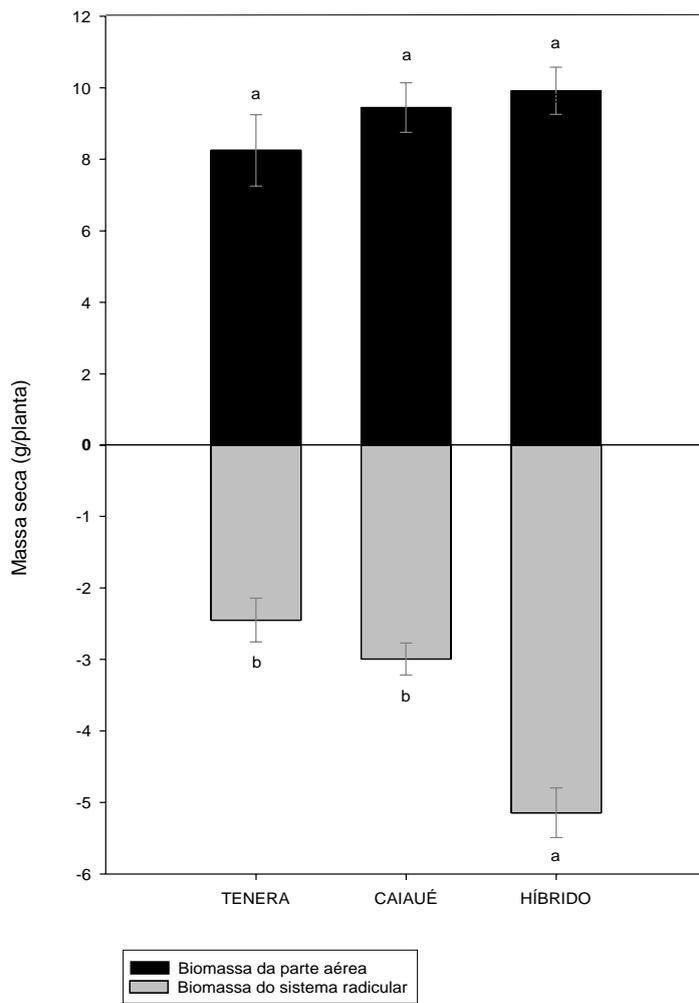


Figura 3 – Relação entre biomassa da parte aérea e biomassa radicular de mudas de Caiaué, Tenera e seu Híbrido interespecífico. Dados são a média \pm erro padrão (n=20).

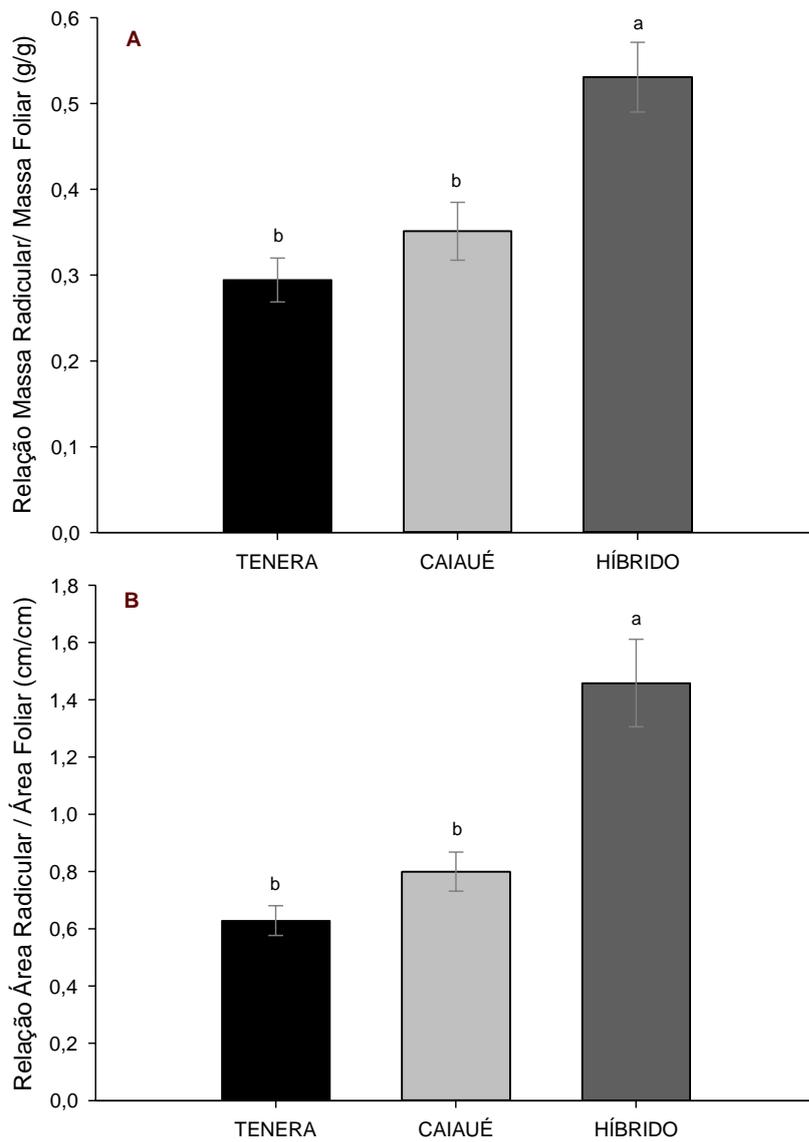


Figura 4 – A: Relação biomassa da parte radicular/parte aérea. B: Relação área radicular/área foliar de mudas de Caiaué, Tenera e seu Híbrido interespecífico. Dados são a média \pm erro padrão (n=20).

3.6. Referências

- Abrapalma - Associação brasileira de produtores de óleo de palma. 2018. Retrospecto e projeções da palma de óleo no Brasil. 1-15.
- Albertazzi, H., Bulgarelli, J., & Chinchilla, C. (2005). Onset of spear rot symptoms in oil palm and prior (and contemporary) events. *ASD Oil Palm Papers*, 28: 21-41.
- Albertazzi, H., Chinchilla, C. M.I., & Ramírez, F. (2009). Soil characteristics and root development in young oil palms (*Elaeis guineensis* Jacq.) planted in sites affected by bud rots (pudrición del cogollo). *ASD Oil Palm Papers*, 33: 1-14.
- Alvarado A., Chinchilla C., Bulgarelli J., & Sterling F. (1997). Agronomic factors associated with common spear rot/crown disease in oil palm. *ASD Oil Palm Papers*, 15: 8-28.
- Ayala, L. S. (2001). Relatório de visita à Denpasa. In: DENPASA. Pesquisa sobre amarelecimento fatal do dendezeiro. Santa Barbara, PA: DENPASA, 319 p.
- Barcelos, E. (1986). Características genético e ecológicas de populações naturais de caiaué (*Elaeis oleifera* (H.B.K) Cortés) na Amazônia Brasileira. Dissertação de Mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - Manaus. 108p.
- Bernardes, M. S. R. (1999). Relatório de visitas à plantação de Paricatuba, na Denpasa, visando à identificação das causas do AF. In: DENPASA. Pesquisa sobre amarelecimento fatal. Belém, PA: DENPASA.
- Bilbrough, C. J., Caldwell, M. M. (1995). The effects of shading and N status on root proliferation in nutrient patches by the perennial grass *Agropyron desertorum* in the field. *Oecologia*. 10–16.
- Bouma, T. J., Nielsen, K. L., Van Hal, J., & Koutstaal, B. (2001). Root system topology and diameter distribution of species from habitats differing in inundation frequency. *Funct. Ecol.* 15: 360–369.
- Chinchilla, C., & Durán, N. (1998). Management of phytosanitary problems in oil palm: an agronomic perspective. *Palmas*, 19: 242-256.
- Corley, R.H.V., & Tinker, P.B. (2016). *The Oil Palm*: 5° Ed. WileyBlackwell.
- Cui J., Davanture M., Zivy M., Lamade E., & Tcherkez G. (2019). Metabolic responses to potassium availability and waterlogging reshape respiration and carbon use efficiency in oil palm. *New Phytologist*, 1: 310-322.
- Da Ponte, N. H. T., Santos, R. I. N., Lopes Filho, W. R. L., Cunha, R. L., Magalhães, M. M., & Pinheiro, H. A. (2018). Morphological assessments

evidence that higher number of pneumatophores improves tolerance to long-term waterlogging in oil palm (*Elaeis guineensis*) seedlings. *Flora*, 250: 52-58.

De Franqueville, H. (2001). La pudrición del cogollo de la palma aceitera em America Latina: revisión preliminar de hechos y logros alcanzados. CIRAD. Departamento de Cultivos Perennes. 41 p.

Duff, A. (1963). The bud rot little leaf disease of the oil palm. *Journal of West African Institute for Oil palm Research*, 14: 176–190.

Dufrêne, E. (1989). Photosynthese, consommation en eau et modelisation de la production chez le palmier a huile (*Elaeis guineensis* Jacq.). Thesis, University of Paris-Sud, Orsay. 156p.

Dufrêne, E., Ochs, R. & Saugier, B. (1990). Oil palm photosynthesis and productivity linked to climatic factors. *Oléagineux*, 345-355.

Dufrêne, E., Bernard, D., Rey, H., Quencez, P., & Saugier, B. (1992). Changes in evapotranspiration from an oil palm stand (*Elaeis guineensis* Jacq.) exposed to seasonal soil water deficits. *Acta Oecologica*. 299-314.

Eissenstat, D., & Yanai, R. (1997). Ecology of Root Life Span. *Advances in Ecological Research*. 1-60.

Hardon, J.J., Williams, C.N., & Watson, I. (1969). Leaf area and yield in the oil palm in Malaya. *Exp. Agric.*, 5: 25-32.

