



**Universidade Federal do Tocantins**  
**Campus Universitário de Gurupi**  
**Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal**

MARCIANE CRISTINA DOTTO

**BALANÇO DE CARBONO E NUTRIENTES SOLO/PLANTA EM PLANTIOS DE  
PALMA-DE-ÓLEO (*Elaeis guineenses*), NA AMAZÔNIA ORIENTAL**

**GURUPI-TO**  
**2017**



**Universidade Federal do Tocantins**  
**Campus Universitário de Gurupi**  
**Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal**

MARCIANE CRISTINA DOTTO

**BALANÇO DE CARBONO E NUTRIENTES SOLO/PLANTA EM PLANTIOS DE  
PALMA-DE-ÓLEO (*Elaeis guineenses*), NA AMAZÔNIA ORIENTAL**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Produção Vegetal da Universidade Federal do Tocantins como parte dos requisitos para a obtenção do título de Doutora em Produção Vegetal.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Andrea Lemus Erasmós

**GURUPI-TO**

**2017**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**  
**Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins**

---

D725b Dotto, Marciane Cristina.

BALANÇO DE CARBONO E NUTRIENTES SOLO/PLANTA EM PLANTIOS DE PALMA-DE-ÓLEO (*Elaeis guineenses*), NA AMAZÔNIA ORIENTAL. / Marciane Cristina Dotto. – Gurupi, TO, 2017.

95 f.

Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Tocantins – Câmpus Universitário de Gurupi - Curso de Pós-Graduação (Doutorado) em Produção Vegetal, 2017.

Orientador: Eduardo Andrea Lemus Erasmo

1. Dênde. 2. Carbono. 3. Nutrientes. 4. Fisiologia. I. Título

**CDD 635**

---

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte. A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184 do Código Penal.

**Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFT com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).**

**ATA nº 01/2017**

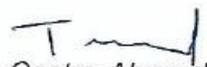
**ATA DA DEFESA PÚBLICA DA TESE DE DOUTORADO DE MARCIANE CRISTINA DOTTO, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO VEGETAL DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS**

Aos 28 dias do mês de Abril do ano de 2007, às 14:30 horas, na Sala 15, do BALA II, reuniu-se a Comissão Examinadora da Defesa Pública, composta pelos seguintes membros: Prof. Orientador Dr. Eduardo Andrea Lemus Erasmo do Câmpus Universitário de Palmas/ Universidade Federal do Tocantins, Prof. Dr. Renato de Almeida Sarmento, Prof. Dr. Tarcísio Castro Alves de Barros Leal, Profª. Dra. Susana Cristine Siebeneichler do Câmpus Universitário de Gurupi / Universidade Federal do Tocantins e do Prof. Dr. Jhanley, Ferreira da Mata da Universidade do Estado de Minas Gerais, Câmpus de Frutal sob a presidência do primeiro, a fim de proceder a arguição pública da Tese de Doutorado de Marciane Cristina Dotto, intitulada "BALANÇO DE CARBONO E NUTRIENTES SOLO/PLANTA EM PLANTIOS DE PALMA-DE-ÓLEO (*Elaeis guineenses*), NA AMAZÔNIA ORIENTAL". Após a exposição, a discente foi arguida oralmente pelos membros da Comissão Examinadora, tendo parecer favorável à aprovação, habilitando-a ao título de Doutora em Produção Vegetal.

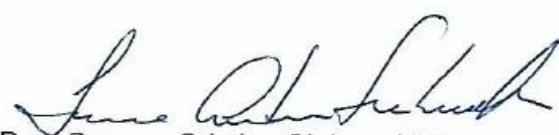
Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que, após lida e aprovada, foi assinada pelos membros da Comissão Examinadora.



Dr. Renato de Almeida Sarmento  
Universidade Federal do Tocantins  
Primeiro examinador



Dr. Tarcísio Castro Alves de Barros Leal  
Universidade Federal do Tocantins  
Segundo examinador



Dra. Susana Cristine Siebeneichler  
Universidade Federal do Tocantins  
Terceiro examinador



Dr. Jhanley Ferreira da Mata  
Universidade do Estado de Minas Gerais - Frutal  
Quarto examinador



Dr. Eduardo Andrea Lemus Erasmo  
Universidade Federal do Tocantins  
Orientador e presidente da banca examinadora

Gurupi, 28 de Abril de 2017.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus pela vida, e por interceder por mim, me agraciando todos os dias.

Aos meus pais Moacir Dotto e Cedeni A. Dotto, por serem anjos em minha vida, por espelharem amor, dedicação, tolerância, compreensão e por terem abdicado e sacrificado tanto de si mesmos em favor de mim. Agradeço aos meus irmãos, Michel e Murilo pela credibilidade.

Ao meu querido orientador Dr. Eduardo Andrea Lemus Erasmo, pelas orientações irrestritas, incentivos, apoio incondicional, amizade, parceríssimos, confiança, paciência, pelos conhecimentos transmitidos, pela cumplicidade de “Pai” e “Filha”, e também pelo exemplo profissional como indivíduo, educador e pesquisador. Minha profunda admiração e gratidão.

Ao meu namorado e companheiro Erley de Lima Brito Filho, pelo apoio incondicional e principalmente pela paciência durante esses anos de estudos;

Aos companheiros e amigos, Analu Guarnieri, Marília Barcelos, Djalma Junior, Gustavo Colombo, Mirela Aguiar, Mario Sergio, pela companhia e amizade de sempre.

Aos companheiros de pesquisa e amigos, Sara Bandeira, André, Nadia, Gessica, Lucas, David, Marçal, Caroline, Rita, Hilquias, Bruno, Victor, Sérgio, Francisco, Tânia, Marcos, Patricia, Nayra e Sara, pela força, apoio e companheirismo de sempre.

Ao Dr. Renato de Almeida Sarmiento, Dr. Tarcísio Castro Alves de Barros Leal, Dra. Susana Siebeneichler, Dr. Jhansley Ferreira da Mata, por aceitarem gentilmente examinar este trabalho de conclusão, e por demais incentivos e orientação durante o curso.

Aos demais professores da UFT que somaram de forma grandiosa para minha formação.

A empresa Biopalma/Vale por permitir a realização desse trabalho bem como o apoio cedido durante a execução, e a todos os funcionários e amigos, pelo apoio prestado.

A Fundação Universidade Federal do Tocantins, em especial ao Campus Universitário de Gurupi, e ao Programa de Pós-graduação de Produção Vegetal, pela oportunidade de realização deste Curso.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPEs), pela bolsa concedida.

A todas as pessoas que direta e indiretamente, contribuíram na realização deste trabalho.

*Meus sinceros agradecimentos!!!*

## RESUMO GERAL

O Brasil produz cerca de 340 mil toneladas de óleo-de-palma. A maior parte provém do território paraense que representa cerca de 90% da produção nacional de óleo-de-palma, com 160 mil hectares plantados em função da aptidão edafoclimática da região que possui condições favoráveis para o desenvolvimento da cultura. Diante da relevância desta cultura, os estudos aqui realizados foram conduzidos com o objetivo de fornecer informações sobre os aspectos fisiológicos, quantificação de biomassa, estoque de carbono e balanço nutricional em plantios de palma-de-óleo com 3, 4, 5, 6 e 7 anos de idade. As investigações aqui relatadas são divididas em quatro capítulos. No primeiro capítulo o objetivo foi estudar as respostas das trocas gasosas em plantações de palma-de-óleo das variedades Deli x Ghana e Compacta x Ghana com 6 e 7 anos de idade, nas condições edafoclimáticas do município de Mojú – PA. O segundo capítulo consiste na quantificação da biomassa das plantas de palma-de-óleo pelo método destrutivo bem como a obtenção de variáveis biométricas de fácil mensuração para o ajuste de equações alométricas específicas e regionais para estimar a biomassa aérea das plantas. A vantagem do desenvolvimento dessa ferramenta (equação) é a economia de tempo, energia e recursos. Pois nas próximas estimativas de biomassa não se faz necessária amostragem destrutiva das plantas. Com a obtenção da biomassa seca da palma-de-óleo o terceiro capítulo foi verificado o potencial da cultura na fixação de carbono em sua biomassa, como quantificar o estoque de carbono no sistema planta, solo e serapilheira. Por fim, o quarto capítulo verificou o conteúdo de nutrientes no solo, na serapilheira e na planta em diferentes compartimentos, finalizando com o balanço de macronutrientes no sistema solo-planta, em plantios de palma-de-óleo, com 3 a 7 anos de idade. No estudo das respostas das trocas gasosas, as plantas de palma-de-óleo com seis anos de idade, apresentaram maiores valores para a condutância estomática, transpiração e a eficiência instantânea da carboxilação (EiC) em relação as plantas com 7 anos de idade para as variedades Deli x Ghana e Compacta x Ghana. Nas condições edafoclimáticas da região, a variedade Compacta x Ghana, somado às suas características genéticas, apresentou maior capacidade de realizar fotossíntese quando comparado a variedade Deli x Ghana. Ficou evidenciado que é possível expressar a biomassa seca total da espécie (*Elaeis guineensis* Jacq.), com 3 a 7 anos de idade por meio de equações de regressão, utilizando variáveis independentes de fácil obtenção. A concentração de carbono (C) na biomassa das plantas foi de 55,2%, apresentando um estoque de carbono total no sistema (solo+serapilheira+ planta) de 71,16 Mg C ha<sup>-1</sup> em plantios com até 7 anos de idade. E finalizando o estudo com balanço de macronutrientes no sistema, onde os plantios de palma-de-óleo apresentaram um balanço positivo para todos os elementos, exceto para o potássio que apresentou saldo negativo nos plantios com 6 e 7 anos de idade. Pode-se afirmar que o manejo realizado nos plantios de palma-de-óleo em Mojú-PA, não exaurem o solo.

**Palavras-chave:** Trocas gasosas, equações alométricas, carbono, nutrientes.

## GENERAL ABSTRACT

Brazil produces about 340 thousand tons of palm oil. Most of them come from the territory of Para, which accounts for about 90% of the national palm oil production, with 160,000 hectares planted according to the soil and climate of the region, which has favorable conditions for the development of the crop. Considering the relevance of this culture, the studies carried out were conducted with the objective of providing information on the physiological aspects, quantification of biomass, carbon stock and nutritional balance in oil palm plantations with 3, 4, 5, 6 and 7 years old. The investigations reported here are divided into four chapters. In the first chapter the objective was to study the gas exchange responses in oil palm plantations of the Deli x Ghana and Compacta x Ghana varieties at 6 and 7 years of age, under the edaphoclimatic conditions of the municipality of Mojú - PA. The second chapter consists of quantifying the biomass of the oil palm plants by the destructive method as well as the obtaining of easy-to-measure biometric variables for the adjustment of specific allometric and regional equations to estimate the aerial biomass of the plants. The advantage of developing this tool (equation) is the saving of time, energy and resources. For the next estimates of biomass do not require destructive sampling of plants. With the obtaining of the dry biomass of the oil palm the third chapter was verified the potential of the culture in the fixation of carbon in its biomass, how to quantify the carbon stock in the plant system, soil and litter. Finally, the fourth chapter verified the nutrient content in soil, litter and plant in different compartments, ending with the macronutrient balance in the soil-plant system, in palm oil plantations, from 3 to 7 years of age. In the study of gas exchange responses, six-year-old oil palm plants presented higher values for stomatal conductance, transpiration and instantaneous carboxylation efficiency (EiC) compared to 7-year-old plants for the varieties Deli x Ghana and Compacta x Ghana. In the edaphoclimatic conditions of the region, the Compacta x Ghana variety, added to its genetic characteristics, showed a greater capacity to perform photosynthesis when compared to the Deli x Ghana variety. It was evidenced that it is possible to express the total dry biomass of the species (*Elaeis guineensis* Jacq.), With 3 to 7 years of age by means of regression equations, using independent variables easily obtainable. The concentration of carbon (C) in plant biomass was 55.2%, presenting a total carbon stock in the system (soil + litter + plant) of 71.16 Mg C ha<sup>-1</sup> in plantations up to 7 years of age. At the end of the study with a macronutrient balance in the system, where the oil palm plantations presented a positive balance for all the elements, except for the potassium that presented negative balance in the plantations with 6 and 7 years of age. It can be affirmed that the management carried out in the palm-oil plantations in Mojú-PA, does not exhaust the soil.

**Keywords:** Gas exchanges, allometric equations, carbon, nutrients.

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO GERAL</b> .....	11
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	13
<b>CAPITULO I</b> .....	16
<b>RESPOSTAS FISIOLÓGICAS DA PALMA-DE-ÓLEO, SOB CONDIÇÕES EDAFOCLIMÁTICAS DA AMAZÔNIA ORIENTAL</b> .....	16
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	17
<b>2 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	18
<b>3 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	19
3.1 - Condições climáticas.....	19
3.2 – Trocas Gasosas .....	20
<b>4 CONCLUSÃO</b> .....	26
<b>REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA</b> .....	26
<b>CAPITULO 2</b> .....	30
<b>ESTIMATIVA DA BIOMASSA AÉREA DE PALMA-DE-ÓLEO POR MEIO DE EQUAÇÕES ALOMÉTRICAS NA AMAZÔNIA ORIENTAL</b> .....	30
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	31
<b>2 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	32
2.1. Caracterização da área de estudo.....	32
2.2 Material de Estudo e Procedimentos Metodológicos .....	33
<b>3 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	35
3.1. Análise Estatísticas das Variáveis Avaliados .....	35
3.2 Análise da correlação entre as variáveis avaliadas .....	38
3.3 Ajuste das equações alométricas de biomassa seca em função de variáveis biométricas .....	39
<b>4 CONCLUSÃO</b> .....	42
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	43
<b>CAPITULO 3</b> .....	46

<b>ESTOQUE DE CARBONO EM SISTEMAS DE CULTIVOS DE PALMA-DE-ÓLEO, NA AMAZÔNIA ORIENTAL</b> .....	46
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	47
<b>2 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	48
2.1. Caracterização da área de estudo.....	48
2.2 Material de Estudo e Procedimentos Metodológicos .....	48
<b>3 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	50
3.1 Biomassa e Carbono da parte aérea.....	50
3.2 – Biomassa e Carbono na Serapilheira .....	53
3.3 Estoque de carbono no solo .....	54
3.4 Estoque total de carbono no sistema.....	56
<b>4 CONCLUSÃO</b> .....	57
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	57
<b>CAPITULO 4</b> .....	61
<b>BALANÇO DE NUTRIENTES NO SISTEMA SOLO-PLANTA EM PLANTIOS COMERCIAIS DE PALMA-DE- ÓLEO, NA AMAZÔNIA ORIENTAL</b> .....	61
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	62
<b>2 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	63
2.1. Caracterização da área de estudo.....	63
2.2 Material de Estudo e Procedimentos Metodológicos .....	63
<b>3 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	65
3. 1 Análises físico químicas dos solos da área em estudo.....	65
3. 2 Teor e Acumulo de nutrientes em plantas de Palma-de-óleo. ....	67
3. 3 Análise de nutrientes da Serapilheira encontrada em plantios de Palma-de-óleo. ....	73
3.4 - Balanço de nutrientes no sistema solo - planta .....	78
<b>4 CONCLUSÃO</b> .....	80
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	81
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	84