Hartley, C.W.S. (1988). *The oil palm*. 3^o ed. Longman, London/New York.

Henson, I.E., & Chai, S. H. (1997). Analysis of oil palm productivity. II. Biomass, Distribution, Productivity and turnover of the root system. *Journal of Oil Palm Research*, 9: 78-92.

Ibarra-Ruales, L.N., & Reyes-Cuesta, R. (2015). Crecimiento em vivero de las palmas aceiteras *Elaeis oleífera* x *Elaeis guineensis* y *Elaeis guineensis* x *Elaeis guineensis* em Tumaco Colombia. *Corpoica Cienc. Tecnol. Agropecu.*, 239-250.

Kastelein, P., Van Slobbe, W., & De Leeuw, G. (1990). Symptomatological and histopathological observations on oil palms from Brazil and Ecuador affected by fatal yellowing. *Netherlands J. Plant Pathol.*, 96: 113–117.

Le Chatelier, H. (2010). *Recherches Experimentales et Theoretiques sur les Equilibres Chimiques*. Kessinger Publishing, 232.

Nascimento, S. V. Do., Magalhães, M. M., Cunha, R. L., Costa, P. H. De O., Alves, R. C. De O., Oliveira, G. C. De., & Valadares, R. B. Da S. (2018). Differential Accumulation Of Proteins In Oil Palms Affected By Fatal Yellowing Disease. *Plos One* 13 (4): E 0195538.

Ministério da agricultura pecuária e abastecimento - MAPA. 2018. Diagnóstico da produção sustentável da palma de óleo, 11-15.

Marschner, H. (1986). Mineral nutrition of higher plants. London: Academic Press. 889p.

Monge, J., Chinchilla, C., & Woung, A. (1993). Studies on the etiology of the crown disease/common spear rot in oil palm. *ASD Oil Palm Papers*, 7: 1-16.

Poorter, H., & Nagel, O. (2000). The role of biomass allocation in the growth response of plants to different levels of light, CO₂, nutrients and water: a quantitative review. *Australian Journal Of Plant Physiology*, 27: 595–607.

Pregitzer, K. S., Kubiske, M. E., Yu, C. K., & Hendrick, R. L. (1997). Relationships among root branch order, carbon, and nitrogen in four temperate species. *Oecologia*. 111: 302–308.

Rodríguez, W., & Leihner, D. (2006). Análisis de crecimiento vegetal. Fisiología de laproducción de cultivos tropicales. San José: Editorial Universidad de Costa Rica.

Santos, H. G. Dos., Jacomine, P. K. T., Anjos, L. H. C. Dos., Oliveira, V. A. De., Lumberras, J. F., Coelho, M. R., Almeida, J. A. De., Araujo Filho, J. C. De., Oliveira, J. B. De., & Cunha, T. J. F. (2018). Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Embrapa, 5° Ed. 356p.

Shull, G. H. (1908). The composition of a field of maize. *American Breeding Association Reports, Madison*. 4: 296-301.

Silva, P.A., Cosme, V. S., Rodrigues, K.C.B., Detmann, K.S.C., Leão, F.M., Cunha, R.L., Buselli, R.A.F., DaMatta, F.M., & Pinheiro, H.A. (2017). Drought tolerance in two oil palm hybrids as related to adjustments in carbon metabolism and vegetative growth. *Acta Physiol. Plant.* 39: 58.

Souza, T. C. de., Magalhães, P. C., Castro, E. M. de., Duarte, V. P., & Lavinsky, A. O. (2016). Corn root morphoanatomy at different development stages and yield under water stress. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 514: 330-339.

Szaniawski, R. K. (1983). Adaptation and Functional Balance Between Shoot and Root Activity of Sunflower Plants Grown at Different Root Temperatures. *Annals of Botany*, 51: 453-459. doi:10.1093/oxfordjournals.aob.a086490

Trindade, D. R., Poltronieri, L. S., & Furlan Júnior, J. (2005). Abordagem sobre o estado atual das pesquisas para a identificação do agente causal do amarelecimento fatal do dendezeiro. *Pragas e doenças de cultivos amazônicos*, 439-450.

Turner, P. (1981). *Oil Palm Diseases and Disorders*. Oxford University Press. New York. 280 p.

United States Department Of Agriculture. (2019). Foreign Agricultural Service. Disp. Em: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/app/index.html#/app/ad>

Van Slobbe, W. G. (1991). *Amarelecimento fatal: final report*. Belém, PA: Denpasa, 100 p.

Venturieri, A., Fernandes, W. R., Boari, A. J., & Vasconcelos, M. A. (2009). Relação entre ocorrência do amarelecimento fatal do Dendezeiro (*Elaeis guineenses jacq.*) e variáveis ambientais no estado do Pará. *Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*. (523-530), Natal, Brasil.

4. DISTRIBUIÇÃO DE BIOMASSA EM PLANTIO DE HÍBRIDO INTERESPECÍFICO DE PALMA DE ÓLEO

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 (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 290 cm de profundidade. Foram coletados monólitos em 8 camadas (2 – 15, 2 – 30 e 4 de 50 cm de profundidade) e em cada camada, foram coletados 8 monólitos medindo 50 cm de comprimento, 30 de largura e a altura de acordo com a camada coletada. Em laboratório, as raízes foram classificadas de acordo com seu diâmetro em primárias ($\geq 5,0$ mm), secundárias (1– 4,9 mm), terciárias (0,5 – 0,9 mm) e quaternárias (0,25 – 0,49 mm). Imagens de subamostras de cada classe de diâmetro foram analisadas para estimativa do comprimento usando o software ImageJ. A massa seca das raízes foi determinada após secagem em estufa de circulação forçada de ar a 65 °C por 96 horas. A profundidade de 15-30 cm concentra mais de 50% da DMS total (50,77% TP e 59,91% TC), e destes, 81,49% da DMS é de raízes primárias. As terciárias representam 8,96% do total da DMS de TP e 4,85% de TC e a quantidade de raízes quaternárias na região entre plantas é 78,05% maior do que a quantidade encontrada na região de carreamento. O cultivo de palma de com 8 anos apresenta uma biomassa total de raízes superior a de culturas sazonais, vegetação secundária, cultivo Tradicional, cultivo de Maracujá e pimenta do reino.

4.1. 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). Dessa forma, o objetivo deste estudo é avaliar a influência do manejo sob a distribuição horizontal e vertical da biomassa e do comprimento de raízes em um plantio comercial de HIE de palma de óleo de forma se obter parâmetros para tomada de decisão técnica e científica para o Híbrido interespecífico de palma de óleo.

4.2. Material e Métodos

4.2.1. Caracterização da área

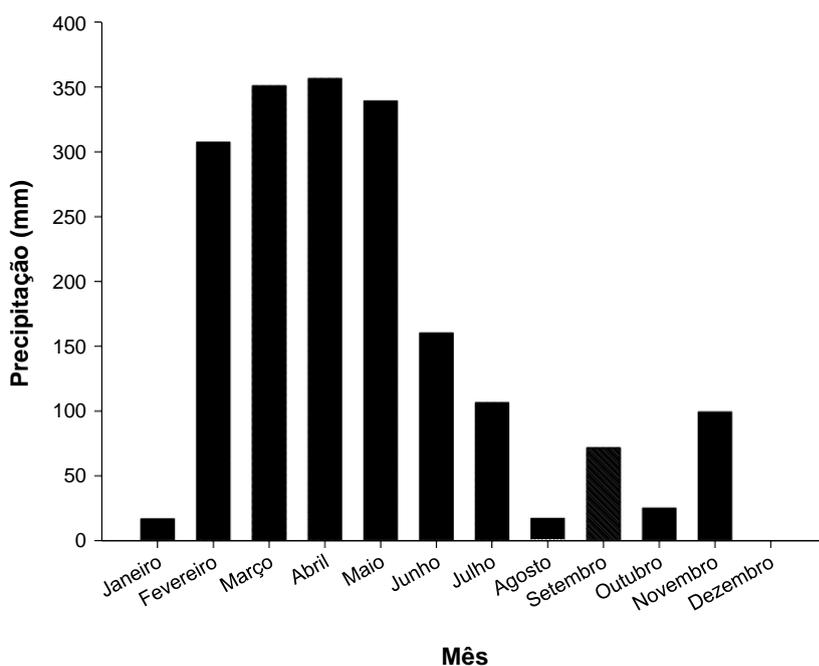
O estudo foi realizado na propriedade da empresa Marborges S/A (latitude 1°58'42" S e longitude 48°36'50" W) município de Moju (Figura 1), Estado do Pará, entre setembro e novembro de 2015. O solo é do tipo Latossolo amarelo distrófico franco arenoso. As propriedades químicas e granulométricas foram

determinadas por Maciel, 2018 e estão descritas na tabela 1. 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).

Tabela 1 – Propriedades químicas e granulométricas da parcela C22, determinadas por Maciel (2018).

Profundidade (cm)	Areia (g kg ⁻¹)	Silte (g kg ⁻¹)	Argila (g kg ⁻¹)	pH (água)	Al (cmol c dm ⁻³)	H+Al (cmol c dm ⁻³)	N (%)	P (mg dm ⁻³)	K (cmol c dm ⁻³)
0-20	728	92	180	5	4,2	3,8	0,07	35	0,07
20-40	615	125	260	4,9	4,1	3,1	0,04	6	0,04
40-60	581	99	320	4,9	4,1	2,8	0,03	2	0,03

Figura 1: Precipitação acumulada no ano de 2015 na área do experimento.



4.2.2. Histórico da área

O experimento foi conduzido na Parcela C22 (Figura 1), da empresa Marborges S/A, que constitui de um ensaio de progênies 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 é feita de forma parcelada (3 vezes ao ano) com base na análise foliar na quantidade descrita na tabela 2, sendo estes distribuídos mecanicamente na região entre plantas. A polinização assistida, prática necessária em plantios de HIE, foi realizada a cada dois dias.