## LISTA DE TABELAS

### CAPÍTULO 2

<b>Tabela 1</b> - Modelos matemáticos empregados na estimativa de biomassa seca da palma-de-óleo.....	35
<b>Tabela 2</b> - Dados descritivos das variáveis avaliadas da palma-de-óleo.....	36
<b>Tabela 3</b> - Matriz de correlação simples entre os parâmetros avaliados na palma-de-óleo ( <i>E. guineensis</i> ) com 3 a 5 anos de idade, na Amazônia Oriental.....	38
<b>Tabela 4</b> - Matriz de correlação simples entre os parâmetros avaliados na palma-de-óleo ( <i>E. guineensis</i> ) com 6 e 7 anos de idade, na Amazônia Oriental.....	39
<b>Tabela 5</b> - Equações alométricas ajustadas para a biomassa seca da palma-de-óleo, com destaque para as de melhor desempenho.....	40

### CAPÍTULO 3

<b>Tabela 1.</b> Estatística do teor de carbono por compartimentos de biomassa de palma-de-óleo ( <i>E. guineensis</i> ), em Mojú – Pará, 2015 e 2016.....	52
--	----

### CAPÍTULO 4

<b>Tabela 1</b> - Atributos físicos de solos de plantios de Palma-de-óleo, de 3, 4, 5, 6 e 7 anos de idade, localizados na cidade de Mojú – PA, 2015 e 2016.....	66
<b>Tabela 2</b> - Atributos químico de solos de plantios de Palma-de-óleo, de 3, 4, 5, 6 e 7 anos de idade, localizados na cidade de Mojú – PA, 2015 e 2016.....	67
<b>Tabela 3</b> - Teores de macronutrientes na parte aérea de plantas de Palma-de-óleo em plantios com 3; 4; 5; 6 e 7 anos de idade, Mojú – PA, 2015 e 2016.....	69
<b>Tabela 4</b> - Teores de micronutrientes na parte aérea de plantas de Palma-de-óleo em plantios com 3. 4, 5, 6 e 7 anos de idade, Mojú – PA, 2015 e 2016.....	72
<b>Tabela 5</b> – Acumulo de biomassa seca (BS) e de nutrientes, na serapilheira em plantios de Palma-de-óleo com 3; 4, 5, 6 e 7 anos de idade, Mojú – PA, 2015 e 2016.....	78

## LISTA DE FIGURAS

### CAPÍTULO 1

- Figura 1** - Precipitação e temperatura diária da semana de avaliação, em janeiro de 2017, no município de Moju – PA (INMET, 2017) .....20
- Figura 2:** Condutância estomática ( $g_s$ ) (A) e concentração intercelular de  $CO_2$  ( $C_i$ ) (B), em plantas de palma-de-óleo, no município de Mojú - PA.....22
- Figura 3** – Fotossíntese líquida (A) (Figura A), transpiração ( $E$ ) (Figura B), em plantas de palma-de-óleo, no município de Mojú - PA.....24
- Figura 4** - Eficiência no uso de Água (EUA) ( $mmol\ CO_2\ mol^{-1}\ H_2O$ ) (A/E) (Figura A) e Eficiência Instantânea da Carboxilação (EiC) ( $A/C_i$ ) [ $\mu mol\ m^{-2}\ s^{-1}$ ] (Figura B), em plantas de palma-de-óleo, no município de Mojú – PA.....25

### CAPÍTULO 2

- Figura 1**-Variáveis biométricas mensuradas em *E.guineensis* na Amazônia Oriental.....34
- Figura 2** - Biomassa seca por compartimento arbóreo da palma-de-óleo, onde (A) corresponde as plantas com 3 a 5 anos e (B) as plantas com 6 e 7 anos de idade.....37
- Figura 3**- Análise residual das melhores equações ajustadas para estimativa da biomassa seca da palma-de-óleo.....42

### CAPÍTULO 3

- Figura 1** – Biomassa total por compartimento da planta de palma-de-óleo com 3 a 7 anos de idade, Mojú-PA, 2015 e 2016.....51
- Figura 2** – Estoque de Carbono em plantas de palma-de-óleo em plantios comerciais de 3 a 7 anos de idade, Mojú-PA, 2015 e 2016.....53
- Figura 3** - Biomassa e estoque de carbono da serapilheira em plantios de Palma-de-óleo de 3 a 7 anos de idade, Mojú-PA, 2015 e 2016.....54
- Figura 4.** Estoque de carbono total no solo (profundidade = 0-40 cm) em plantios de Palma-de-óleo de 3 a 7 anos de idade, em Mojú-PA,2015 e 2016 .....56
- Figura 5** - Estoques médios de carbono total ( $Mg\ C\ ha^{-1}$ ) em plantios de Palma-de-óleo com 3, 4, 5, 6 e 7 anos de idade (Planta + serapilheira + solo), em Mojú-PA, 2015 e 2016.....57

### CAPÍTULO 4

- Figura 1** - Percentuais da distribuição dos macronutrientes em diferentes porções da planta de palma-de-óleo em plantios com 3, 4, 5, 6 e 7 anos de idade, no município de Mojú – PA, 2015 e 2016.....70
- Figura 2** - Estoque de macronutrientes da parte aérea das plantas de palma-de-óleo, em plantios de de 3, 4, 5, 6 e 7 anos de idade, Mojú – PA, 2015 e 2016.....71
- Figura 3** - Percentuais da distribuição dos micronutrientes em diferentes porções da planta de palma-de-óleo em plantios com 3, 4, 5, 6 e 7 anos de idade, no município de Mojú – PA, 2015 e 2016.....73
- Figura 4** – Estoque de micronutrientes da parte aérea das plantas de palma-de-óleo, em plantios de de 3, 4, 5, 6 e 7 anos de idade, Mojú – PA, 2015 e 2016.....74
- Figura 5** - Teores de macronutrientes na serapilheira em plantios de Palma-de-óleo com 3; 4, 5, 6 e 7 anos de idade, Mojú – PA, 2015 e 2016.....76
- Figura 6** - Teores de Micronutrientes na serapilheira de plantios de Palma-de-óleo com 3; 4, 5, 6 e 7 anos de idade, Mojú – PA, 2015 e 2016.....77
- Figura 7** - Nutriente no solo (camada de 0-40 cm) e na vegetação (parte aérea + serapilheira), em valores absolutos e balanço nutricional em plantios em plantios de Palma-de-óleo com 3; 4, 5, 6 e 7 anos de idade, Mojú – PA, 2015 e 2016.....80

## INTRODUÇÃO GERAL

O óleo extraído dos frutos da palma-de-óleo (*Elaeis Guineensis* Jacq.), também conhecida como dendezeiro é uma das commodities mais importantes no mundo. Os países da Indonésia e Malásia são os maiores produtores de óleo de palma, ambos são responsáveis por 87% da produção mundial (FAO, 2013). A palma-de-óleo ocupa uma área com mais de 17 milhões de hectares e produz 267,55 milhões de toneladas de óleo em todo o mundo (FAO, 2013).

O Brasil, segundo o Zoneamento Agroecológico da Palma de Óleo, possui cerca de 32 milhões de hectares de áreas desmatadas, com aptidão para a expansão da cultura da palma-de-óleo, sendo que mais de 90% destas estão localizadas na Amazônia. Levantamentos recentes inserem o Brasil entre os 10 maiores produtores de palma-de-óleo, entretanto sua produtividade ainda não é suficiente nem mesmo para suprir o mercado interno (FAO, 2013; MAPA, 2017).

No estado do Pará, algumas regiões se tornaram atrativas ao desenvolvimento da cultura da palma-de-óleo devido a processos históricos e condições edafoclimáticas favoráveis. Dessa forma, o estado do Pará representa cerca de 90% da produção nacional de óleo de palma, mas esse percentual pode crescer em função da aptidão edafoclimática da região e da excelente aceitabilidade do produto nos mercados nacional e internacional (USDA, 2011). Hoje, o óleo vegetal extraído, seja do mesocarpo (óleo de palma ou óleo de dendê) ou da amêndoa (óleo de palmiste), é um dos mais consumidos no mundo, principalmente pelas indústrias alimentícias e de biocombustíveis (LOPES et al., 2011).

O cultivo da cultura da palma-de-óleo é uma atividade de importância agroecológica-industrial com ciclo de exploração comercial longo de aproximadamente 25 anos. Em decorrência disso, essa cultura apresenta alto acúmulo de biomassa ao longo do seu ciclo vegetativo, onde se pode afirmar que as extensas áreas com plantio de palma-de-óleo sejam um considerável sumidouro de carbono (CUNHA; LOPES, 2010; SAIKKU et al., 2012; QUEIROZ et al., 2012).

Conforme a planta se desenvolve, o carbono é incorporado nos troncos, galhos, folhas e raízes, e devido ao grande potencial de fixação de carbono na biomassa da palma-de-óleo, faz-se necessário o desenvolvimento de metodologias de quantificação de biomassa e do conteúdo de carbono fixado. A utilização de equações alométricas e específicas são apontadas como uma importante ferramenta na estimativa da biomassa e do estoque de carbono em povoamentos de palma-de-óleo (LEITE; ANDRADE, 2003).

A capacidade de fixação de carbono em sistemas de cultivo varia entre biomas. Resende et al. (2001), em determinações da quantidade de carbono na biomassa acima da superfície do solo em uma Floresta de Terra Firme e em uma Floresta Alagável na Floresta Amazônica, encontraram, respectivamente, 72,29 Mg C ha<sup>-1</sup> e 61,61 Mg C ha<sup>-1</sup>. Já Syahrudin et al. (2005), estudando as plantas de palma-de-óleo em Sumatra na Indonésia, apresentaram um estoque de carbono total na biomassa de 9,2 Mg C ha<sup>-1</sup> e 35,4; 41,7 e 55,3 Mg C ha<sup>-1</sup> para as classes de 3; 10; 20 e 30 anos de idade, respectivamente.

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

Por ocasião de um ciclo produtivo longo, culturas perenes como a palma-de-óleo, estão associadas a interações ambientais de médio e longo prazo, sendo necessário entender as complexas interações agroecológicas produzidas entre a cultura e o meio. O desenvolvimento da palma-de-óleo é significativamente influenciado por fatores edafoclimáticos, podendo acarretar uma série de alterações fisiológicas e bioquímicas nas plantas (SILVA, 2006).

Fisiologicamente, as variações edafoclimáticas podem promover limitações fotossintéticas, as quais são essenciais para sintetizar o suprimento da planta, assim como ocasiona alterações no uso e dissipação da energia absorvida, dentre outras limitações fisiológicas (SURESH et al., 2010; SURESH et al., 2012).

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

Um dos maiores desafios nos cultivos de palma-de-óleo é a produção sustentável do óleo vegetal, pois essa cultura apresenta alta demanda de nutrientes devido ao seu rápido crescimento anual, especialmente nos primeiros anos do seu ciclo (KEE e GOH, 2006). Para Viegas et al. (2000), a quantidade de nutrientes encontradas nos diversos compartimentos no

sistema solo-planta (planta, serapilheira e solo) são importantes para a compreensão da estrutura do ecossistema, assim como para definição de estratégias que visem à manutenção da sustentabilidade do cultivo da Palma-de-óleo.

Diante da relevância desta cultura, os estudos aqui realizados foram conduzidos com o objetivo de fornecer informações sobre os aspectos fisiológicos, quantificação de biomassa, estoque de carbono e balanço nutricional em plantios de palma-de-óleo com 3, 4, 5, 6 e 7 anos de idade no município de Mojú – PA.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BASTOS, T. X. Aspectos agroclimáticos do dendezeiro na Amazônia Oriental. In: VIEGAS, I. de J. M.; MULLER, A. A. (Ed.). **A cultura do dendezeiro na Amazônia**. Belém: EMBRAPA Amazônia Oriental; Manaus: EMBRAPA Amazônia Ocidental, 2000. p. 48-60.

CUNHA, R. N. V.; LOPES, R. BRS Manicoré: Híbrido Interespecífico entre o Caiuá e o Dendezeiro Africano Recomendado para Áreas de Incidência de Amarelecimento-Fatal. Embrapa Amazônia Ocidental. **Comunicado técnico**, 85. Manaus, AM. 2010.

FAO., FAOSTAT agriculture data, 2013. Available: <http://faostat.fao.org>. Acesso em 17 de março, 2016.

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

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

IPAM - Instituto de pesquisa ambiental da Amazônia. Perguntas e respostas sobre Aquecimento global. Belém, Disponível em <http://www.ipam.org.br/biblioteca>. 2008.

KEE, K.K. and K.J. GOH. Efficient fertilizer management for higher productivity and sustainability in oil palm production. In: Higher Productivity and Efficient Practices for Sustainable Plantation Agriculture (Vol 1), Incorporated Society of planters, Kuala Lumpur, 157-182, 2006.

LEITE HG, ANDRADE V.C.L. Importância das variáveis altura dominante e altura total em equações hipsométricas e volumétricas. *Revista Árvore*; 27(3): 301-310. 2003.

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

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (MAPA). Anuário estatístico da agroenergia 2010. Disponível em:

- <[http://www.agricultura.gov.br/arq\\_editor/file/Desenvolvimento\\_Sustentavel/Agroenergia/anuario\\_agroenergia/index.html](http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/file/Desenvolvimento_Sustentavel/Agroenergia/anuario_agroenergia/index.html)>. Acesso em 11 abril de 2017.
- MOJIRI, A.; AZIZ, A.H.; RAMAJI. Potential decline in soil quality attributes as a result of land use change in a hillslope in Lordegan, Western Iran. **African journal of agricultural research**. v. 7, n.4, p. 577-582. 2012.
- QUEIROZ, A.G.; FRANÇA, L.; PONTE, M.X. The life cycle assessment of biodiesel from palm oil (dendê) in the Amazon. **Biomassa and bionergy**, v.36, p.50-59 2012.
- RESENDE, D; MERLIN, S; SANTOS, M. **Sequestro de carbono: uma experiência concreta**. Palmas: Instituto Ecologia, 178p. 2001..
- SAIKKU, L.; SOIMAKALLIO, S.; PINGOUD, K. Attributing land-use change carbon emissions to exported biomass. **Environmental impact assessment**, v. 37, p. 47–54. 2012.
- SANQUETTA C R, Corte APD, Balbinot R, Leal MCBS, Ziliotto MAB. Proposta metodológica para quantificação e monitoramento do carbono estocado em florestas plantadas. In: Sanquetta CR, Ziliotto MA, Corte APD, editor. *Carbono: Desenvolvimento Tecnológico, Aplicação e Mercado Global*. Curitiba; 2006.
- SILVA, J. S. O. Produtividade de óleo de palma na cultura do dendê na Amazônia Oriental: influência do clima e do material genético. Dissertação (Mestrado) Universidade Estadual de Viçosa-UFV. Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, 95p. 2006.
- SMITH, R.D.; TOWNSEND, T.J.; CHOY, A.M.K.; HARDY, I.C.K.; SJÖGERSTEN, S. Short-term soil carbon sink potential of oil palm plantations. **GCB Bioenergy**. v. 4, n. 5, p. 588-596. 2012.
- SOUZA, Z. M.; ALVES, M. C.; Propriedades químicas de um Latossolo Vermelho Distrófico de Cerrado sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 27, n. 1, p.133-139. 2003.
- SURESH K., NAGAMANI C., KANTHA D.L., KUMAR M.K. Changes in photosynthetic activity in five common hybrids of oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) seedlings under water deficit. **Photosynthetica**, v. 50. 2012.
- SURESH, K.; NAGAMANI, C.; RAMACHANDURU, K.; MATHUR, R. K. Gas-exchange characteristics, leaf water potential and chlorophyll a fluorescence in oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) seedlings under water stress and recovery. **Photosynthetica**, v.48, n.3, p. 430-436, 2010.
- SYAHRINUDIN. The potential of palm oil and forest plantations for carbon sequestration on degraded land in Indonesia. Thesis (Faculty of Agriculture) University of Bonn, Bonn, 112f, 2005.
- USDA. Oilseeds: World markets and Trade. Foreign Agricultural Service, **Circular series FOP 1 – 11**. 2011.