Tabela 2 - Quantidade de nutrientes aplicadas nas área de plantio de palma de óleo com 8 anos de idade. Os valores são em Kg de nutriente por ha.

Nutrientes aplicados (Kg ha⁻¹)						
Ano	N	P₂O₄	K₂O	Ca	Mg	S
2013	40,5	78,2	101,2	15	8,1	8,1
2014	50,2	76,2	300,4	18,6	21,3	60,2
2015	42,4	61,8	173,6			

4.2.3. 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.

Para a coleta de raízes foi utilizado o método dos monólitos (Böhm, 1979). Com o intuito de verificar a influência do manejo sob o desenvolvimento radicular, foram escavadas duas trincheiras por planta (total de 8 trincheiras), 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 2,9 metros de profundidade.

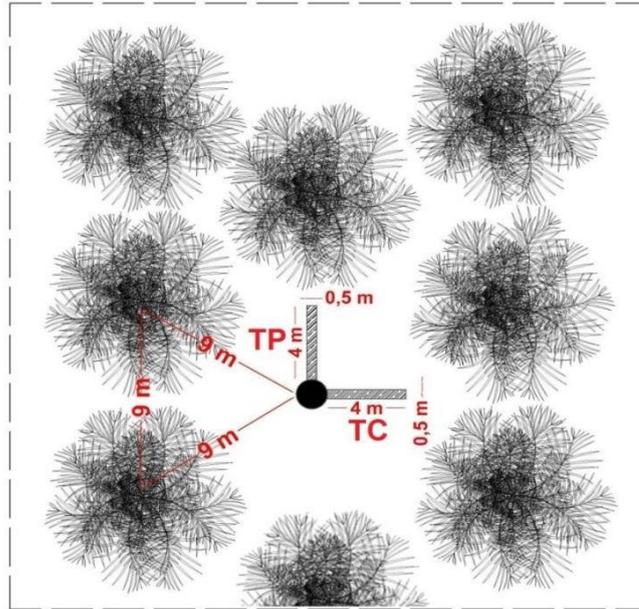


Figura 2: Vista superior da disposição das trincheiras em relação às plantas de palma de óleo. Sendo TP, trincheira entre plantas e TC, trincheira do carreador.

Para cada trincheira, foram retirados 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, 15-30 cm, 30-60 cm, 60-90 cm, 90-140, 140-190, 190-240 e 240-290 cm.

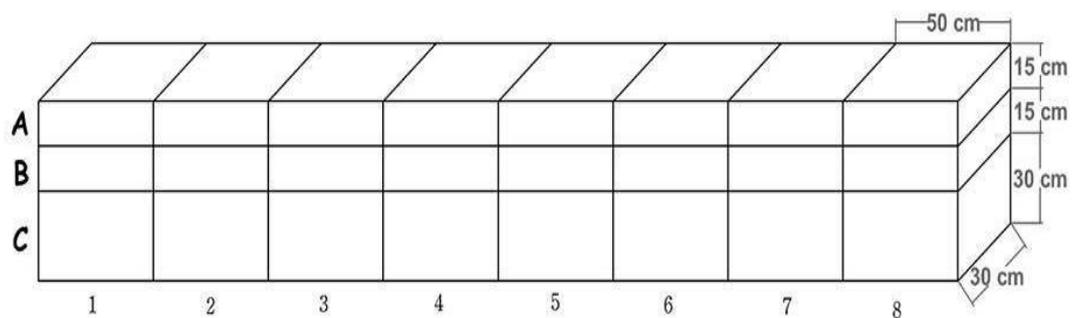


Figura 3: Desenho esquemático da disposição dos monólitos coletados na trincheira e dimensões. Sendo A camada de 0-15 cm, B, Camada de 15-30, C, camada de 30-60 cm, D, camada de 60-90, de E a H, aumenta a cada 50 cm até 290 cm. Os números de 1 a 8, representam o número do monólito coletado, sendo estes 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 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.

O processamento em laboratório consistiu de separação, secagem em estufa de circulação forçada de ar e pesagem das raízes. Estas, foram separadas em quatro classes de diâmetro, sendo classificadas em primárias (diâmetro entre 5 e 10 mm), secundárias (diâmetro entre 1 e 4,9 mm), terciárias (diâmetro entre 0,5-0,9 mm) e quaternárias (diâmetro entre 0,25-0,49 mm). A classificação das raízes nessas classes de diâmetro foi baseada em uma adaptação de Corley & Tinker (2015). 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 para conversão em imagens binárias e posteriormente processadas no programa IMAGEJ® V1.4 com auxílio do Plugin Smartroot, para determinação do comprimento radicular. 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.

Os valores estimados pelo software ImageJ® foram ajustados usando-se fatores de correção (35.367; 35.367; 39.300 e 39.335 pixel/cm) para as raízes primárias, secundárias, terciárias e quaternárias. Utilizamos o plugin SmartRoot do ImageJ, e através da ferramenta Trace Root ao invés do modo Automatic Drawing, pois a primeira foi mais precisa e específica análise de fragmentos de raízes finas e muito finas não foram detectados no modo Automatic Drawing.

Para estimar o comprimento total, utilizamos a seguinte equação: $L_t = \frac{L_{sa} \times M_t}{M_{sa}}$

sendo L_t o comprimento total, L_{sa} o comprimento da subamostra, M_t a massa seca total (amostra+subamostra) e M_{sa} a massa seca da subamostra.

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 4). 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 (DMS) e a densidade de comprimento de raízes (DCR). 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.

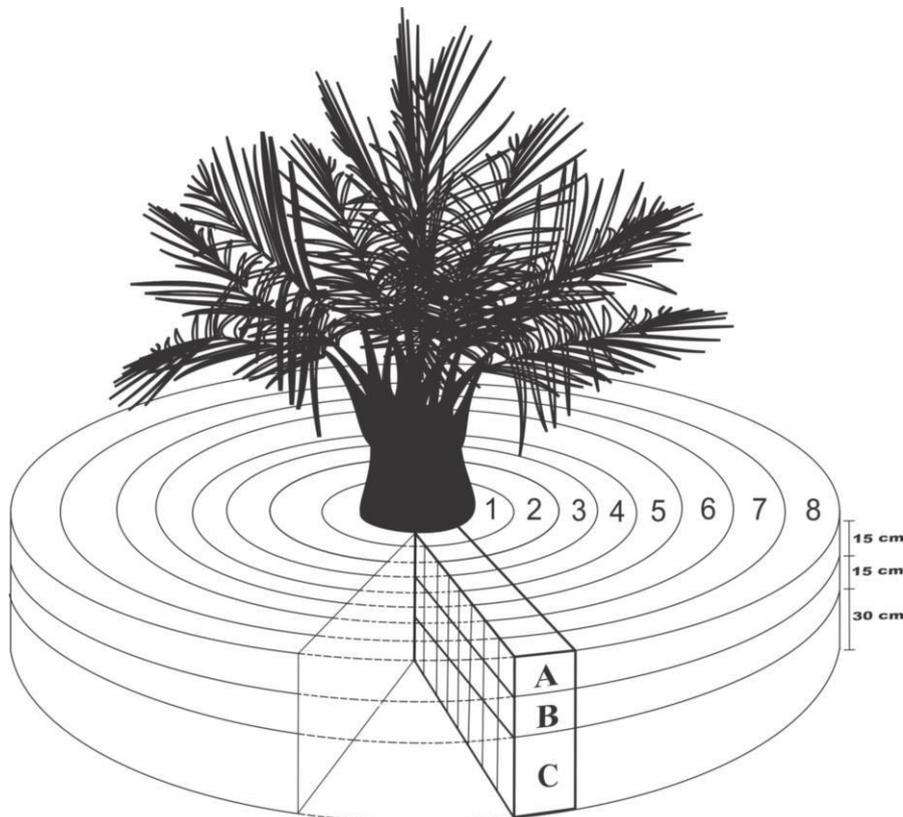


Figura 4 – Figura esquemática dos anéis concêntricos segundo Cuesta et al., (2010).

4.2.4. Análise Estatística

A densidade de massa de raízes foi expressa em mg/cm^3 e a densidade de comprimento de raízes em mm/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, Log10) 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 14.0.

4.3. Resultados e Discussão

4.3.1. Densidade de Massa de Seca (DMS) de raízes

Em se tratando de biomassa, a profundidade de 0-290 cm é composta predominantemente de raízes primárias, pois estas representam cerca de 41,91% da DMS total na região entre plantas (TP), e 60,64% no carreamento (TC). Porém, mais de 60% da DMS total das raízes primárias estão concentradas nos primeiros 30 cm de profundidade do solo (Tabela 3), o inverso das raízes secundárias, que com exceção da camada de 0-90 cm, em todas as raízes secundárias concentraram mais de 60% da DMS. Na camada mais superficial (0-15 cm) a DMS de TC tanto de secundárias como de primárias não apresentaram diferença significativa em relação a TP, com exceção das

distâncias 150-200 e 300-350 cm da planta (Figura 5) nas primárias e 50-100 cm nas secundárias. A presença de maior quantidade de raízes nestas distâncias em comparação com TP pode estar relacionada a maior compactação do solo nestas distâncias. De acordo com Materechera et al. (1992), a resistência mecânica do solo causa aumento do diâmetro das raízes na camada compactada e pode provocar modificações morfológicas e fisiológicas na planta a fim de se adaptarem. Em um estudo realizado na Malásia, verificou-se que a redução da biomassa total de raízes foi de 28% (Yahya et al., 2010).