VIEGAS, I., BOTELHO, S. “Nutrição e Adubação do Dendezeiro”. In: Viegas, I., Muller, A. (eds), *A Cultura do Dendezeiro na Amazônia Brasileira*, 1 ed., cap. 11. Belém, Pará, 2000.

## CAPITULO I

### RESPOSTAS FISIOLÓGICAS DA PALMA-DE-ÓLEO, SOB CONDIÇÕES EDAFOCLIMÁTICAS DA AMAZÔNIA ORIENTAL

**RESUMO:** As plantas de palma-de-óleo em condições de cultivo estão expostas a muitos tipos de estresses bióticos e abióticos. É de exemplo conhecido que, os fatores ambientais afetam o processo fisiológico das plantas. Diante da relevância desta cultura, o objetivo deste trabalho foi estudar as respostas das trocas gasosas em plantações de palma-de-óleo localizadas no município de Mojú. Para realizar o estudo foram selecionadas áreas com plantios comerciais de palma-de-óleo da variedade Deli x Ghana, e Compacta x Ghana ambas com plantas de duas idades 6 e 7 anos. Os dados foram coletados em janeiro de 2017 no período da manhã, em folíolos completamente expandidos da folha 17, sendo 5 plantas amostradas por variedade e idade das plantas. As avaliações das trocas gasosas foram realizadas a partir da mensuração da taxa de assimilação de CO<sub>2</sub> (*A*), transpiração (*E*), condutância estomática (*gs*), concentração interna de CO<sub>2</sub> (*C<sub>i</sub>*), eficiência no uso de água (EUA) e a eficiência instantânea da carboxilação (EiC). Esses parâmetros foram obtidos por meio de um analisador portátil de gás infravermelho (IRGA). Foi observado que as plantas da palma-de-óleo com seis anos de idade, apresentaram maiores valores para a condutância estomática, transpiração e a eficiência instantânea da carboxilação (EiC) em relação as plantas com 7 anos de idade, para ambas variedades. As variáveis fisiológicas condutância estomática, transpiração, fotossíntese líquida, eficiência do uso da água (UEA) e a eficiência instantânea da carboxilação (EiC), apresentaram-se maiores para as plantas da variedade Compacta x Ghana. Para as condições em que as plantas de palma-de-óleo foram conduzidas, a variedade Compacta x Ghana, somado às suas características genéticas, apresentou maior capacidade de realizar fotossíntese quando comparado a variedade Deli x Ghana.

**Palavras-chave:** *Elaeis guinensis*, trocas gasosas, dendê, adaptação, fatores abióticos.

**ABSTRACT:** Oil palm plants under cultivation conditions are exposed to many types of biotic and abiotic stresses. It is a known example that, environmental factors affect the physiological process of plants. Given the relevance of this culture to the state of Pará, the objective of this work was to study the response of gas exchange in oil palm plantations located in the municipality of Mojú. In order to carry out the study, areas with commercial palm oil crops of the Deli x Ghana variety, and Compacta x Ghana were planted both with plants of two ages 6 and 7 years. The data were collected in January 2017 in the morning, in leaflets completely expanded leaf 17, being 5 plants sampled by variety and age of plants. The gas exchange evaluations were carried out by measuring the assimilation rate of CO<sub>2</sub> (*A*), transpiration (*E*), stomatal conductance (*gs*), internal CO<sub>2</sub> concentration (*C<sub>i</sub>*), water use efficiency, and instantaneous efficiency of carboxylation (EiC). These parameters were obtained by means of a portable infrared gas analyzer (IRGA). It was observed that the six-year-old oil palm plants presented higher values for stomatal conductance, transpiration and instantaneous carboxylation efficiency (EiC) compared to 7-year-old plants for both varieties. The physiological variables of stomatal conductance, transpiration, liquid photosynthesis, water use efficiency (UEA) and instantaneous carboxylation efficiency (EiC) were higher for plants of

the Compacta x Ghana variety. For the conditions under which the oil palm plants were conducted, the Compacta x Ghana variety, added to its genetic characteristics, showed a greater capacity to perform photosynthesis when compared to the Deli x Ghana variety.

**Key words:** *Elaeis guinensis*, gas exchange, palm oil, adaptation, abiotic factors.

## 1 INTRODUÇÃO

A palma-de-óleo apresenta uma boa eficiência de adaptação que favorece a dispersão desta cultura em outras partes do mundo, permitindo a incorporação da flora local formando palmares subespontâneos, bem como de exploração comercial. É manejado, maioritariamente na Ásia, na África e nas Américas Central e do Sul (RAMALHO FILHO et al, 2010).

É uma oleaginosa de colossal valia mundial, pois apresenta um rendimento de 4 a 6 toneladas de óleo por hectare. A sua produção começa no terceiro ano após o plantio, sendo que a vida útil de produção se alastra por 25 anos e com ampla ocupação de mão de obra e criação de empregos (MÜLLER et.al, 2006).

A demanda mundial de óleo de palma aumentou 167% em 12 anos, pulando de 17 para 45,5 milhões de toneladas até 2010 e em 2014, o consumo mundial, foi de 56,5 milhões de toneladas, estimasse que o consumo mundial de óleo de palma aumentará para 71 milhões de toneladas, até 2020, e 81 milhões, em 2025 (USDA, 2014).

O Brasil apresenta uma vasta extensão de terras aptas ao cultivo da palma-de-óleo, localizadas na Amazônia e litoral Sul da Bahia. O estado do Pará, concentra cerca de 90% da produção nacional de óleo de palma-de-óleo, com 160 mil hectares cultivados, e há projeções de expansão de 330 mil hectares, até o ano de 2020, pois a região apresenta condições edafoclimáticas ideais para o desenvolvimento da cultura. (GLASS, 2013).

O desenvolvimento da palma-de-óleo é significativamente influenciado por fatores climáticos, sendo estes os principais fatores envolvidos nas oscilações de produtividade verificadas nas diferentes regiões onde se cultiva essa cultura (SILVA, 2006).

As variações climáticas acarretam uma série de alterações fisiológicas e bioquímicas nas plantas, as quais dependendo do genótipo, da duração, da severidade e do estágio de desenvolvimento da planta, da variação climática, podem causar diferenciação sexual e abortamento das inflorescências, redução no número médio dos cachos, bem como reduzir a produtividade da palma-de-óleo (BASTOS, et al., 2001; GOMES JUNIOR, 2010; SANTOS, 2010).

A fotossíntese é o processo mais importante que ocorre no planeta, é o processo pelo qual a planta sintetiza compostos orgânicos a partir de água e gás carbônico sob a presença de luz. Os organismos clorofilados captam a energia solar e a utilizam para a produção de elementos essenciais.

Porém, vários fatores afetam as taxas fotossintéticas, principalmente aqueles relacionados ao ambiente em que as plantas estão inseridas. Devido às diferentes condições ambientais ofertadas em cada região, é fundamental compreender as respostas das plantas ao ambiente para garantia de sucesso e sustentabilidade dos diferentes sistemas de produção da cultura.

Estas informações podem ser úteis na elaboração de modelos que visam prever cenários sobre a fixação de carbono e também ajudar a explicar o comportamento da palma-de-óleo nas condições climáticas da região do Nordeste do Pará, para possíveis recomendações de cultivo de cultivares que atendam as dinâmicas climáticas, principalmente quando há projeções de expansão da exploração agrícola para essa cultura.

Diante da relevância desta cultura para o estado do Pará, o objetivo deste trabalho foi estudar as respostas das trocas gasosas em plantações de palma-de-óleo localizadas no município de Mojú.

## **2 MATERIAIS E MÉTODOS**

A área de estudo localiza-se nas áreas de cultivo de palma de óleo da empresa Biopalma/Vale no município de Mojú, (01° 53' 02" S, 48° 46' 08" W), a 16m de altitude no Nordeste do estado do Pará.

O clima é Ami, de acordo com a classificação de Köppen, com temperatura média anual entre 25-27°C e precipitação entre 2000-3000mm, com distribuição irregular, ocorrendo pequeno período seco. A insolação mensal varia entre 148-275,8 horas, com os valores mais elevados ocorrendo no período de junho a dezembro e apresentando estreita relação com a precipitação (GOMES JÚNIOR, 2010).

O relevo é plano, com declive variando 0% a 3 %. O solo predominante é o Latossolo Amarelo, com diferentes texturas, ocorrendo também Argissolos, Gleissolos e Plintossolos (SANTOS et al., 1985).

Para realizar o estudo foi selecionada áreas com plantios comerciais de palma-de-óleo da variedade Deli x Ghana, e Compacta x Ghana as quais foram plantadas em 2009 e 2010, ou seja, plantas com 7 e 6 anos de idade. O plantio foi disposto em triângulo equilátero, com uma

densidade de 160 plantas por hectare.

As avaliações foram realizadas em 24 de janeiro de 2017, sendo os dados coletados no período de 9:30h as 11h30, em folíolos completamente expandidos da folha 17, sendo 5 plantas amostradas por cultivar e idade de plantio, totalizando 20 plantas amostradas.

As avaliações das trocas gasosas foram realizadas a partir da mensuração da fotossíntese líquida ( $A$ ) ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), transpiração ( $E$ ) ( $\text{mmol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), condutância estomática ( $g_s$ ) ( $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), concentração interna de  $\text{CO}_2$  ( $C_i$ ) ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ).

De posse destes dados, foram quantificadas a eficiência no uso de água (EUA) ( $\text{mmol CO}_2 \text{ mol}^{-1} \text{ H}_2\text{O}$ ) ( $A/E$ ) [ $(\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}) (\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1})^{-1}$ ] e a eficiência instantânea da carboxilação (EiC) ( $A/C_i$ ) [ $(\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}) (\mu\text{mol mol}^{-1})^{-1}$ ] (MELO, et al. 2010).

Todos esses parâmetros avaliados foram obtidos diretamente sob condições ambiente de  $\text{CO}_2$  por meio de um analisador portátil de gás infravermelho (IRGA - *Infra Red Gas Analyser*, modelo LI-6400 XT, Li-cor, inc. Lincoln, EUA). A câmara foliar foi ajustada para trabalhar sob luz saturante artificial de  $2000 \text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ .

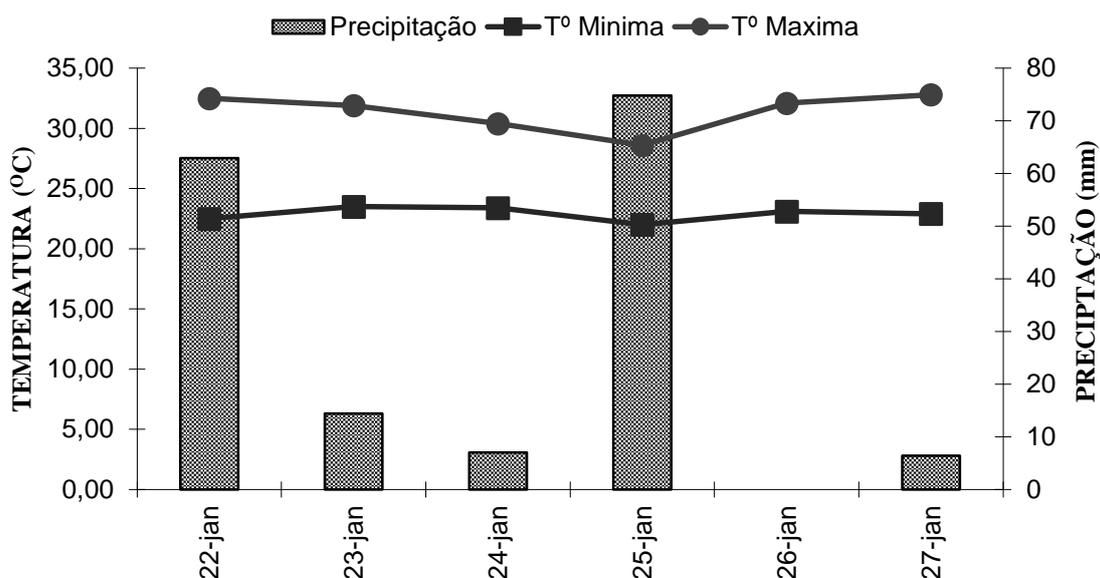
Para cada variável estudada, os dados foram submetidos à análise de variância e a comparação das médias e o intervalo de confiança, utilizando o teste de Tukey a 5% de probabilidade utilizando o programa estatístico *Sisvar 5.6*.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1 - Condições climáticas

No mês de avaliação, a precipitação pluviométrica no município de Mojú foi de 503 mm (Janeiro), onde os dados climatológicos da semana de avaliação estão representados a seguir na Figura 1.

As temperaturas máximas e mínimas foram de  $32,8 \pm 2,2$  e  $22, \pm 1,8^\circ\text{C}$  respectivamente, apresentando baixa variação ao longo da semana (FIGURA 1), já a umidade relativa do ar (UR%) apresentou-se alta, em média 90,6%.



**Figura 1** - Precipitação e temperatura diária da semana de avaliação, em janeiro de 2017, no município de Moju – PA (INMET, 2017).

### 3.2 – Trocas Gasosas

A investigação das trocas gasosas é uma relevante ferramenta na determinação da adaptação das plantas a determinados ambientes de cultivo, pois a redução na produtividade das plantas pode estar associada à redução na atividade fotossintética, podendo ela ser limitada por fatores inerentes ao local de cultivo (PAIVA et al., 2005).

As trocas gasosas têm sido indicadas para avaliar a resposta das espécies vegetais ao ambiente, uma vez que estas fornecem informações dos processos vitais do metabolismo das plantas.

Para analisar o comportamento das plantas, em janeiro de 2017 foi avaliado as trocas gasosas em plantas de palma-de-óleo localizadas sob condições edafoclimáticas do município de Mojú no estado do Pará.

A seguir, estão expostos os valores médios da condutância estomática ( $g_s$ ), carbono interno ( $C_i$ ), fotossíntese líquida ( $A$ ), transpiração ( $E$ ), uso e eficiência da água ( $EUA$ ) e eficiência de carboxilação ( $EUIC$ ), variáveis estas avaliadas nesse estudo.

Os resultados obtidos demonstraram que as plantas de palma-de-óleo não apresentaram diferença significativa entre as variedades estudadas para a variável condutância estomática ( $g_s$ ) (Figura 2 A), bem como entre as idades das plantas para a variedade Deli x Ghana, porém

as plantas Compacta x Ghana com 7 anos de idade apresentaram diferença significativa para as plantas com 6 anos de idade.

A abertura estomática da variedade Compacta x Ghana com 6 anos de idades foi 32,2% superior ( $0,338 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), que as plantas com 7 anos de idade ( $0,229 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ). Já a variedade Deli x Ghana, apesar de não apresentar diferença significativa entre as idades estudadas, as plantas com 6 anos mostraram-se 14,7% superiores com  $0,312 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , enquanto que as plantas com 7 anos os valores médios foram de  $0,266 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ . Esses valores mais baixos de condutância estomática para plantas com 7 anos de idade, demonstram que essas plantas são mais sensíveis a fatores abióticos, característica que permite evitar gastos desnecessários de energia quando as condições do ambiente são adversas.

O comportamento dos estômatos em palma-de-óleo tem sido relatado por vários autores, tais como Rivera et al., (2013) e Jazayeri et al., (2015) os quais relatam uma condutância estomática média de  $0,250 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  a  $0,350 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , para a cultura da palma-de-óleo, valores estes semelhantes aos obtidos neste estudo.

A condutância estomática ( $g_s$ ) é diretamente proporcional ao poro estomático, ou seja, o fluxo de um gás (água ou  $\text{CO}_2$ ) através do estômato para dentro e fora da célula (TAIZ e ZEIGER, 2004). Carr (2011) explana que a condutância estomática é um indicador sensível ao estado da água na planta. Considerando os valores de  $g_s$  mencionados por Suresh e Nagamani (2006) os quais oscilaram de  $0,01$  a  $0,03 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , na espécie *E. guineensis*, valores que são considerados baixos se contrastamos com os valores encontrados no presente trabalho para a mesma espécie.

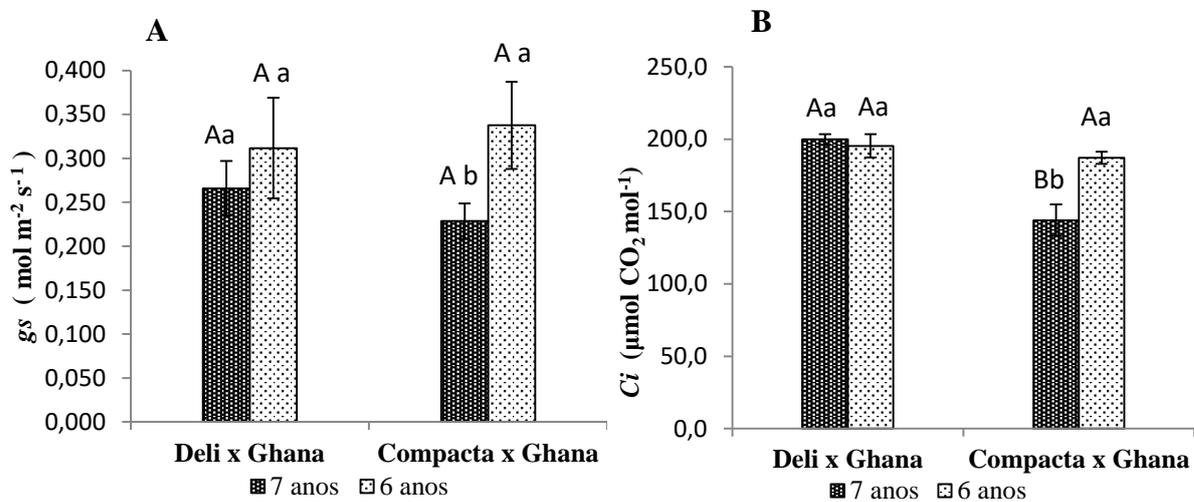
O monitoramento da dinâmica estomática é de fundamental importância para o entendimento dos processos fisiológicos, pois os estômatos são as principais vias de trocas gasosas entre a atmosfera e o interior do aparato fotossintético (AMARAL, et al., 2006).

As mudanças na resistência estomática são importantes para a regulação da perda de água pela planta e para o controle da taxa de absorção de dióxido de carbono necessário à fixação contínua durante a fotossíntese (TAIZ; ZEIGER, 2009). Assim, o comportamento da condutância estomática está diretamente ligado a transpiração, controlando também a fotossíntese e o carbono interno foliar.

Avaliando a concentração interna de carbono no mesófilo foliar (Figura 2B), observou-se que as variedades de palma-de-óleo Deli x Ghana e Compacta x Ghana, apresentaram diferença significativa entre si (Tukey  $p > 0,05$ ), para as plantas com 7 anos de idade, assim como para a variedade Compacta x Ghana as idades das plantas também apresentaram diferentes concentrações internas de  $\text{CO}_2$ , onde as plantas com 6 anos de idade foram superiores

com  $187,2 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$ , quanto as plantas com 7 anos apresentaram  $144 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$  no mesófilo das folhas. Já a variedade Deli x Ghana as concentrações foram similares de  $195,4$  e  $199,9 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$  para as plantas com 6 e 7 anos de idade respectivamente.

Segundo Xu e Shen (2002), relatam que redução na taxa fotossintética está associada as alterações da concentração interna de  $\text{CO}_2$ , onde atribuem que a causa principal é a redução da condutância estomática. Pelaez et al. (2010) em estudo com palma-de-óleo, descobriram concentrações interna de  $\text{CO}_2$  entre  $241\text{-}285 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , enquanto Rivera et al. (2013) na Colômbia observaram que as concentrações internas de  $\text{CO}_2$  em híbridos de palma-de-óleo se manterão elevadas com valores entre  $357,4$  e  $370,1 (\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1})$ , podendo contribuir no aumento da eficiência fotossintética.



**Figura 2:** Condutância estomática ( $g_s$ ) (A) e concentração intercelular de  $\text{CO}_2$  ( $C_i$ ) (B), em plantas de palma-de-óleo, no município de Mojú - PA.

Médias seguidas de mesma letra maiúscula, as variedades não se diferem e médias seguidas de mesma letra minúscula, a idade das plantas não se diferem pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ). As barras indicam o erro padrão das médias.

A taxa fotossintética pode ser influenciada por fatores extrínsecos, que estão relacionados à intensidade luminosa, concentração de gás carbônico, temperatura, umidade relativa, disponibilidade de água e concentração de  $\text{O}_2$ , quanto pelas condições intrínsecas que estão relacionadas a espécie vegetal, como às enzimas e pigmentos fotossintetizantes (NUNES, 2000).

Verificaram-se diferenças significativas para fotossíntese líquida (A) (Figura 3A), entre as médias das variedades e idades das plantas de palma-de-óleo estudadas, sendo observado que, as plantas da variedade Deli x Ghana apresentaram menor assimilação de dióxido de carbono com  $8,09$  e  $6,89 \mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  para plantas com 6 e 7 anos de idade respectivamente não apresentando diferença significativa entre as idades para esta variedade.

Quanto que as plantas de palma-de-óleo Compacta x Ghana apresentaram uma fotossíntese líquida (*A*) maior com 11,45 e 9,74  $\mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  para plantas de 7 e 6 anos de idade respectivamente, apresentou uma diferença significativa entre as idades dessa variedade, a qual representa um incremento de 17,5%, na fotossíntese (*A*) para as plantas de palma-de-óleo com 7 anos em relação as plantas com de 6 anos de idade.

Estudos de Pelaez et al., (2010) sobre a fotossíntese máximo em Palma-de-óleo, observou uma variação de 8,6 a 10,1 mol de  $\text{CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , enquanto estudos por Rivera et al. (2013), são mencionados valores entre 9,1 a 14,2 mol de  $\text{CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , estes resultados estão semelhantes as variações da fotossíntese líquida encontradas para palma-de-óleo nas condições edafoclimáticas da Amazônia Oriental.

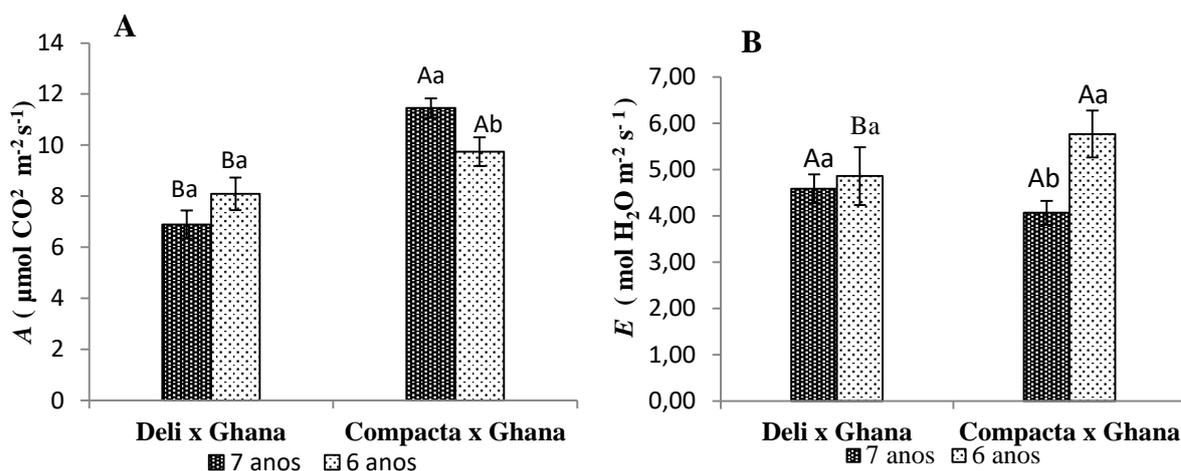
O aumento da fotossíntese líquida (*A*) está relacionada à concentração de  $\text{CO}_2$  constatada no interior das folhas, o que pode resultar do fechamento estomático, em réplica aos estresses abióticos (JADOSKI et al., 2005). Ou seja, quanto maior a taxa fotossintética da espécie, mais rapidamente o  $\text{CO}_2$  é consumido, e menor sua concentração no interior da folha (CORNIANI et al., 2006).

Os dados obtidos para Transpiração (*E*) demonstraram que as plantas Compacta x Ghana com 6 anos de idade apresentaram níveis mais altos, registrando valores de 5,77 ( $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), diferindo-se significativamente das plantas Deli x Ghana com 6 anos (4,86 mols  $\text{H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) e das plantas Compacta x Ghana de 7 anos de idade (4,07 mol  $\text{H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), pelo teste de Tukey a 5% (Figura 3B).

Esses valores observados para a variedade Compacta x Ghana com 6 anos de idade, estão correlacionas com a condutância estomática a qual também se mostrou superior, onde a relação é crescente, quando maior for o número de estômatos abertos, maior será a transpiração das plantas, fato esse observado nesse estudo em plantas de palma-de-óleo.

Shimazaki et al. (2007) ressaltam que a perda de água pelas plantas é regrada pela atividade das células-guardas. Acrescenta-se que o incremento na transpiração das plantas, na estação chuvosa, se deve, sobretudo, à incapacidade de alguns vegetais em absorver água para restituir aquela consumida no processo transpiratório (Pimentel & Peres 2000). Estes autores relatam que oscilações desta natureza são reflexos da alta exigência evaporativa da atmosfera.

Uma redução nas taxas de transpiração é uma forma de evitar maiores perdas de água por evaporação, indica que a palma-de-óleo apresenta um eficiente mecanismo de regulação da perda de água, somada a regulação da condutância estomática em condições vulneráveis de oscilações abióticas (ARCOVERDE et al., 2011; POMPELLI et al., 2010).



**Figura 3** – Fotossíntese líquida (A) (Figura A), transpiração (E) (Figura B), em plantas de palma-de-óleo, no município de Mojú - PA.

Médias seguidas de mesma letra maiúscula, as variedades não diferem entre si e médias seguidas de mesma letra minúscula, as idades das plantas não se diferem pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ). As barras indicam o erro padrão das médias.

Para a variável Eficiência no uso da água (EUA) as plantas de palma-de-óleo da variedade Compacta x Ghana com 7 anos de idade mostraram-se mais eficientes, apresentando diferença significativa para essa variável entre as variedades estudadas (Figura 4A).

A eficiência no uso da água da variedade Deli x Ghana foram semelhantes entre as idades de 6 e 7 anos com 1,71 e 1,53 ( $\text{mmol CO}_2 \text{ mol}^{-1} \text{ H}_2\text{O}$ ) respectivamente, bem como as plantas Compacta x Ghana com 6 anos de idade com eficiência no uso da água de 1,69 ( $\text{mmol CO}_2 \text{ mol}^{-1} \text{ H}_2\text{O}$ ). Como os valores da taxa de assimilação de  $\text{CO}_2$  e da transpiração foram inversamente proporcionais, ocorreu uma maior EUA para as plantas da variedade Compacta x Ghana com 7 anos de idade, indicando que esse grupo de plantas são mais eficientes na fixação de carbono.

Jaimez et al., (2005), relata que a relação entre a fotossíntese e a transpiração indica a eficiência no uso de água (EUA), em que os valores observados relacionam a quantidade de carbono que a planta fixa, por cada unidade de água que perde.