Isso é mais evidente na profundidade de 15-30 cm, a qual concentra mais de 50% da DMS total (50,77% TP e 59,91% TC), e que destes, 81,49% da DMS é de raízes primárias, o que representa uma redução de 20,51% na DMS das outras classes de raízes (Secundária, Terciária e Quaternária). Neste perfil, a partir de 100 cm da planta (100-400 cm), a DMS de primárias de TC foi significativamente maior em relação a TP. Devido à grande concentração de raízes primárias na camada de 15-30, esperava-se encontrar uma maior DMS de secundárias também nesta camada, o que não foi verificado. Isso levanta a hipótese de que na região entre plantas, considerado uma região sem impacto do manejo, e que possui uma DMS de raízes primárias menor do que a região de carreamento, porém com maior número de ramificações (raízes secundárias). Estas, que também exercem a função de sustentação da planta, são de onde as raízes de absorção (terciárias e quaternárias). Na profundidade de 30-60 cm, de forma geral, a DMS de primárias em TC foi maior em comparação com a TP, com exceção das distâncias de 200-250 e 250-300 cm em que as DMS não foram diferentes entre as Trincheiras. Em contrapartida, a DMS de secundárias nesta profundidade não apresentou diferença estatística entre as regiões avaliadas, com exceção da distância 250-300 cm, a qual a DMS de TC é superior a de TP (Figura 6). A partir das profundidades de 60cm, há uma diminuição destas diferenças entre as trincheiras de tal forma que, apenas uma ou duas distâncias foram diferentes estatisticamente em cada profundidade avaliada, sendo que em todas, a trincheira de carreamento apresentou maior valor de DMS.

As raízes terciárias, assim como as quaternárias, são responsáveis pela absorção de água e nutrientes (Corley & Tinker, 2016), ou seja, uma maior ou

menor concentração destas raízes podem direcionar as práticas de manejo da cultura da palma de óleo. No perfil de 0-290 cm, as terciárias representam 8,96% do total da DMS de TP e 4,85% de TC. (Tabela) Ou seja, na região entre plantas, a DMS de terciárias é 62,11% maior que no carreamento o que representa cerca de 304 kg ha⁻¹ a mais de raízes terciárias na região entre plantas. Essa diferença é ainda maior quando comparamos a DMS de raízes quaternárias, pois estas representam 8,96% (6,09 Kg planta⁻¹) para TP e 4,85 % (3,42 kg planta⁻¹) para TC. Ou seja, a quantidade de raízes quaternárias na região entre plantas é 78,05% maior do que a quantidade encontrada na região de carreamento, o que representa cerca de 2,67 kg planta⁻¹ de raízes quaternárias.

Essa diferença de DMS de terciárias e quaternárias entre TC e TP é mais evidente nos perfis mais superficiais (0-30 cm), com os valores de TP significativamente superiores em relação aos de TC na distância 0-400 cm e 50-300 cm para terciárias e 0-200, 250-300 e 0-400 cm para quaternárias, nas profundidades de 0-15 e 15-30cm respectivamente (Figura 7). Outra camada em que a DMS de quaternárias e terciárias de TP é predominantemente superior ao de TC é nas camadas de 90-240.

Já na camada de 30-60, esta diferença entre as duas regiões, tanto DMS de terciárias quanto de quaternárias não se manifestam da mesma forma que nas camadas mais superficiais, visto que apenas na distância de 100-150 cm de terciárias e 200-250 em quaternárias que a DMS de TP é superior a TC. Já na profundidade de 60-90, as distâncias de 0-50 e 100-150 apresentaram uma DMS maior de TC em relação a TP e nas distâncias de 200-250 e 300-350 os valores de DMS de TP foram maiores que TC, sendo as demais distâncias iguais estatisticamente. Na profundidade de 90-140 cm, a DMS das distâncias de 0-300 cm da TP foi superior a TC. Na camada de 140-190, as distâncias de 0-200 e 350-400 a DMS de TP. De forma geral, a maior DMS de raízes na TP em relação a TC se concentram principalmente na distância de 0-200 da planta, tanto de terciárias quanto de quaternárias.

4.3.2. Densidade de comprimento de raízes (DCR)

Mais de 60% da DCR de raízes se encontra nos primeiros 30 cm de profundidade, tanto de TC quanto de TP. Ao contrário do que acontece com valores de DMS, na densidade de comprimento de raízes (DCR) as raízes primárias não são representativas dentro do perfil de 0-290 cm. Estas, representam apenas 6,07 % (18,6 km planta⁻¹) e 12,39 % (28,97 km planta⁻¹) de em TP e TC respectivamente. Ou seja, em TC a quantidade de raízes primárias é 104,2% maior que TP. Essa diferença é mais visível nos primeiros 60 cm de profundidade, pois com exceção da distância 0-50 cm da profundidade de 0-15, e 200-250cm na camada de 30-60 cm. Nas demais distâncias da camada 0-60 os valores de DCR de primárias de TC são maiores que TP. Isso mostra que as raízes primárias. Já a DCR de secundárias, que representam 22,65% (69,47 planta-1 Km) da DCR total em TP e 36,29% (84,84 planta-1 Km) em TC. Avaliando as diferenças mais expressivas entre as duas regiões de manejo. Na camada mais superficial (0-15) a DCR de TC foi maior que a TP nas distâncias de 50-200 cm, e na camada de 15-30, foi maior que TP na distância de 100-300 cm (Figura 8). Outra camada que apresentou diferença significativa entre as duas regiões (com e sem influência do manejo) foi a camada de 140-190 cm, sendo a distância de 150-300 cm da planta apresentou uma DCR de TP superior a de TP. De forma geral, camada de 0-60 cm a DCR de primárias e secundárias são maiores que em TC do que em TP (concentra 76,6 e 78,4% da DCR total em TP e TC respectivamente), sendo essa diferença não evidenciada nos resultados de DMS. Isso mostra que as raízes, tanto primárias quanto secundárias, presentes na região de carreamento, podem apresentar um diâmetro menor em relação as raízes da região entre plantas. Reduziu a densidade de comprimento de primárias em em 23% e 19% (Yahya et al., 2010). O alongamento radicular só é possível quando a pressão de crescimento das raízes for maior do que a resistência mecânica do solo à penetração (Passioura, 1991).

As raízes terciárias e quaternárias, apesar de não apresentarem uma maior representatividade nos valores de DMS, elas sem dúvida são as classes de raízes de maior interesse agrícola, sendo estas responsáveis pela busca por recursos. A densidade de comprimento radicular destas classes de raízes mostra o potencial que uma planta apresenta na busca por água e nutrientes. As

terciárias representam cerca de 30,79% e 26,46% do total de DCR no perfil de 0-290cm em TP e TC respectivamente. Sendo que a região entre plantas apresenta uma DMS com cerca de 52% maior em relação a TC. Porém, essa superioridade é mais evidente quando comparamos a DCR de raízes quaternárias entre TP e TC, pois a DCR de TP possui 119,23 km de raízes por planta, enquanto que a 55,78 Km por planta. Uma diferença de cerca de 113% a mais de DCR de quaternárias de TP em relação a TC.

De forma geral, a superioridade de raízes quaternárias na região entre plantas se repete nos resultados de DCR. Entretanto, um ponto a ser observado é em relação a comparação dos resultados de DMS de quaternária com a DCR, em que algumas distâncias avaliadas que não haviam diferença estatística de DMS entre as duas trincheiras, apresentaram resultados de DCR de TP foram superiores aos de TC. Isso pode ser verificado principalmente na profundidade de 15-190 cm. 0-50, 300-400 em 15-30 cm, 0-100 em 60-90, 0-50,100-150 e 250-300 em 60-90, 300-400 em 90-140. Estes resultados reforçam a hipótese em que na região de carreamento, as raízes apresentam maior diâmetro em relação as raízes entre plantas, pois se em uma distância não apresenta diferença entre a DMS, mas esta diferença se manifesta no resultado de DCR, isso significa que aquela raiz apresentou uma determinada massa em virtude do seu maior diâmetro. Na Malásia, o efeito da compactação através de 4 toneladas proporcionou um aumento no diâmetro radicular das primárias entorno de 10% e de secundárias 11%, devido o alongamento radicular ser fortemente afetado pela compactação do solo (Yahya et al.,2015). O diâmetro médio radicular das plantas de milho aumentou significativamente na camada de solo compactado com o aumento da resistência mecânica à penetração. Dentro da camada de solo compactado, o diâmetro médio radicular da soja aumentou (Foloni et al., 2006; Foloni et al., 2003).

4.3.3. Biomassa e comprimento total

Considerando que a região de TC fosse uniforme ao redor da planta, e TP uniforme ao redor de outra planta, A biomassa total de raízes, representa 85,63 kg planta⁻¹ de TP, e 114,36 kg planta⁻¹ de TC (Tabela 4), o que representa uma

diferença de 4,1 Mg ha⁻¹. Esta superioridade de massa de raízes no carregamento dá e entender que esta região possui potencial de absorção maior que o que da região entre plantas. No entanto, TP possui 1,97 Mg ha⁻¹ de raízes de absorção (Terciárias e Quaternárias), enquanto que TC possui 1,28 Mg ha⁻¹. Esse potencial da região entre plantas é mais nítido quando se avalia o comprimento total de raízes, pois na região de TC apresenta apenas 505,13 Km planta⁻¹, enquanto que na região de TP, possui 687,91 Km, sendo destes, 533,57 Km de terciárias e quaternárias, enquanto que na região de TC possui 334,57 Km planta⁻¹. Uma diferença de 199 Km planta⁻¹ de raízes de absorção.

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 até essa profundidade apresenta valores bem superiores aos encontrados para cultivares de intraespecífico (Elaeis guineenses). 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 (Tabela 6). 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. Neste estudo, o HIE apresentou uma biomassa total de 14,30 (média de TC e TP), bem mais que os cultivares Tenera na mesma idade (8 anos). Comparando com outras culturas, quando o cultivo de palma de óleo atinge 8 anos, sua biomassa de raízes (considerando a média de TP e TC) é superior a culturas sazonais (1 ano), vegetação secundária (1 anos), cultivo tradicional (15 meses), cultivo de maracujá e de pimenta do reino (Tabela 7)

4.4. Conclusão

As regiões de influência negativa (tráfego de máquinas e pisoteio) do manejo afeta consideravelmente a biomassa e o comprimento de raízes de absorção.

As regiões de TC apresentaram raízes com maior massa, porém com menor comprimento, o que pode ser resultado de uma mudança no diâmetro radicular.

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>quaternária) e densidade de comprimento de raízes (quaternária>terciárias>secundarias>primarias).

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

A biomassa de raízes do HIE é superior a de culturas sazonais, vegetação secundária (1 anos), cultivo tradicional, cultivo de maracujá e de pimenta do reino.

DMS PRIMÁRIAS

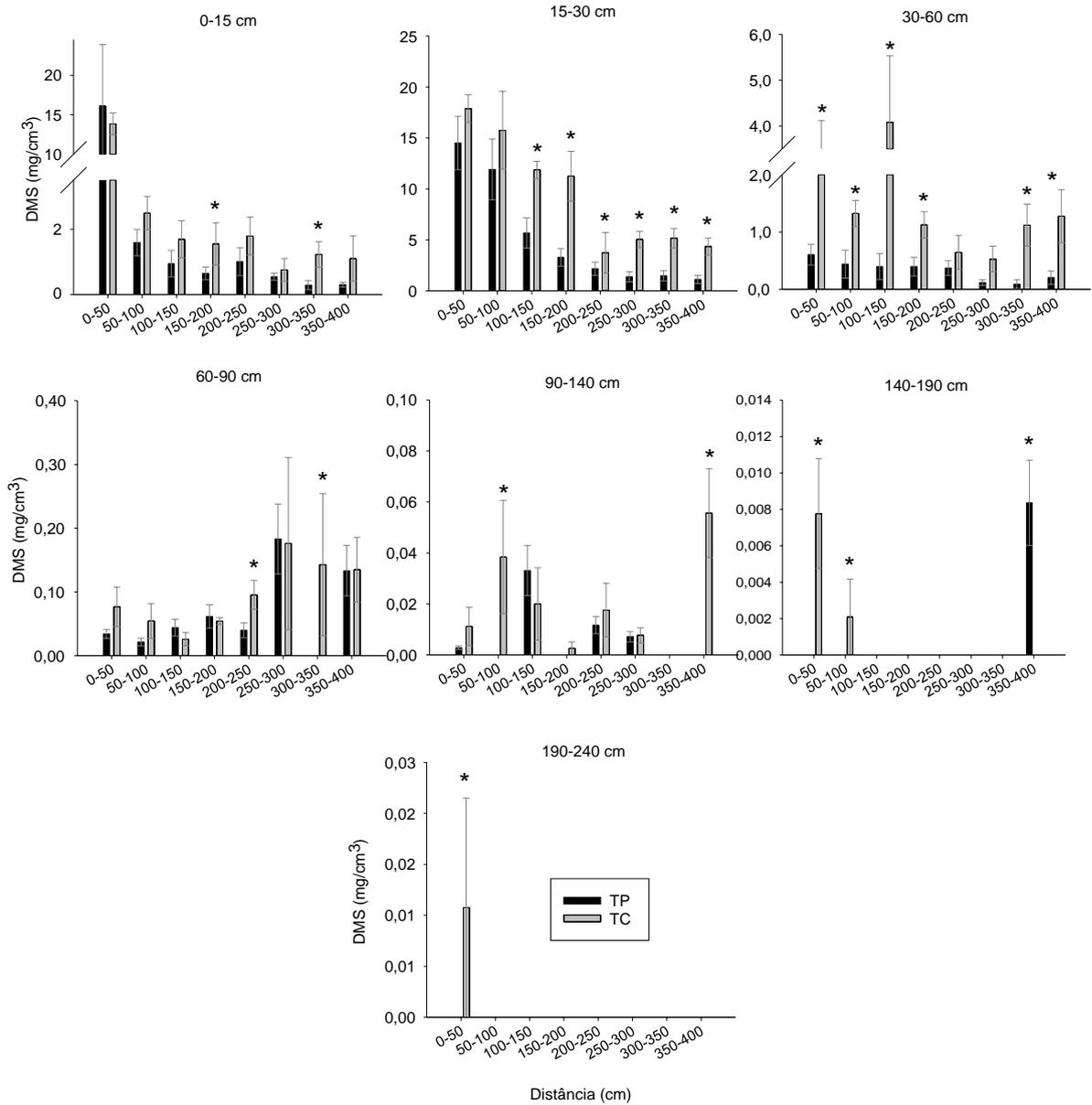


Figura 5 - Densidade de massa de raízes primárias ($\Phi \geq 5$ mm) em função das distâncias (0-400 cm) comparando trincheira entre plantas (TP) e trincheira entre carreamento (TC). Dados são média e asteriscos indicam diferença estatística (tukey a 5%).

DMS SECUNDÁRIAS

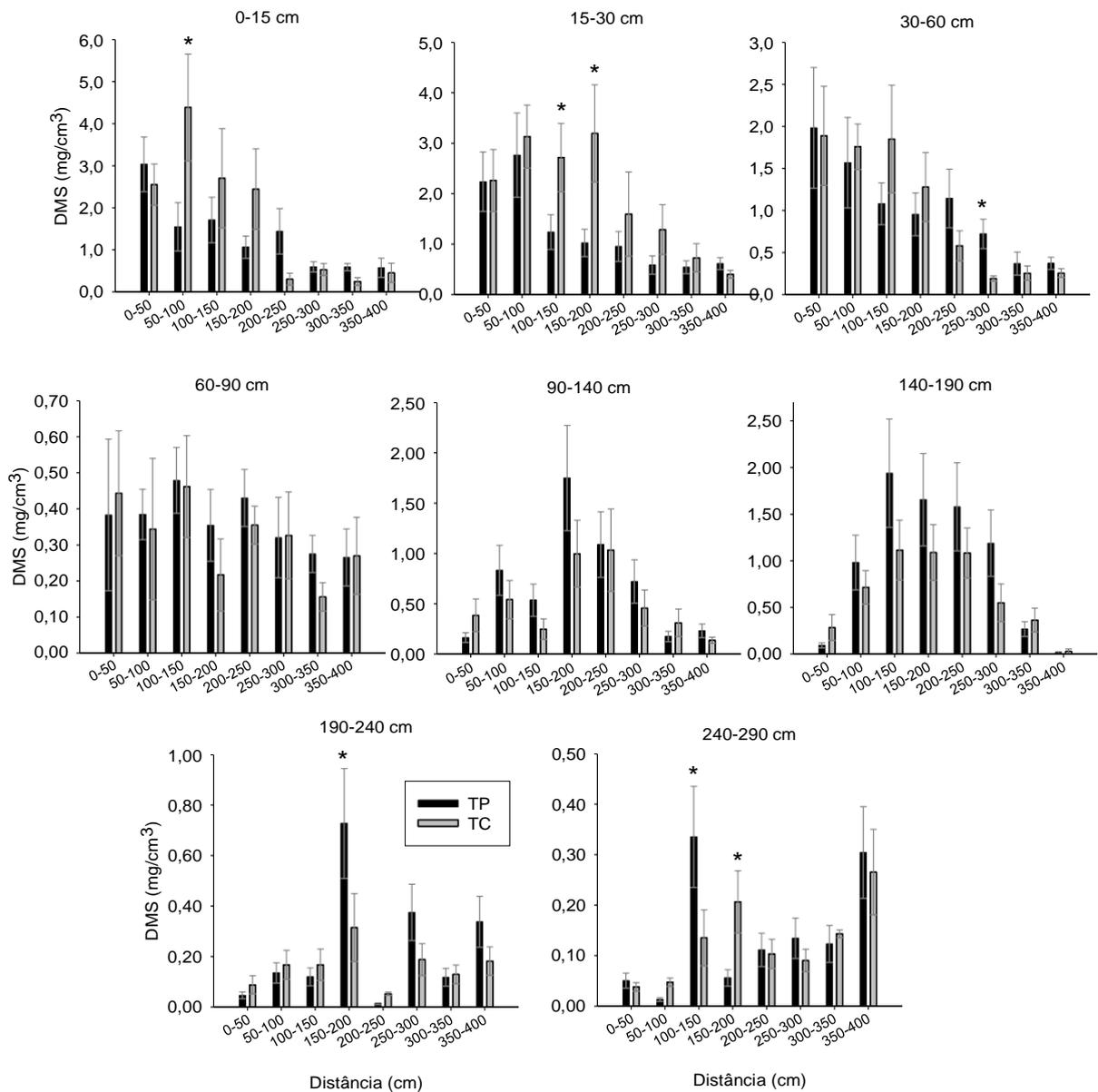


Figura 6 - Densidade de massa de raízes secundárias (Φ 1 - 4,99 mm) em função das distâncias (0-400 cm) comparando trincheira entre plantas (TP) e trincheira entre carregamento (TC). Dados são médias e asteriscos indicam diferença estatística (tukey a 5%).