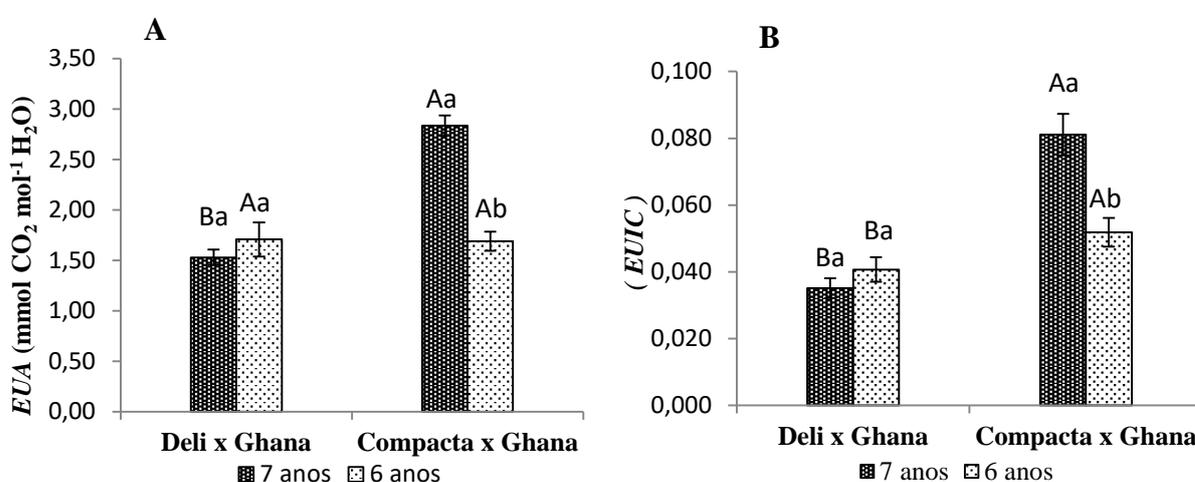
Taiz & Zeiger (2009) e Melo et al. (2010) concluíram que as trocas gasosas são influenciadas pelas condições climáticas. Souza et al (2005) descreve uma menor radiação global, aliada a um decréscimo na luminosidade durante a estação chuvosa em regiões Amazônicas durante os meses mais chuvosos do ano. Assim, as diminuições registradas na EUA podem estar atreladas a alta umidade relativa do ar (85%) e com a nebulosidade apresentada no período de avaliação deste estudo.

Para a variável Eficiência instantânea da Carboxilação (EiC), verificaram-se diferenças significativas entre as médias das variedades estudadas, sendo observado maior eficiência para

Compacta x Ghana com 0,081 e 0,052 ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), com 7 e 6 anos de idade respectivamente, enquanto que a variedade Deli x Ghana foi menor com 0,041 e 0,035 ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), para as plantas com 6 e 7 anos de idade (Figura 4B).

Para Machado et al. (2005), a eficiência instantânea de carboxilação (*EiC*) possui estreita relação com a concentração intracelular de  $\text{CO}_2$  e com a taxa de assimilação de dióxido de carbono (*A*). Estes autores concluíram que a temperatura ótima, onde são obtidos os valores mais expressivos de *EiC*, situa-se entre 20°C e 30°C.

Assim, o aumento verificado na eficiência instantânea de carboxilação, no período estudado para a variedade Compacta x Ghana, deve-se, sobretudo, aos valores registrados na concentração interna de dióxido de carbono (*C<sub>i</sub>*) e aos ganhos na fotossíntese líquida.



**Figura 4** - Eficiência no uso de Água (EUA) ( $\text{mmol CO}_2 \text{ mol}^{-1} \text{ H}_2\text{O}$ ) (A/E) (Figura A) e Eficiência Instantânea da Carboxilação (EiC) (A/C<sub>i</sub>) [ $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ] (Figura B), em plantas de palma-de-óleo, no município de Mojú – PA.

Médias seguidas de mesma letra maiúscula, as variedades não diferem entre si e médias seguidas de mesma letra minúscula, a idade das plantas não se diferem pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ). As barras indicam o erro padrão das médias.

Valores elevados de concentração interna de  $\text{CO}_2$  associado ao aumento na condutância estomática indicam um acréscimo na eficiência instantânea de carboxilação ocorrido em função da disponibilidade de ATP e NADPH e do substrato para a Rubisco.

Deste modo, a *EiC* depende da disponibilidade de  $\text{CO}_2$  no mesófilo foliar, quantidade de luz, temperatura e da atividade enzimática para que haja fotossíntese. Se as concentrações de  $\text{CO}_2$  intercelulares são muito baixas, a entrada deste elemento nas células do mesófilo é limitado, deste modo, a planta utiliza o  $\text{CO}_2$  proveniente da respiração para manter um nível mínimo de taxa fotossintética, tornando-a limitada (TAIZ; ZEIGER, 2009).

As plantas de palma-de-óleo em condições de cultivo estão expostas a muitos tipos de estresses abióticos. É de exemplo conhecido que, os fatores ambientais afetam o processo

fisiológico das plantas, no entanto, entre estes fatores a disponibilidade de água é o fator mais importante para a limitação da fotossíntese, isso porque o estresse hídrico diminui progressivamente as taxas de assimilação de CO<sub>2</sub> devido à redução da condutância estomática (CHIA, 2012).

Este estudo, através da linha de pesquisa sobre a caracterização fisiológicas poderá ajudar na identificação de variáveis que auxiliem na seleção de novos indivíduos resistentes às condições adversas do meio ambiente com características superiores (CHIA 2012).

#### **4 CONCLUSÃO**

As plantas da palma-de-óleo com seis anos de idade, apresentaram maiores valores para a condutância estomática, transpiração e a eficiência instantânea da carboxilação (EiC) em relação as plantas com 7 anos de idade, para ambas variedades.

As variáveis fisiológicas condutância estomática, transpiração, fotossíntese líquida, eficiência do uso da água (UEA) e a eficiência instantânea da carboxilação (EiC), apresentaram-se maiores para as plantas da variedade Compacta x Ghana.

Para as condições em que as plantas de palma-de-óleo foram conduzidas, a variedade Compacta x Ghana, somado às suas características genéticas, apresentou maior capacidade de realizar fotossíntese quando comparado a variedade Deli x Ghana.

#### **REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA**

AMARAL, J. A. T. do; RENA, A. B.; AMARAL, J. F. T do. Crescimento vegetativo sazonal do cafeeiro e suas relações com fotoperíodo, frutificação, resistência estomática e fotossíntese. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 41, n. 3, p. 377-384, 2006.

ARCOVERDE, G B. RODRIGUES, B. M. POMPELLI, M. F. SANTOS, M. G. Water relations and some aspects of leaf metabolism of *Jatropha curcas* young plants under two water deficit levels and recovery, Brazilian Society of Plant Physiology, 23(2): 123-130, 2011.

BASTOS, T. X.; MÜLLER, A. A.; PACHECO, N. A.; SAMPAIO, M. N.; ASSAD, E. D; MARQUES, A. F. S. Zoneamento de riscos climáticos para a cultura do dendezeiro no estado do Pará. Revista Brasileira de Agrometeorologia, Passo Fundo, v.9, n.3, (Nº Especial: Zoneamento Agrícola), p.564-570, 2001.

CARR, M. K. V. The water relations and irrigation requirements of Oil Palm (*Elaeis guineensis*): A review. Experimental Agriculture, v. 47, n. 4, p. 629-652, 2011.

CHIA, G S, Caracterização morfofisiológica e anatômica de folhas de dendezeiro (*Elaeis guineensis* Jacq.), de caiaué (*E. oleifera* (Kunth) Cortés) e híbrido interespecífico (*E. guineensis* x *E. oleifera*) nas condições da Amazônia Central, Tese (Doutorado em Agronomia Tropical) UFAM, 2012.

CORNIANI, N., ARALDI, R., DALMAGO, G. A. Determinação das trocas gasosas e de potencial hídrico através do uso de sistemas portáteis na avaliação do estresse. In: Simpósio Internacional De Iniciação Científica Da Universidade De São Paulo, 14, Piracicaba. Anais. São Paulo: USP, 2006.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, nov./dez. 2011.

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, 15 pp., 2013.

GOMES JUNIOR, R, A.; BARRA, V. R. Seleção de áreas aptas para o cultivo sustentável da palma de óleo. In: GOMES JUNIOR, R. A. (Ed.). Bases técnicas para a cultura da palma de óleo integrado na unidade produtiva da agricultura familiar. Belém/Pa: Embrapa Amazônia Oriental, p. 190, 2010.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia, BDMEP (Banco de dados meteorológicos para ensino e pesquisa, em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/bdmep>> Acesso em 10 abril, 2017).

JADOSKI, S. O.; KLAR, A. E.; SALVADOR, E. D. Relações hídricas e fisiológicas em plantas de pimentão ao longo de um dia. *Ambiência*, Guarapuava, v. 1, n. 1, p. 11-19, 2005.

JAIMEZ, R. E. et al. Seasonal variations in leaf gas exchange of plantain cv. 'Hartón' (*Musa* AAB) under different soil water conditions in a humid tropical region. *Scientia Horticulturae*, Amsterdam, v. 104, n. 1, p. 79-89, 2005.

JAZAYERI, S M; RIVERA, Y D; CAMPEROS-REYES, J E; ROMERO, H M, Physiological effects of water deficit on two oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) genotypes, *Agronomía Colombiana* 33(2), 164-173, 2015.

MACHADO, E.C.; SCHMIDT, P.T.; MEDINA, C.L.; RIBEIRO, R.V. Respostas da fotossíntese de três espécies de citros a fatores ambientais. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.40, p.1161-1170, 2005.

MELO, A. S.; SUASSUNA, J. F.; FERNANDES, P. D.; BRITO, M. E. B.; SUASSUNA, A. F.; AGUIAR NETTO, A. O. Crescimento vegetativo, resistência estomática, eficiência fotossintética e rendimento do fruto da melancia em diferentes níveis de água. *Acta Scientiarum Agronomy*, Maringá, v. 32, n. 1, p. 73-79, 2010.

MÜLLER, A. A.; FURLAN JÚNIOR, J.; CELESTINO FILHO, P. A Embrapa Amazônia Oriental e o agronegócio do dendê no Pará. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 67 p. (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 257), 2006.

NUNES, M.A.L. Comportamento ecofisiológico e fitopatológico de bananeiras (*Musa spp*) em solo artificialmente infestado com *Fusarium oxysporum f.sp. cubense* (E.F. Smith) Sn. & Hansen. 2000. 184p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Pará, Belém, 2000.

PAIVA, A.S.; FERNANDES, E.J.; RODRIGUES, T.J.D.; TURCO, J.R.P. Condutância estomática em folhas de feijoeiro submetido a diferentes regimes de irrigação. Engenharia Agrícola, v.25, p.161- 169, 2005.

PELAEZ, E., D. RAMIREZ, AND G. CAYON. Fisiologia comparada de palmas africana (*Elaeis guineenses* Jacq.), americana (*Elaeis oleífera* H.B.K. Cortes) e híbridos (*Elaeis oleífera* x *Elaeis guineensis*) en Hacienda La Cabana. Palmas 31(2), 29-38. 2010.

POMPELLI MF, BARATA-LUÍS RM, VITORINO HS, GONÇALVES ER, ROLIM EV, SANTOS MG, Almeida-Cortez JS, Ferreira VM, Lemos EEP, Endres L. Photosynthesis, photoprotection and antioxidant activity or purging nut under drought deficit and recovery. Biomass Bioenerg. 34:1207-1215, 2010.

RAMALHO FILHO. A.; MOTTA, P. E. F. da; NAIME, U.J.e; BACA, J. F. M. Avaliação da Aptidão das Terras. In: Zoneamento Agroecológico do Dendezeiro para as Áreas Desmatadas da Amazônia Legal. Rio de Janeiro: Embrapa - CNPS, 44p 2010.

RIVERA, Y., CAYÓN S, LÓPEZ M G,. Physiological and morphological characterization of American oil palms (*Elaeis oleifera* HBK Cortes) and their hybrids (*Elaeis oleifera* × *Elaeis guineensis*) on the Indupalma plantation. Agronomía Colombiana 31(3), 316-325. 2013.

SANTOS, E. A. Dos. Caracterização de dendezeiros subespontâneos com base na produção de frutos e cachos. Ilhéus, BA: UESC,74 p. 2010.

SANTOS, P. L.; SILVA, J. M. L.; SILVA, B. N. R.; SANTOS, R. D.; REGO, G. S. Levantamento semi detalhado dos solos e avaliação da aptidão agrícola das terras para culturas de dendê e seringueira. Rio de Janeiro: Embrapa; SNLCS, 192 p. Projeto Moju, Pará. Relatório técnico, 1985.

SHIMAZAKI, K. I. et al. Light regulation of stomatal movement. *Annual Review of Plant Biology*, Gainesville, v. 58, n. 1, p. 219-247, 2007.

SILVA, J. S. O. Produtividade de óleo de palma na cultura do dendê na Amazônia Oriental: influência do clima e do material genético. Dissertação (Mestrado) Universidade Estadual de Viçosa-UFV. Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, 95p. 2006.

SOUZA, J.L., NICÁCIO, R.M., MOURA, A.L., Global solar radiation measurements in Brazil. *Renew Energ* 30, 1203–1220, 2005.

SURESH K., NAGAMANI C., KANTHA D.L., KUMAR M.K. Changes in photosynthetic activity in five common hybrids of oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) seedlings under water déficit. *Photosynthetica*, v. 50. 2012.

SURESH, K.; NAGAMANI, C.; RAMACHANDURU, K.; MATHUR, R. K. Gas-exchange characteristics, leaf water potential and chlorophyll a fluorescence in oil palm (*Elaeis guineenses* Jacq.) seedlings under water stress and recovery. *Photosynthetica*, v.48, n.3, p. 430-436, 2010.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. Fisiologia vegetal. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 719 p, 2004.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. Fisiologia vegetal. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009.

USDA. United States Department of Agriculture. Foreign Agricultural Service – Oil seeds: World Market and Trade, Disponível em <<https://www.fas.usda.gov/data/oilseeds-world-markets-and-trade>> Acesso em: 04 de Abril de 2017.

XU, D.-Q. e SHEN, Y.-K. Photosynthetic efficiency and crop yield. In: PESSARAKLI, MOHAMMAD (Ed.). Handbook of Plant and Crop Physiology. 2. ed. New York: Marcel Dekker, Inc., 2002. p. 821-834.

## CAPITULO 2

### ESTIMATIVA DA BIOMASSA AÉREA DE PALMA-DE- ÓLEO (*Elaeis guineensis* Jacq.) POR MEIO DE EQUAÇÕES ALOMÉTRICAS NA AMAZÔNIA ORIENTAL

**RESUMO:** O objetivo do trabalho foi ajustar modelos de regressão para estimativa de biomassa seca em plantios comerciais de palma-de-óleo de 3 a 7 anos de idade, bem como verificar a distribuição da biomassa em compartimentos e a correlação dos parâmetros biométricos amostrados. Foram coletadas 27 plantas no total, estas divididas em dois grupos, plantas com 3 a 5 anos de idade (17 indivíduos) e plantas com 6 e 7 anos de idade (10 indivíduos). No campo, foram mensuradas as variáveis biométricas, diâmetro do estipe a 5 cm (DB), 50 cm (DS) e altura do peito em cm (DAP) e altura em metros (H). As 27 plantas foram cortadas e tiveram suas biomassas separadas no campo por estipe, folhagem, inflorescência e cachos, estas foram secas em estufa a 75°C até obterem peso constante. A biomassa seca total das plantas de 3 a 5 anos variou de 65,36 a 149,89 kg planta<sup>-1</sup> e para as plantas de 6 e 7 anos variou de 196,9 Kg até 312,98 Kg. A maior quantidade de biomassa nas plantas da palma-de-óleo encontra-se no estipe, com 47% para plantas com 3 a 5 anos e 57% para plantas com 6 e 7 anos. A biomassa seca individual das plantas com 3 a 5 anos de idade se correlacionam fortemente com as variáveis biométricas DS (diâmetro a 50cm) e H (altura) e de plantas com 6 e 7 anos de idade com as variáveis Idade (I) e Altura (H). A equação que apontou o melhor resultado para plantas de 3 a 5 anos de idade foi a equação 1 com erro padrão relativo  $Syx\% = 9,91$  e coeficiente de determinação ajustado  $R^2 = 0,87$ , e para plantas de 6 e 7 anos de idade foi a equação 10 com erro padrão relativo  $Syx\% = 6,35$  e coeficiente de determinação ajustado  $R^2 = 0,83$ .