DMS TERCIÁRIAS

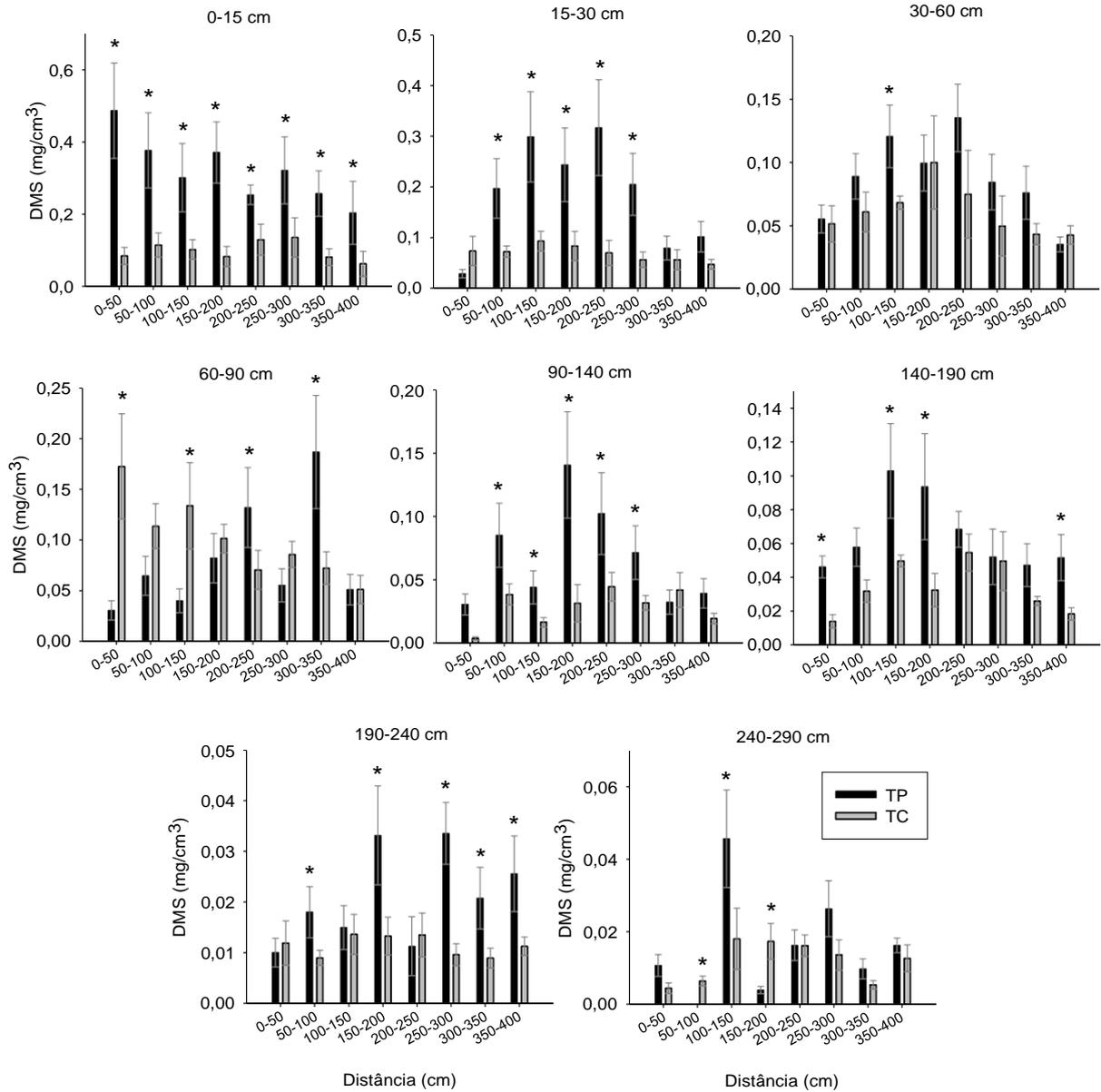


Figura 7 - Densidade de massa de raízes terciárias (Φ 0,5 – 0,99 mm) em função das distâncias (0-400 cm) comparando trincheira entre plantas (TP) e trincheira entre carreamento (TC). Dados são médias e asteriscos indicam diferença estatística (tukey a 5%).

DMS QUATERNÁRIAS

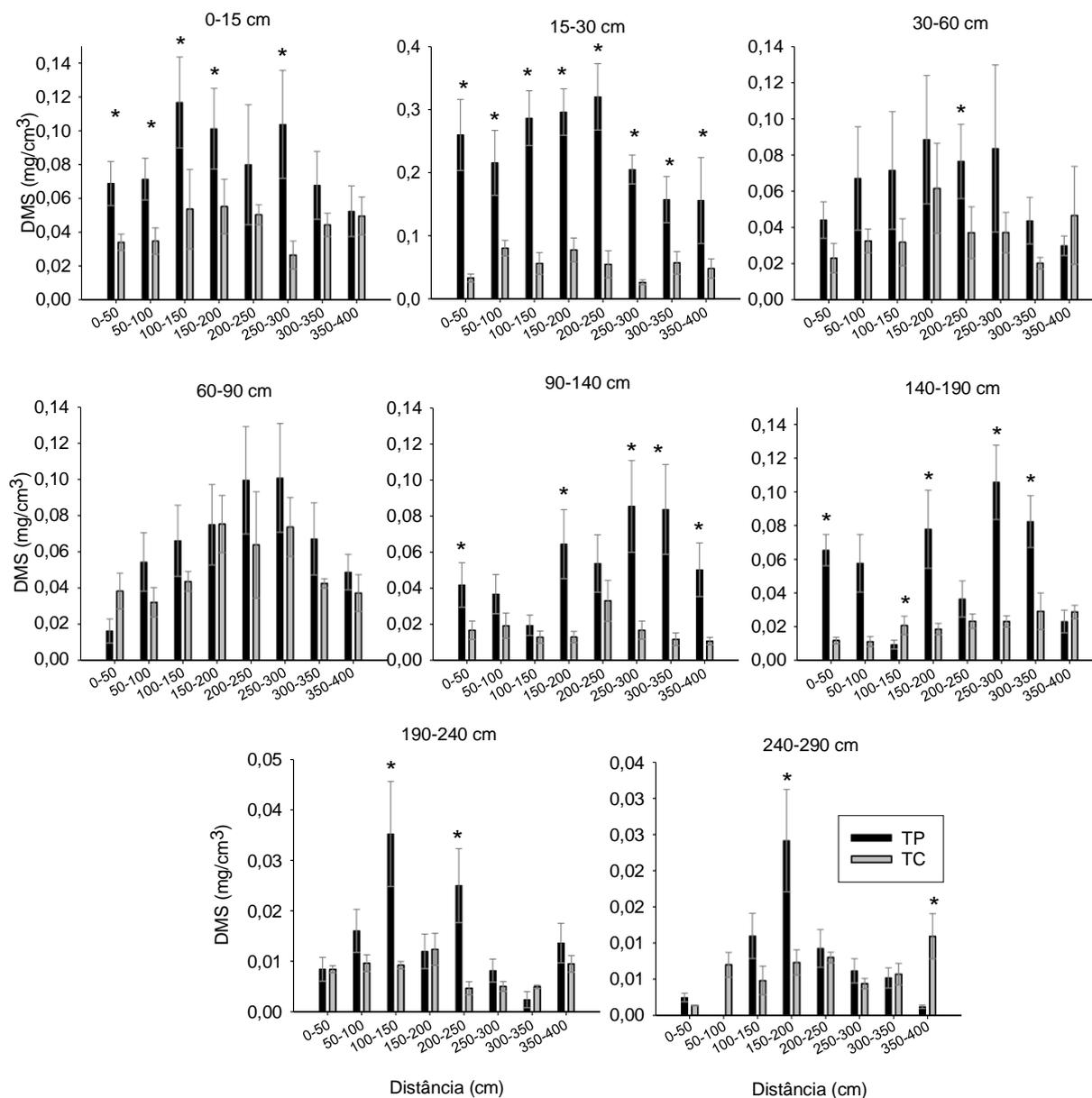


Figura 8 - Densidade de massa de raízes quaternárias (Φ 0,25 - 0,49 mm) em função das distâncias (0-400 cm) comparando trincheira entre plantas (TP) e trincheira entre carregamento (TC). Dados são médias e asteriscos indicam diferença estatística (tukey a 5%).

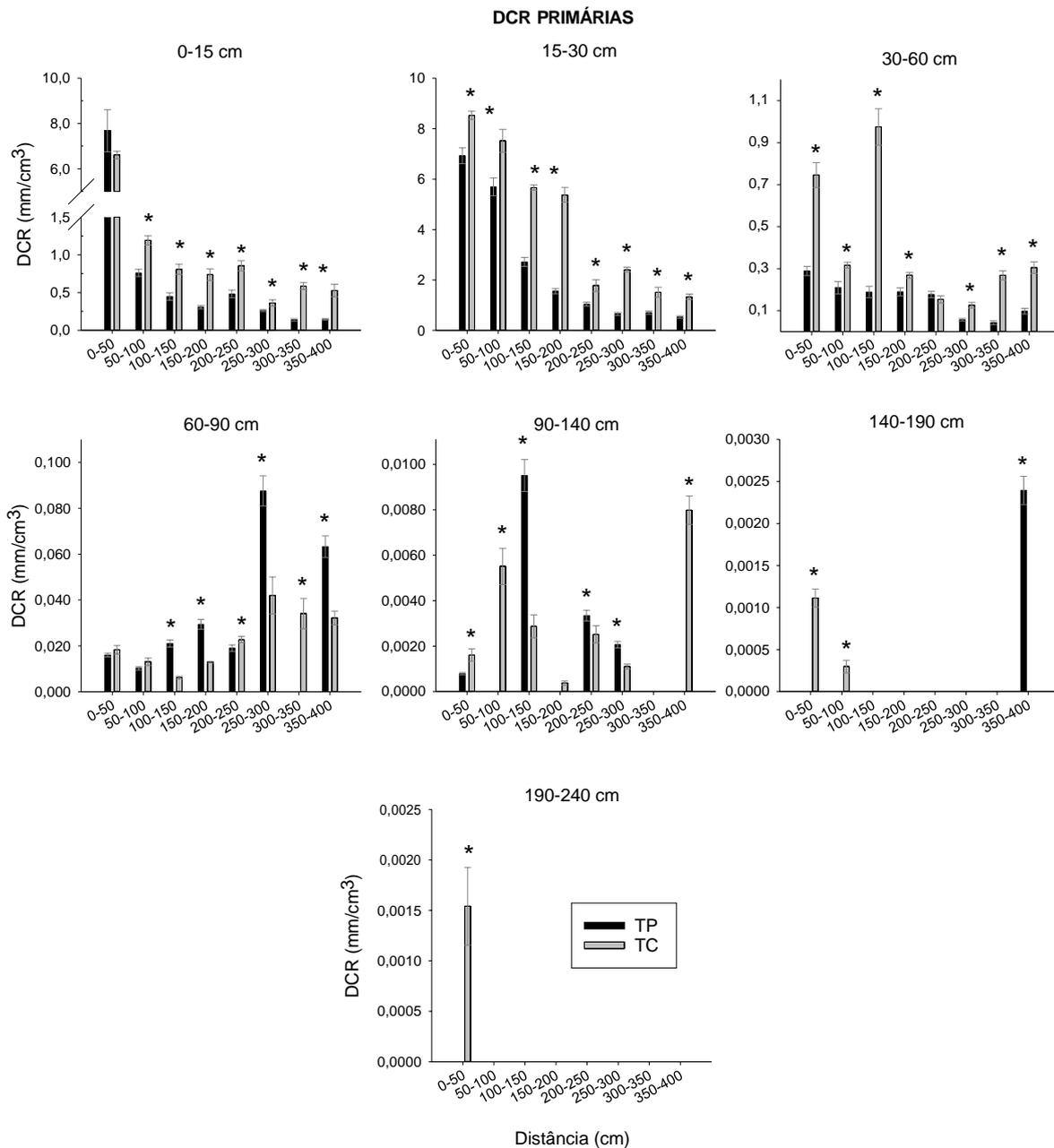


Figura 9 - Densidade de comprimento de raízes primárias ($\Phi 1 \geq 5$ mm) em função das distâncias (0-400 cm) comparando trincheira entre plantas (TP) e trincheira entre carregamento (TC). Dados são médias e asteriscos indicam diferença estatística (tukey a 5%).

DCR SECUNDÁRIAS

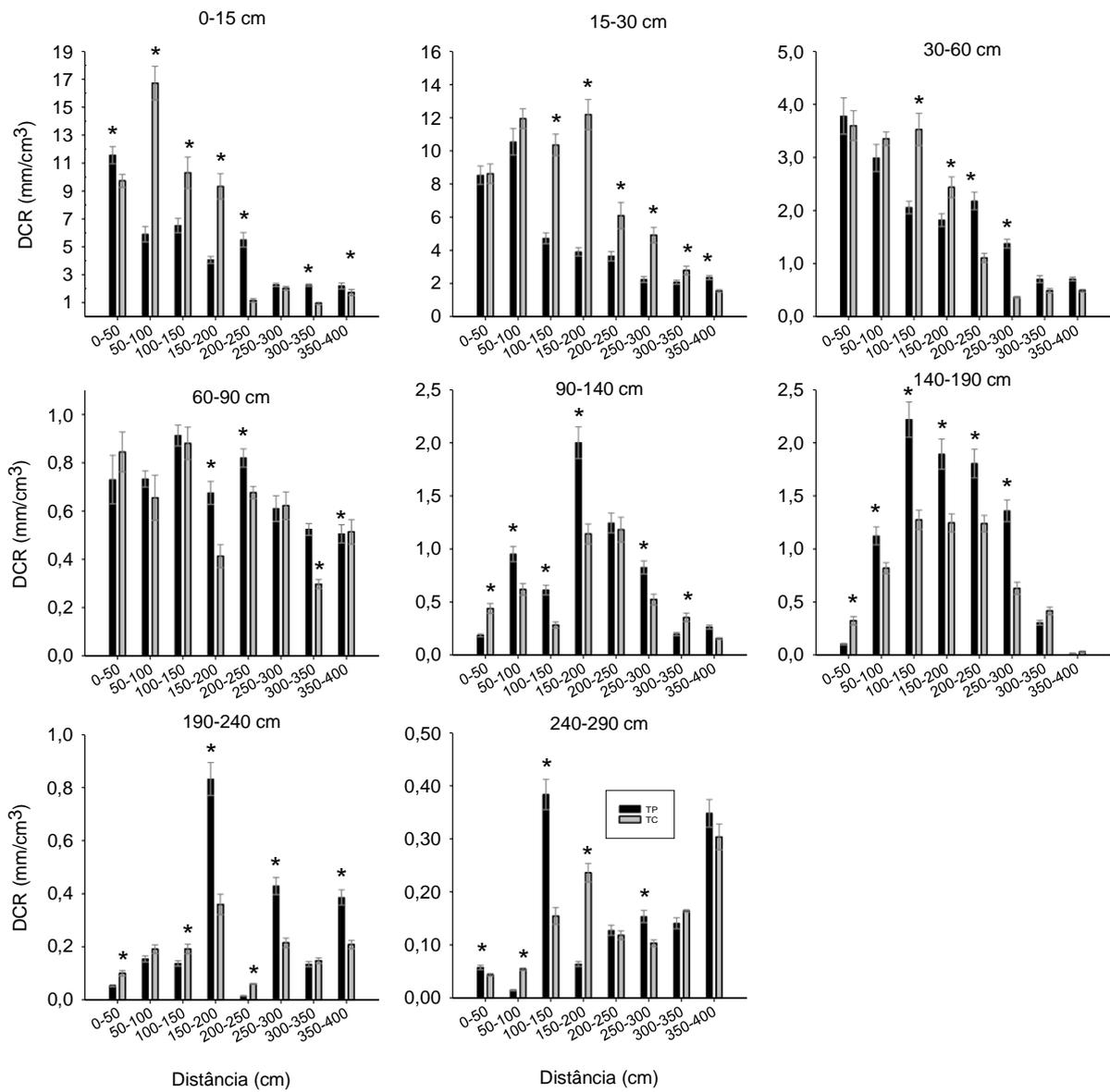


Figura 10 - Densidade de massa de raízes secundárias (Φ 1 - 4,99 mm) em função das distâncias (0-400 cm) comparando trincheira entre plantas (TP) e trincheira entre carreamento (TC). Dados são médias e asteriscos indicam diferença estatística (tukey a 5%).

DCR Terciárias

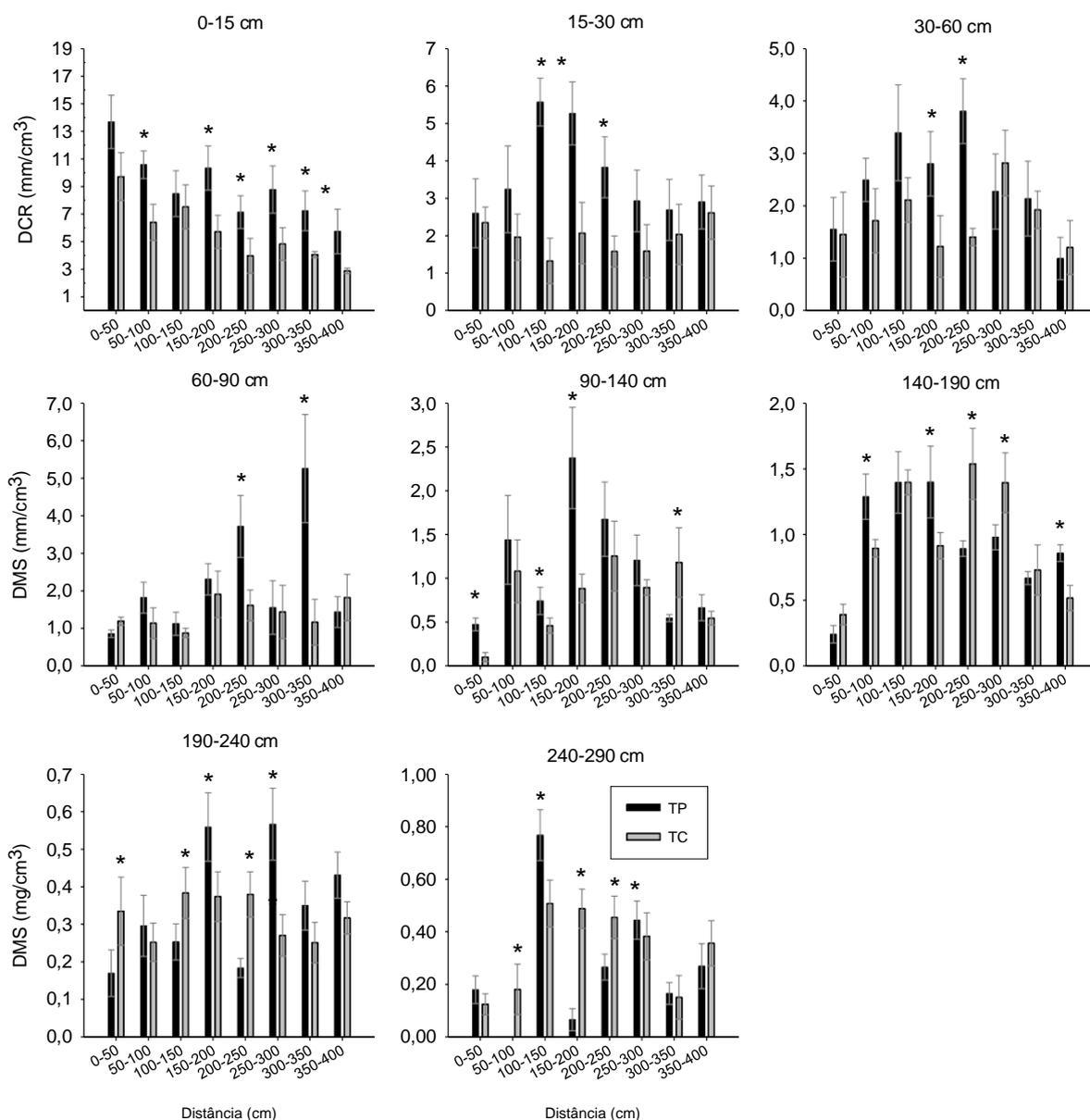


Figura 11 - Densidade de comprimento de raízes terciárias (Φ 0,5 - 0,99 mm) em função das distâncias (0-400 cm) comparando trincheira entre plantas (TP) e trincheira entre carreamento (TC). Dados são médias e asteriscos indicam diferença estatística (tukey a 5%).