**Palavras-chave:** regressão, biometria, palmeira, dendezeiro.

**Abstract:** The objective of this study was to adjust regression models for dry biomass estimation in commercial palm oil crops from 3 to 7 years of age, as well as to verify the biomass distribution in compartments and the correlation of the biometric parameters sampled. A total of 27 plants were collected, divided into two groups, 3 to 5 year old plants (17 individuals) and 6 and 7 year old plants (10 individuals). In the field, biometric variables, stipe diameter at 5 cm (DB), 50 cm (SD) and breast height in cm (DAP) and height in meters (H) were measured. The 27 plants were cut and had their biomasses separated in the field by stipe, foliage, inflorescence and bunches, these were dried in an oven at 75°C until obtaining constant weight. The total dry biomass of 3 to 5 year old plants ranged from 65.36 to 149.89 kg plant<sup>-1</sup> and for plants of 6 and 7 years ranged from 196.9 kg to 312.98 kg. The highest amount of biomass in the oil palm plants is in the stipe, with 47% for plants with 3 to 5 years and 57% for plants with 6 and 7 years. The individual dry biomass of 3 to 5 year old plants correlate strongly with the biometric variables DS (diameter at 50cm) and H (height) and plants at 6 and 7 years of age with the variables Age (I) and Height (H). The equation that indicated the best result for plants from 3 to 5 years of age was equation 1 with standard error relative  $Syx\% = 9.91$  and adjusted coefficient of determination  $R^2 = 0.87$ , and for plants of 6 and 7 years of age. Age was Equation 10 with relative standard error  $Syx\% = 6.35$  and adjusted coefficient of determination  $R^2 = 0.83$ .

**Key words:** regression, biometrics, palm tree, oil palm.

## 1 INTRODUÇÃO

O óleo da palma *Elaeis guineensis* é uma das commodities importantes no mundo. Os países da Indonésia e Malásia são os maiores produtores de óleo de palma, ambos são responsáveis por 87% da produção mundial (FAO, 2013). A palma-de-dendê ocupa uma área com mais de 17 milhões de hectares e produz 267,55 milhões de toneladas de óleo em todo o mundo (FAO, 2013).

O Brasil produz cerca de 340 mil toneladas de óleo de palma. A maior parte provém do território paraense que possui potencial significativo, como mão de obra disponível e usinas para processamento, que são requisitos fundamentais para a produção bem-sucedida do biodiesel proveniente do óleo de palma (RODRIGUES et al., 2014).

Nos últimos anos, 160 mil hectares de palma-de-óleo foram cultivados no estado do Pará com a finalidade de produzir biodiesel, e há planos de expansão do cultivo para cerca de 330 mil hectares até o ano de 2020 (GLASS et al., 2013).

A palma apresenta grande capacidade de produção de óleo, consistindo numa alternativa superior em relação às outras oleaginosas (BECKER et al., 2010, VILLELA et al., 2014). Um hectare com palma-de-óleo rende entre 4 a 6 toneladas de óleo por ano, enquanto a soja rende cerca de 0,5 toneladas e a mamona, apenas 0,6 toneladas (VILLELA et al., 2014).

A procura mundial de produtos da palma-de-óleo continua aumentando ano pós ano, promovendo a expansão das plantações de dendezeiros em grande escala. Com isso, a dendeicultura no Brasil tem grande potencial para desempenhar um papel importante frente às mudanças climáticas globais, pois esta cultura perene contribui com a absorção de CO<sub>2</sub> durante o seu crescimento e também nas reduções de emissões de CO<sub>2</sub>, pela substituição do uso de combustíveis fósseis por biodiesel (AHOLOUKPÈ et al., 2013).

A recente introdução comercial da Palma-de-óleo no nordeste do Pará em áreas de pastagens degradadas, tornando-se promissora na redução de dióxido de carbono e sendo incluída como planta de Reduções Certificadas de Emissões (RCE), créditos de carbono, previstos pelo Protocolo de Kyoto, por meio de atividades integradas a empreendimentos e projetos candidatos ao Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) (SILVA et al., 2012; DEVIDE et al., 2010).

No entanto mensurar a mitigação do efeito estufa por plantios de palma-de-óleo é um tema bastante minucioso, pois o desenvolvimento de equações específicas e regionais é apontado como uma importante ferramenta na estimativa da biomassa e do estoque de carbono em povoamentos de dendezeiros (LEITE e ANDRADE et al., 2003).

Essas estimativas são facilitadas ao assumir-se que a biomassa se constitui em um componente dependente de variáveis dendrométricas de fácil mensuração na planta, tais como altura e diâmetro do caule, combinadas ou não (GHEZEHEI et al., 2009; ROLIM et al., 2006).

Sanquetta (2015) alerta para a dificuldade de encontrar relações alométricas para palma-de-óleo, devido ao fato de que muitos dos modelos desenvolvidos ainda se baseiam no diâmetro a altura do peito (DAP) e esta variável não pode ser medida em palmas jovens de palma-de-óleo pelo fato da estirpe ser mais baixa do que 1,3 m. Logo, dentre os fatores limitantes, a forma estrutural da planta aparece como outra barreira à formulação de equações que possam estimar, de modo satisfatório, sua biomassa.

A vantagem do desenvolvimento dessa ferramenta é a economia de tempo, energia e recursos. Pois nas próximas estimativas de biomassa não se faz necessária amostragem destrutiva das plantas, preservando o plantel da área.

A continuidade de pesquisas que possam relacionar medidas de campo com estimativas de biomassa tem sua importância aumentada (MOHAN *et al.*, 1998). Dessa forma, com a finalidade de se obterem dados que contribuam para a avaliação do potencial da planta para projetos de créditos de carbono, objetivou, com esse estudo estimar a biomassa aérea de plantas de palma-de-óleo (*Elaeis guineensis*), localizadas na Amazônia Oriental, por meio do ajuste de equações alométricas.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1. Caracterização da área de estudo

A área de estudo localiza-se nas áreas de cultivo de palma-de-óleo da empresa Biopalma/Vale no município de Moju, (01° 53' 02" S, 48° 46' 08" W), a 16 m de altitude no Nordeste do estado do Pará.

O clima é classificado, de acordo com Köppen, com temperatura média anual entre 25-27°C e precipitação entre 2000-3000 mm, com distribuição irregular, ocorrendo pequeno período seco. A insolação mensal varia entre 148-275, 8 horas, com os valores mais elevados ocorrendo no período de junho a dezembro e apresentando estreita relação com a precipitação (GOMES JÚNIOR, 2010).

O relevo é plano, com declive variando de 0 a 3%. O solo predominante é o Latossolo Amarelo, com diferentes texturas, ocorrendo também Argissolos, Gleissolos e Plintossolos (SANTOS et al., 1985).

## 2.2 Material de Estudo e Procedimentos Metodológicos

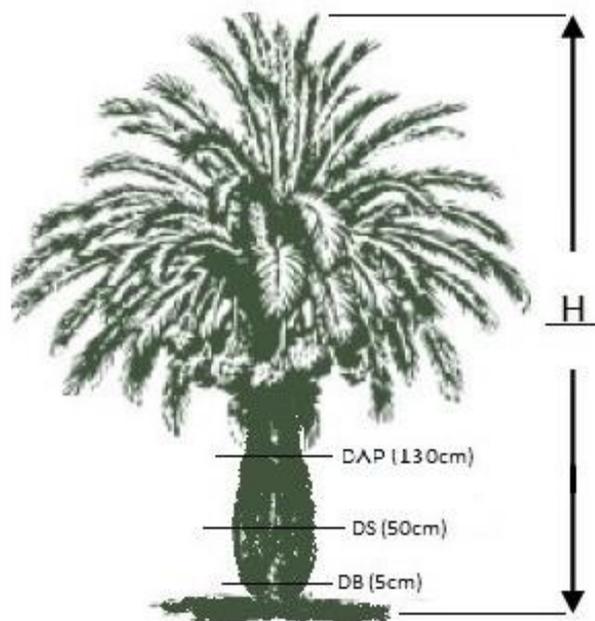
Para realizar o estudo foram selecionadas áreas com plantios comerciais de palma-de-óleo de 3 a 7 anos de idade da variedade Deli x Ghana. O plantio das áreas selecionadas foi em triângulo equilátero, com uma densidade de 160 plantas por hectare.

A coleta das plantas para amostra foi realizada, em outubro de 2015 para plantas de 3 e 4 anos de idade, onde foram selecionadas 6 plantas de cada ano totalizando 12 plantas amostradas, e em outubro de 2016 realizou-se uma segunda coleta para plantas com 5 a 7 anos de idade, selecionando 5 plantas por ano, totalizando 15 plantas amostradas.

Uma distância mínima de 100 m foi mantida entre as plantas amostradas, sendo todas localizadas longe das arestas da área de plantação. Todas as plantas incluídas nas amostras, mostraram fenótipo e vitalidade normal, sem danos ou outros defeitos causados por agentes físicos ou patológicos.

No campo, foram medidas as variáveis biométricas (Figura 1), diâmetro do estipe a 5 cm (DB) e 50 cm (DS), acima do nível do solo, isso para plantas com 3 a 5 anos de idade e para os plantas de 6 e 7 anos de idade foi mensurado o diâmetro a 5 cm (DB) a 50cm (DS) e o DAP (Diâmetro a Altura do Peito), a 130 cm acima do nível do solo, essas variáveis foram realizadas com o auxílio de uma fita métrica convencional, obtendo assim a circunferência do estipe, posteriormente foi convertida em diâmetro, através da divisão da circunferência pelo  $\pi$  ( $D = C / \pi$ ) (RUGNITZ et al., 2009).

A altura das plantas (H) foi realizada através do aparelho clinômetro sunnto que é utilizado para medir altura e inclinação, e uma fita métrica para medir a distância entre a planta e o mensurador. Para obter a altura, utilizou-se a seguinte fórmula:  $H = \text{Tang. (X)} * D$ , onde H = altura em metros; Tang. (X) = tangente do ângulo em grau e D = distância em metros do mensurador á planta (RUGNITZ et al., 2009).



**Figura 1.** Variáveis biométricas mensuradas em *E. guineensis* na Amazônia Oriental. DB= Diâmetro a 5 cm acima do nível solo, DS= Diâmetro a 50 cm acima do nível solo e DAP= Diâmetro Altura do Peito a 130 cm acima do solo e H= Altura da planta (m).

As 27 plantas cortadas tiveram sua biomassa separada no campo por estipe, folhagem, inflorescência e cachos. Os componentes vegetativos da parte aérea foram separados e pesados no campo, utilizando balança digital com precisão de 50 kg.

Amostras foram recolhidas a partir de cada compartimento da planta e transportadas para a Universidade Federal do Tocantins, onde foram secas em estufa a 75°C até atingir peso constante, com posterior determinação da biomassa seca (Bs). Os pesos frescos das plantas foram convertidos em biomassa seca por relação direta entre as duas variáveis a partir das amostras.

Com base nas 27 plantas, utilizadas no processo de determinação da biomassa seca, ajustaram-se os dados usando-se análise de regressão, observando-se previamente a relação entre o grupo de variáveis e a biomassa total, utilizando correlação linear de Pearson (COLE e EWEL, 2006, DANCEY e REIDY, 2006) apontam uma classificação para a correlação, onde  $r = 0,10$  até  $0,30$  (fraco);  $r = 0,40$  até  $0,60$  (moderado);  $r = 0,70$  até  $1$  (forte).

Conforme a correlação entre os parâmetros avaliados, dezesseis modelos matemáticos foram obtidos da literatura (Tabela 1) e testados para realizar o ajuste das equações alométricas de biomassa. Para a seleção do melhor modelo, as estatísticas utilizadas foram o coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{aj.}$ ), o erro padrão relativo ( $Sy_x\%$ ) e a análise gráfica dos resíduos. O  $R^2_{aj}$  varia entre 0 e 1, indicando, o quanto o modelo consegue explicar os valores observados. O  $Sy_x\%$  é o erro em porcentagem, expressado na adoção da equação ajustada para obter-se uma

estimativa. Ele varia entre 0 e 100%, desejando-se que se aproxime do 0 para um melhor desempenho.

A análise gráfica dos resíduos é outro indicador muito importante para avaliar a qualidade do ajuste do modelo. Ao adotá-la, busca-se que não existam tendências evidentes na distribuição dos resíduos, a partir da aplicação do modelo.

**Tabela 1** - Modelos matemáticos empregados na estimativa de biomassa seca da palma-de-óleo.

<i>Plantas com 3 a 5 anos de idade</i>		
Nº	Modelos Matemáticos	Referências
1	$B_s = \beta_0 + \beta_1 * DS^2 + \beta_2 * (DS^2 * H)$	Ratuchne (2010)
2	$B_s = \beta_0 + \beta_1 * DS + \beta_2 * DS^2 + \beta_3 * (DS^2 * H)$	Ratuchne (2010)
3	$B_s = \beta_0 + \beta_1 (DB) + \beta_2 (DS^2) + \beta_3 (H)$	Ratuchne (2010)
4	$LnB_s = \beta_0 + \beta_1 * Ln(1/Ds^2) + \beta_2 * Ln(H)$	Saldarriaga et al., (1988)
5	$B_s = \beta_0 * (\exp(\beta_1 * D_s))$	Assis et al., (2015)
6	$B_s = \beta_0 * DS^{\beta_1}$	Ramos et al., (2008)
7	$B_s = \beta_0 + \beta_1 DS^{0.5} * \ln(D_s)$	Sanqueta et al. (2015)
8	$LnB_s = \beta_0 + \beta_1 Ln (DS^2 * H)$	Goodman, (2013)
<i>Plantas com 6 e 7 anos de idade</i>		
9	$B_s = \beta_0 + \beta_1 * (I * H)$	Mello e Gonçalves (2008)
10	$B_s = \beta_0 + \beta_1 * (I * H^2)$	Mello e Gonçalves (2008)
11	$BS = \beta_0 + \beta_1 * (I) + \beta_2 * (I * H)$	Mello e Gonçalves (2008)
12	$B_s = \beta_0 + \beta_1 * (I) + \beta_2 * (DAP) + \beta_3 * (H)$	Cassol et al. (2016)
13	$B_s = \beta_0 + (I * H)^{\beta_1}$	Ramos et al. (2008)
14	$B_s = \beta_0 * (\exp(\beta_1 * I))$	Assis et al. (2015)
15	$LnB_s = \beta_0 + \beta_1 * (\exp(\beta_2 * I))$	Assis et al. (2015)
16	$B_s = \beta_0 * (I)^{\beta_1} * (H)^{\beta_2}$	Martins et al (2015)

H = altura total, em m; Ds = diâmetro da estipe a 50 cm, acima do solo; DB = diâmetro da estipe a 5cm acima do solo; DAP= diâmetro da estipe a 130 cm, acima do solo (Diâmetro Altura do Peito) Id = idade, em anos; ln = logaritmo neperiano; Bs = biomassa seca, em kg (biomassa total).

Para tabulação dos dados, correlação das variáveis analisadas, elaboração dos gráficos, foi utilizado o *software Microsoft Excel*, e no ajuste dos modelos de equações o *software* estatístico *R*, versão 2.11.0 (R CORE TEAM, 2013).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. Análise Estatísticas das Variáveis Avaliados

Um total de 27 plantas de palma-de-óleo providas de plantios comerciais de 3 a 7 anos de idade, foram amostrados neste estudo. Entretanto estas plantas foram separadas em dois grupos, sendo um grupo de plantas com 3 a 5 anos de idade (com 17 plantas amostras), e outro

grupo com plantas de 6 e 7 anos de idade com 10 plantas amostradas. Essa divisão ocorreu devido as plantas com 3 a 5 anos de idade não apresentarem o DAP, pois o estipe dessas plantas possui altura inferior a 130 cm. Na Tabela 2, descreve as variáveis avaliadas, estas obtidas anteriormente ao corte em campo e a biomassa da planta, através da pesagem.

**Tabela 2.** Dados descritivos das variáveis avaliadas da palma-de-óleo.

<b>Plantas com 3 a 5 anos de Idade</b>					
<b>Variáveis</b>	<b>Nº</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>Média</b>	<b>D.P</b>
<b>Idade</b>	17	3,00	5,00	3,94	0,83
<b>Altura(m)</b>	17	4,07	7,04	5,49	0,89
<b>DB (cm)</b>	17	61,12	91,36	73,19	8,44
<b>DS(cm)</b>	17	61,75	84,58	71,88	6,53
<b>Bs. F (kg)</b>	17	31,53	61,01	45,47	9,47
<b>Bs. E (kg)</b>	17	25,33	78,96	47,14	17,38
<b>Bs. Rep.(kg)</b>	17	1,89	18,64	8,22	4,89
<b>Bs Total (kg)</b>	17	65,36	149,89	100,85	28,01
<b>Plantas de 6 e 7 anos de Idade</b>					
<b>Idade</b>	10	6,00	7,00	6,50	0,53
<b>Altura(m)</b>	10	7,69	10,44	9,16	0,93
<b>DB (cm)</b>	10	80,85	101,86	89,51	5,32
<b>DS(cm)</b>	10	73,21	110,45	88,90	9,48
<b>DAP(cm)</b>	10	71,94	85,95	78,08	4,89
<b>Bs. F (kg)</b>	10	66,77	124,42	90,06	17,77
<b>Bs. E (kg)</b>	10	105,45	198,74	143,72	30,38
<b>Bs. Rep.(kg)</b>	10	5,86	32,78	18,45	9,28
<b>Bs Total (kg)</b>	10	196,95	312,98	252,23	39,22

Onde: Nº= Numero de indivíduos amostrados, Min= menor valor do conjunto de dados; Máx. = maior valor do conjunto de dados; DB e DS = diâmetro do estipe a 0,5 cm e 50 cm acima do nível do solo, respectivamente; DAP= Diâmetro Altura do Peito (130 cm acima do nível do solo); Bs.F= biomassa seca das folhas, Bs. E= biomassa seca da estipe, Bs. Rep = biomassa seca da parte reprodutiva (inflorescência + cacho) e Bs Total= biomassa seca total de uma planta de palma-de-óleo D.P= desvio padrão.

As plantas selecionadas para o presente estudo apresentaram vitalidade normal, e receberam um manejo adequado como as demais plantas dessa idade. Pode-se observar entre os valores médios, mínimos e máximos a heterogeneidade dos parâmetros amostrados.

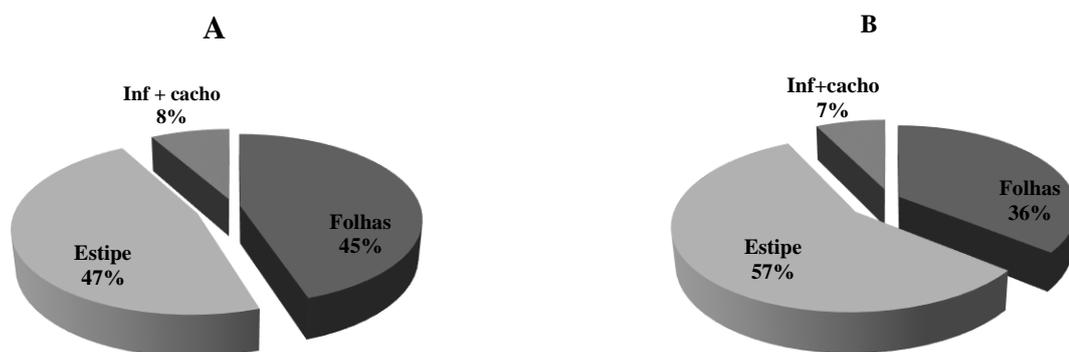
Foram selecionadas plantas que apresentaram menor porte com 4,07 m de altura e diâmetro inferior a 62 cm e plantas mais desenvolvidas, chegando a medir 10,44 m de altura e diâmetro do estipe com até 110,45 cm. Essa amplitude de variação se dá pelo desenvolvimento natural conforme a maturidade alcançada e provavelmente decorrente da variabilidade genética presente na população da palma-de-óleo, mesmo aparentemente apresentar-se como uma população uniforme (CORLEY e TINKER, 2003).

Um dos estudos feitos por Hartley et al. (1977) relataram aumento constante no diâmetro do estipe durante toda a fase de viveiro e nos primeiros anos no campo, e cessa o seu crescimento na largura antes do alongamento dos entre nós. Jacquemard (1979) observou em seu estudo que o diâmetro do estipe da palma dendê diminuí gradualmente com a idade, podendo chegar a reduções de até 18 centímetros.

A média da biomassa seca (Bs), Tabela 2, para plantas de 3 a 5 anos de idade, foi de 100,85 Kg por planta, apresentando uma Bs total de 16,44 Mg ha<sup>-1</sup>. Para as plantas de 6 e 7 anos de idade, a média foi de 252,23 Kg por planta (Tabela 2), apresentando Bs total média de 41,12 Mg ha<sup>-1</sup>, para uma densidade de 163 plantas por hectare.

O acúmulo de biomassa é afetado por fatores ambientais e por fatores inerentes à própria planta. Dentre diversos fatores os principais são luz, temperatura, concentração de CO<sub>2</sub> do ar, umidade e fertilidade do solo, fungicidas, inseticidas e doenças, além de fatores internos que incluem a idade das folhas, sua estrutura e disposição, distribuição e comportamento dos estômatos, teor em clorofila e acumulação de hidratos de carbono (KRAMER e KOZLOWSKI, 1972 apud VOGEL, et al., 2013).

A maior quantidade de biomassa nas plantas da palma dendê encontra-se no estipe, com 47% para plantas com 3 a 5 anos e 57% para plantas com 6 e 7 anos, estas seguidas pela biomassa das folhas com 45% e 36% e pela parte reprodutiva (inflorescência + cacho) com 8% e 7% respectivamente (Figura 2).



**Figura 2** - Biomassa seca por compartimento arbóreo da palma-de-óleo, onde (A) corresponde as plantas com 3 a 5 anos e (B) as plantas com 6 e 7 anos de idade.

A participação na distribuição da biomassa do estipe em plantas de 3 anos de idade, aqui encontrados, são menores que aqueles constatados por Syahrudin (2005), que corresponderam a 56%. Porém semelhantes aos encontrados por Khalid et al. (1999) de 48%.

Para as plantas com 6 anos de idade estes valores são semelhantes aos relatados por Asari et al. (2013) com 56%, e próximos ao relatado por Cassol et al. (2016), com 61%.

A proporção da biomassa no estipe aumenta à medida que a planta envelhece, sendo que, em plantas com idade superiores a 20 anos, a biomassa do estipe pode alcançar de 59% a 63% do total (SYAHRINUDIN, 2005).

### 3.2 Análise da correlação entre as variáveis avaliadas

A matriz de correlação simples é um importante instrumento para verificar o grau de associação entre as variáveis independentes e a variável dependente, nesse caso a biomassa seca total (Bs total). No entanto, o agrupamento destas variáveis explicativas em uma equação pode mudar a capacidade de correlação com os dados (RATUCHNE, 2010).

As variáveis biométricas de fácil mensuração, diâmetro à 5 cm (DB) e diâmetro à 50 cm (DS), do nível do solo, para as plantas de 3 a 5 anos de idade se correlacionaram, fortemente, entre si, Tabela 3. O DS também teve forte correlação com a biomassa seca total, do estipe, da folha e com a altura da planta, com  $r = 0,91$  (Bs total),  $r = 0,87$  (Bs. E x DS),  $r = 0,87$  (Bs. F x DS) e  $r = 0,71$  (H x DS), respectivamente.

**Tabela 3** - Matriz de correlação simples entre os parâmetros avaliados na palma-de-óleo (*E. guineensis*) com 3 a 5 anos de idade, na Amazônia Oriental.

<i>Variáveis</i>	<i>I</i>	<i>H</i>	<i>DB</i>	<i>DS</i>	<i>Bs. F</i>	<i>Bs. E</i>	<i>Bs. Rep.</i>	<i>Bs. Total</i>
<i>I</i>	1,00							
<i>H</i>	0,86	1,00						
<i>DB</i>	0,32	0,43	1,00					
<i>DS</i>	0,61	0,71	0,73	1,00				
<i>Bs. F</i>	0,68	0,74	0,62	0,87	1,00			
<i>Bs. E</i>	0,77	0,87	0,67	0,87	0,85	1,00		
<i>Bs. Rep.</i>	-0,11	0,13	0,10	0,37	0,46	0,28	1,00	
<i>Bs Total</i>	0,69	0,81	0,64	0,91	0,94	0,95	0,50	1,00

Onde: DB e DS = diâmetro do estipe, a 5 e 50 cm acima do nível do solo; Bs. F= biomassa seca das folhas Bs. E = biomassa seca da estipe e BS. Rep. = biomassa seca da parte reprodutiva; Bs Total= biomassa seca total.

Entretanto, de maneira geral, as correlações da biomassa da parte reprodutiva (Bs. Rep) foram fracas (com  $r$  abaixo de 0,47) ou inexistentes (próximos de 0), demonstrando que a alocação da biomassa total nesse compartimento não possui um caráter explicativo entre as variáveis consideradas.

A Bs total foi altamente correlacionada com o diâmetro a 50 cm (DS) e altura (H), verificando que estas variáveis exercem influência significativa sobre a biomassa total da planta. Esses resultados mostram que se pode explicar a Bs total da palma dendê em função

dessas variáveis biométricas, possibilitando o desenvolvimento de modelos alométricos para esse fim.

Na Tabela 4, verifica-se a correlação entre os parâmetros avaliados na palma-de-óleo com 6 e 7 anos de idade. As variáveis biométricas, DB e DAP se correlacionaram, moderadamente, entre si ( $r = 0,68$ ), porém apresentaram uma fraca correlação com a Bs total (com  $r$  abaixo de  $0,22$ ), demonstrando que o diâmetro do estipe não possui caráter explicativo para a biomassa, no presente estudo.

Porém as variáveis idade (I) e altura (H) apresentaram forte correlação positiva com a BS total, com  $r = 0,81$  e  $r = 0,75$  respectivamente, isto quer dizer que, quanto maior o porte das plantas e mais velhas forem, maior será a biomassa individual.

**Tabela 4** - Matriz de correlação simples entre os parâmetros avaliados na palma-de-óleo (*E. guineensis*) com 6 e 7 anos de idade, na Amazônia Oriental.

<i>Variáveis</i>	<i>I</i>	<i>H</i>	<i>DB</i>	<i>DS</i>	<i>DAP</i>	<i>Bs. F</i>	<i>Bs. E</i>	<i>Bs. Rep.</i>	<i>Bs Total</i>
<i>I</i>	1								
<i>H</i>	0,49	1							
<i>DB</i>	0,45	0,19	1						
<i>DS</i>	-0,22	0,05	0,35	1					
<i>DAP</i>	0,03	0,11	0,68	0,79	1				
<i>Bs. F</i>	0,65	0,48	0,35	-0,18	-0,02	1			
<i>Bs. E</i>	0,81	0,73	0,27	-0,09	0,12	0,51	1		
<i>Bs. Rep.</i>	-0,45	-0,14	-0,62	0,16	-0,04	-0,44	-0,33	1	
<i>Bs Total</i>	0,81	0,75	0,22	-0,11	0,08	0,74	0,93	-0,22	1

Onde: DB e DS= diâmetro do estipe, a 0,5 e 50cm acima do nível do solo; DAP= Diâmetro Altura do Peito a 130cm, acima do solo; Bs. F (Kg) = biomassa seca das folhas; Bs. E (Kg) = biomassa seca do estipe e BS. Rep. (Kg) = biomassa seca da parte reprodutiva; Bs Total (Kg) = biomassa seca total.

Asari et al., (2013) analisaram as correlações de diâmetro a altura do peito (DAP), altura, idade e biomassa acima do solo em plantações de dendê no estado de Selangor, Malásia. Eles perceberam que a biomassa total foi fortemente correlacionada com a idade, corroborando com os resultados encontrados neste estudo para plantas com 6 e 7 anos de idade, porém divergindo do grupo de plantas de plantios com 3 a 5 anos de idade, que apresentaram correlação positiva, porém moderada de  $r = 0,69$ .

### 3.3 Ajuste das equações alométricas de biomassa seca em função de variáveis biométricas

Os modelos matemáticos foram testados apenas para a variável dependente biomassa seca total (Bs). Os ajustes das equações correspondentes aos melhores modelos, para a espécie *E. guineensis* com idades de 3 a 7 anos, estão destacadas em negrito na Tabela 5, estas apresentaram os melhores resultados estatísticos. Todas as equações testadas nesse estudo

apontaram coeficiente de determinação ajustado superior a  $R^2_{aj} = 0,56$  e erro padrão relativo da estimativa menor que  $Syx\% = 12,28$ .