DCR QUATERNÁRIAS

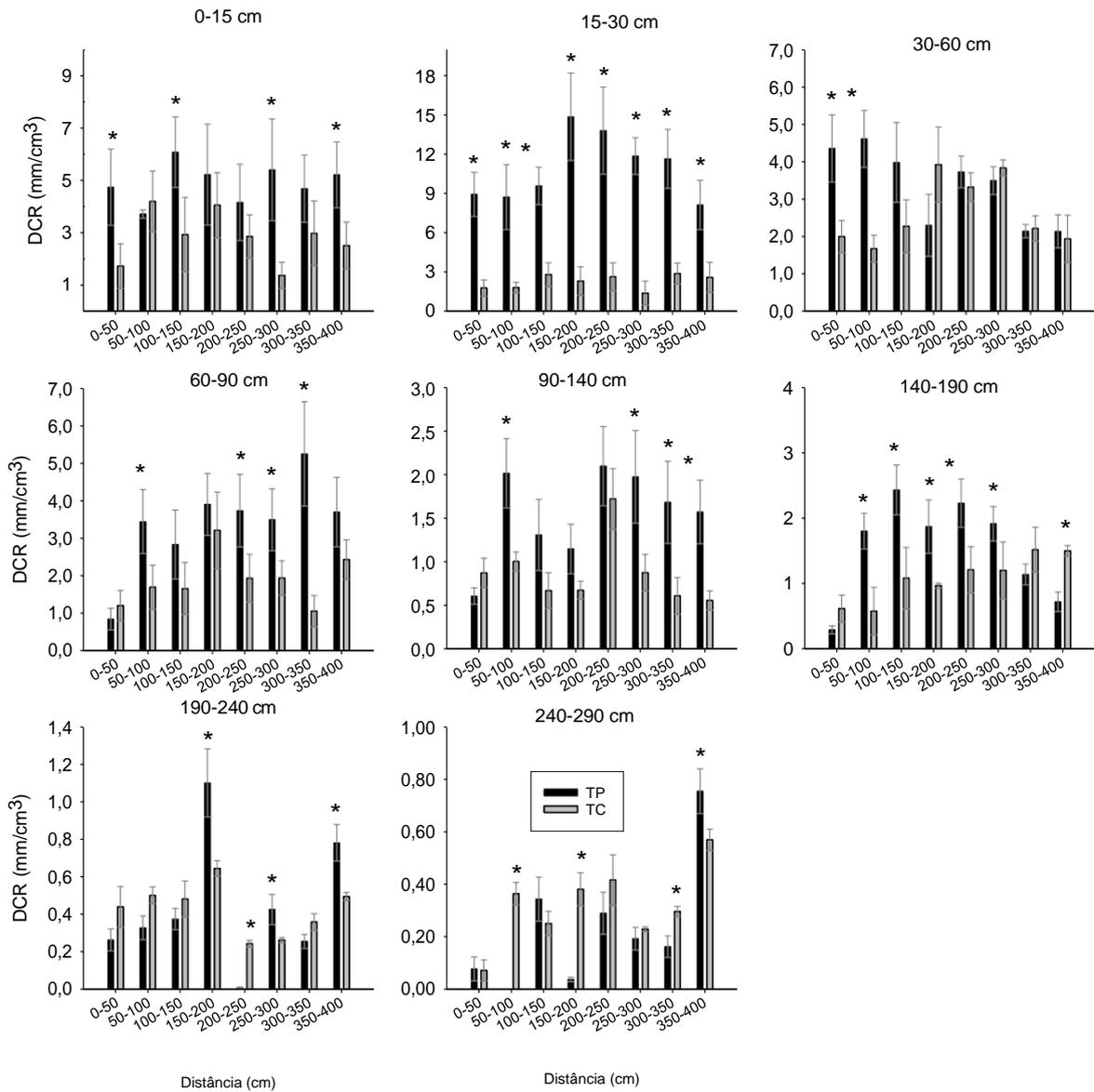


Figura 12 - Densidade de comprimento de raízes quaternárias (Φ 0,25 - 0,49 mm) em função das distâncias (0-400 cm) comparando trincheira entre plantas (TP) e trincheira entre carreamento (TC). Dados são médias (n=4) e asteriscos indicam diferença estatística (tukey a 5%).

Tabela-3: Percentual de densidade de massa de raízes primárias ($\Phi \geq 5$ mm), secundárias ($\Phi = 1 - 4,9$ mm), terciárias ($\Phi = 0,5 - 0,9$ mm) e quaternárias ($\Phi = 0,25 - 0,49$ mm) em diferentes camadas do solo. Raízes totais são a soma das médias das três classes de raízes. TP – Trincheiras entre plantas, TC – Trincheira entre carreamento, P – Primária, S- Secundária, T- Terciária e Q- Quaternária.

Profundidade (cm)	DMS por Profundidade (%)							
	TP				TC			
	P	S	T	Q	P	S	T	Q
0-15	60,71	29,92	7,25	2,13	60,98	33,94	4,00	1,08
15-30	76,63	18,38	1,90	3,10	81,49	17,48	0,63	0,40
30-60	33,10	51,72	8,73	6,49	32,77	50,38	6,03	5,08
60-90	16,51	46,19	20,53	16,69	25,84	38,52	11,88	14,52
90-140	1,47	73,58	14,47	10,62	1,64	63,29	11,32	6,69
140-190	0,18	81,78	9,70	8,41	0,25	78,32	13,77	8,33
190-240	0,00	76,87	13,67	9,29	0,00	77,30	18,22	12,80
240-290	17,10	75,15	17,03	7,92	0,00	61,69	18,76	9,89

Tabela – 4: Biomassa total da trincheira entre plantas (TP) para cada classe de raiz.

Raiz	TP			
	Massa		Comprimento	
	Kg planta ⁻¹	Mg ha ⁻¹	Km planta ⁻¹	Km ha ⁻¹
Primária	35,90	5,13	17,15	2452,45
Secundária	35,97	5,14	137,19	19618,17
Terciária	7,67	1,10	216,08	30899,44
Quaternária	6,09	0,87	317,49	45401,07
Total	85,63	12,25	687,91	98371,13

Tabela – 5: Biomassa total da trincheira entre plantas (TP) para cada classe de raiz.

Raiz	TC			
	Massa		Comprimento	
	Kg planta ⁻¹	Mg ha ⁻¹	Km planta ⁻¹	Km ha ⁻¹
Primária	69,36	9,92	33,13	4737,59
Secundária	36,03	5,15	137,43	19652,49
Terciária	5,55	0,79	156,26	22345,18
Quaternária	3,42	0,49	178,31	25498,33
Total	114,37	16,35	505,13	72233,59

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

Local	Idade (anos)	Profundidade (cm)	massa (Mg/ha)	Fonte
Malásia	4	100	3,00	Jourdan et al., 2000
Brasil	8	290	14,30	*Este estudo
Brasil	9	600	14,00	Sommer et al., 2000
Colômbia	10	90	8,60	Cuesta et al., 2010
Malásia	12	90	33,80	Kiyono et al., 2015
Malásia	14	90	9,85	Corley et al., (1971)
Nigéria	17	90	16,40	Rees & Tinker, (1963)
Malásia	23	100	16,00	Khalid et al., 1999
Malásia	27	90	18,59	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 (média de TP e TC).

Sistema	Biomassa de raiz (Mg/ha)	Profundidade (cm)
Culturas sazonais (1 ano)*	1,98	100
Floresta Primária**	22	600
Floresta Secundária (40 anos)**	34	600
vegetação Secundária (12 anos)**	30	600
vegetação Secundária (5 anos)**	23	600
Vegetação Secundária (1 anos)**	12	600
Cultivo Tradicional (15 meses)**	13	600
Cultivo de Maracujá**	3,0	600
Pimenta do reino**	5,0	600
Palma de óleo (8 anos)***	14,30	290

4.5. 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. - Mécanismes de resistance a la sècheresse chez des plantes jeunes et adultes de palmier à huile (*Elaeis guineensis* Jacq.). Thèse Doct., Université 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, R.S. 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 Caiaué 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 MANICORÉ 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, D.M; 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_Esta_do_do_Para_2015.pdf.

FOLONI, JOSÉ SALVADOR SIMONETI; CALONEGO, JULIANO CARLOS; DE LIMA, SÉRGIO LÁZARO. Efeito da compactação do solo no desenvolvimento aéreo e radicular de cultivares de milho. Pesq. agropec. bras., Brasília, v. 38, n. 8, p. 947-953, ago. 2003

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. Syahrinudin 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.,; TORIYAMA, 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 Agropecuária Brasileira, v. 47, n. 10, 2012 p. 1496-1503. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2012001000012>.

MATERECHERA, S. A.; ALSTON, A. M.; KIRBY, J. M.; DEXTER, A. R. Influence of root diameter on the penetration of seminal roots into a compacted subsoil. Plant and Soil, Dordrecht, v. 144, p. 297-303, 1992.

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 Dendezeiro 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, K.S.; DEFOREST, J.L.; BURTON, A.J.; ALLEN, M.F.; RUESS, R.W.; HENDRICK, R.L. 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, J.W. 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.; ZILIOOTTO,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 *Eleais 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 .