De acordo com os indicadores de qualidade de ajuste  $R^2_{aj}$  e  $Syx\%$  (Tabela 5) e a análise gráfica dos resíduos (Figura 3), todos os modelos podem ser considerados satisfatórios. Porém os modelos 1 e 4 foram as que resultaram melhores, para o grupo de plantas com 3 a 5 anos de idade. Observou-se também, que esses modelos de melhor ajuste expressam a relação da biomassa seca em função do DS e H.

**Tabela 5** - Equações alométricas ajustadas para a biomassa seca da palma-de-óleo, com destaque para as de melhor desempenho.

<i>Plantios de 3 a 5 anos de idade</i>			
Nº	Equações	R <sup>2</sup> <sub>aj</sub>	Syx%
<b>1</b>	<b>B<sub>s</sub> = -0,7900 + 0,0079 *(DS<sup>2</sup>) + 0,0020 *(DS<sup>2</sup>*H)</b>	<b>0,87</b>	<b>9,91</b>
2	B <sub>s</sub> = 4,1656 - 0,1352*(DS) + 0,0088 *(DS <sup>2</sup> ) + 0,0020 *(DS <sup>2</sup> *H)	0,86	10,29
3	B <sub>s</sub> = -57,7527 + 0,03525 *(DB) + 0,0193*(DS <sup>2</sup> ) + 9,9721 (H)	0,85	10,53
<b>4</b>	<b>LnB<sub>s</sub> = -5,3368 - 1,0656 *Ln (1/DS<sup>2</sup>) + 0,4789*ln(H)</b>	<b>0,86</b>	<b>10,18</b>
5	B <sub>s</sub> = 7,56184*(exp(0,03565*Ds))	0,80	12,28
6	B <sub>s</sub> = 0,001317*Ds <sup>2,6254</sup>	0,81	11,94
7	B <sub>s</sub> = -274,51+ (10,36* DS <sup>05</sup> )*ln(Ds)	0,82	11,62
8	LnB <sub>s</sub> = -3,50298 + 0,78948 *Ln(DS <sup>2</sup> *H)	0,86	10,20
<i>Plantios de 6 e 7 anos de idade</i>			
9	B <sub>s</sub> = 24,8589 + 3,8054* (I*H)	0,81	6,78
<b>10</b>	<b>B<sub>s</sub> = 134,7586 + 0,03219 *(I*H<sup>2</sup>)</b>	<b>0,83</b>	<b>6,35</b>
11	B <sub>s</sub> = -26,4305 + 13,7727*(I)+3,1655*(I*H)	0,80	7,02
12	B <sub>s</sub> = -213,779+ 43,6706* (I)+ 0,0443 *(DAP)+19,5092 *(H)	0,74	7,93
<b>13</b>	<b>B<sub>s</sub> = 71,1051+(I*H)<sup>1,2702</sup></b>	<b>0,82</b>	<b>6,66</b>
14	B <sub>s</sub> = 52,2911*(exp (0,24096*I))	0,62	9,61
15	LnB <sub>s</sub> = 4,2177+ 0,3893 *(exp (0,18504*I))	0,56	7,02
16	B <sub>s</sub> = 5,7857 *(I) <sup>1,1328</sup> *(H) <sup>0,7457</sup>	0,80	7,02

H = altura; Ds = diâmetro da estipe a 50 cm, acima do solo; DB = diâmetro da estipe a 5 cm acima do solo; DAP = diâmetro da estipe a 130 cm, acima do solo (Diâmetro Altura do Peito) Id = idade, em anos; ln = logaritmo neperiano; B<sub>s</sub> = biomassa seca.

Embora o modelo 4 apresenta bom ajuste, no entanto o modelo 1 apontou os melhores resultados de biomassa seca para as plantas de palma-de-óleo com 3 a 5 anos de idade, com erro padrão relativo  $Syx\% = 9,91$  e coeficiente de determinação ajustado  $R^2_{aj} = 0,87$ . Além disso, esse modelo tem como variáveis independentes aquelas de fácil obtenção, como a altura (H) e o diâmetro superior (DS) da planta.

Para o grupo de plantas de 6 e 7 anos de idade, as equações 10 e 13 foram as que resultaram melhores indicadores de qualidade. Nota-se, que os modelos de melhor ajuste, são os que expressam a relação da biomassa seca em função da idade e altura da planta.

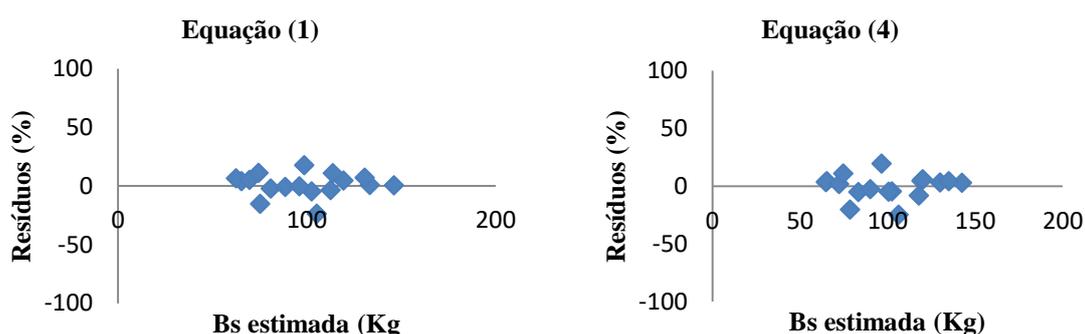
Dentre os modelos testados para as plantas de 6 e 7 anos, a equação número 10 foi o que propiciou estimativas mais precisas, pois apresentou coeficiente de determinação de 0,83, erro padrão estimado de 6,35% e uma variância constante dos resíduos (Figura 3).

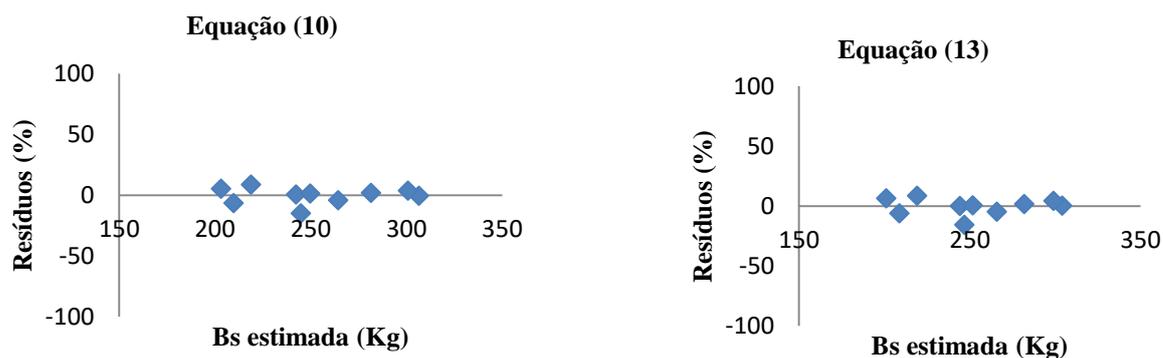
Para o fator idade das plantas, apresentou um comportamento particular na produção da biomassa, não sendo possível selecionar o mesmo modelo matemático que represente todas as idades dessa cultura, pois uma equação alométrica desenvolvida para a palma-de-óleo, e a utilização dessa equação fora do intervalo biométrico para qual foi desenvolvida, pode levar ao aumento de erros nas estimativas da biomassa (GOODMAN et al., 2013).

Vários autores têm desenvolvido estudos sobre ajuste de equações de biomassa para a espécie em estudo (CASTILHA, 2004, ASARI et al. 2013, SANQUETA et al. 2015). Na maioria dos casos, os ajustes das equações são comparáveis aos deste estudo, principalmente devido à heterogeneidade da espécie.

Cassol et al. (2016), em estudo com a cultura da palma-de-óleo no município de Taperoá, no sul da Bahia, realizou ajuste de equações alométricas em 41 indivíduos com idade de 3 a 36 anos, estes encontraram coeficiente de determinação  $R^2_{aj} = 0,89$  e  $Syx\% = 2,68$  para a estimativa de biomassa, utilizando variável transformada:  $\ln$  (Diâmetro a 50 cm do solo e altura do estipe), porém os autores relatam que esse modelo apresenta maiores erros ao estimar a biomassa de plantas jovens, com até 300 kg de biomassa seca.

Na figura 3 pode ser observada a dispersão dos resíduos para as equações de melhor ajuste descritas na Tabela 5. Nota-se, que a dispersão dos resíduos está bem distribuída, não apresentando valores tendenciosos, pois os resíduos possuem uma variância constante.





**Figura 3-** Análise residual das melhores equações ajustadas para estimativa da biomassa seca da palma-de-óleo.

A variação dos resíduos para equação 1 foi de -23 a 11%, enquanto a equação 4 apresentou uma maior variação com -26 a 15%, para as plantas com 3 a 5 anos de idade. Já para as o grupo de plantas com 6 e 7 anos a equação 10 apresentou uma variação dos resíduos de -14 a 9% e a equação 13 de -15 a 9% ou seja, a biomassa estimada com o uso dessas equações podem apresentar tais variações. Observa-se que, de forma geral, a distribuição gráfica de resíduos foi melhor para o grupo de plantas com 6 e 7 anos de idade em relação as plantas com 3 a 5 anos de idade, fato que demonstra a sua maior heterogeneidade.

Assim, a utilização da equação 1 em plantas de 3 a 5 anos e a equação 10 em plantas de 6 e 7 anos, não apresentaram erros estatísticos significativos, o que indica a possibilidade de seu uso na estimativa da biomassa seca da palma-de-óleo por meio de variáveis de fácil mensuração em campo, como idade, altura e diâmetro.

Porém vale ressaltar que cultivos de palma-de-óleo, são muito influenciados por fatores regionais. Em razão disso, faz - se necessário o desenvolvimento de equações que representem a realidade local. Embora as variáveis idade, altura e diâmetro respondam de maneira adequada em diferentes sítios, o arranjo dessas variáveis pode ser alterado por fatores locais, de modo a atuar na precisão dos valores da biomassa da palma-de-óleo.

#### 4 CONCLUSÃO

A média da biomassa seca (Bs) para plantas de 3 a 5 anos de idade, foi de 100,85 Kg planta<sup>-1</sup> e para as plantas de 6 e 7 anos, a média foi de 252,23 Kg planta<sup>-1</sup>.

A alocação de biomassa total nas plantas foi maior no estipe, com 47% para as plantas com 3 a 5 anos de idade e de 57% para plantas de 6 e 7 anos de idade.

A biomassa seca individual de plantas com 3 a 5 anos de idade se correlacionam fortemente com as variáveis biométricas, DS (diâmetro a 50 cm) e H (altura) e com as plantas

com 6 e 7 anos a biomassa seca individual se correlaciona fortemente com as variáveis idade e altura.

É possível expressar a biomassa seca total da espécie palma-de-óleo por equações de regressão, utilizando variáveis independentes de fácil obtenção, como o diâmetro a 50 cm, altura e idade.

A equação que apontou o melhor resultado para plantas com 3 a 5 anos de idade foi a equação  $B_s = -0,7900 + 0,0079 * (DS^2) + 0,0020 * (DS^2 * H)$  com erro padrão relativo  $S_{yx}\% = 9,91$  e coeficiente de determinação ajustado  $R^2 = 0,87$ , e para plantas com 6 e 7 anos de idade foi a equação  $B_s = 134,7586 + 0,03219 * (I * H^2)$  com erro padrão relativo  $S_{yx}\% = 6,35$  e coeficiente de determinação ajustado  $R^2 = 0,83$ .

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHOLOUKPÈ, H.; DUBOS, B.; FLORI, A.; DELEPORTE, P.; AMADJI, G.; CHOTTE, J. L.; BLAVET, D. Estimating aboveground biomass of oil palm: Allometric equations for estimating frond biomass. **Forest Ecology and Management**, v. 292, p. 122 - 129, 2013.

ASARIN, SURATMAN MN, JAAFAR J, KHALID MM, Estimation of above ground biomass for oil palm plantations using allometric equations, *Environment and Chemistry*, p.110-114, 2013.

ASSIS, M. R.; TRUGILHO, P. F.; ROSADO, S.C. S.; PROTASIO, T. P.; GOULART, S. Modelagem da biomassa e do estoque de carbono em plantas jovens de *Eucalyptus*, **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 43, n. 105, p. 225-233, mar. 2015.

BECKER, B. K. Recuperação de áreas desflorestadas da Amazônia: será pertinente o cultivo da palma de óleo (Dendê)? **Confins**, n. 10, p. 2 - 17, 2010.

CASTILLA CE Potencial de captura de carbono por la palma de aceite en Colombia. *Palmas* 25, 366-371. (2004).

COLE T.G.; EWEL J.J. Allometric equations for four valuable tropical tree species. *Forest Ecology and Management*: pag.351-360. Foreco. 2006.

CORLEY, R. H. V.; TINKER, P. B. H.'s *The Oil Palm* (World Agriculture Series) 4th edition published by Wiley-Blackwell, Hardcover (2003).

CASSOL, H L G.; MELO, L C., MENDES, F S., FONSECA, R., SANQUETTA, C R.; redução de emissões de co2 pela produção de biocombustíveis a partir de óleo de dendê na amazônia brasileira floresta, *Curitiba, PR*, v. 46, n. 1, p. 135 - 144, 2016.

DEVIDE ACP, CASTRO CM, RODRIGUES C JR. Efeito de culturas de cobertura e da poda na produtividade do pinhão manso. In: *Anais do IV Congresso Brasileiro de Mamona e I*

Simpósio Internacional de Oleaginosas Energéticas: Inclusão social e energia; 2010; João Pessoa. Campina Grande: Embrapa Algodão; 2010. p. 1326-1332.

DANCEY, CHRISTINE & REIDY, JOHN. Estatística Sem Matemática para Psicologia: Usando SPSS para Windows. Porto Alegre, Artmed. 2006.

FAO. 2013. FAOSTAT agriculture data. Available: <http://faostat.fao.org>. Acesso em 17 de Março, 2016.

GHEZEHEI SB, ANNANDALEA JG, EVERSON CS. Shoot allometry of *Jatropha curcas*. Southern Forests: a Journal of Forest Science, pag. 279-286, 2009.

GOMES JÚNIOR., R. Bases técnicas para a cultura do dendê de óleo integrado na unidade produtiva da agricultura familiar. Embrapa Amazônia Oriental, Documentos, 23, Belém, 190 p. 2010.

GOODMAN, R. C.; PHILIPS, O. L.; TORRES, D. C.; FREITAS, L.; CORTESE, S. T.; MONTEAGUDO, A.; BAKER, T. R. Amazon palm biomass and allometry. **Forest Ecology and Management**, v. 310, p. 994 - 1004, 2013.

KÖPPEN W, GEIGER R, Klimate der Erde. Gotha: Verlag Justus Perthes. Wall-map. 1928.

HARTLEY C.W.S ,The oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq). 2nd ed. Longman, London ,1977.

JACQUEMARD JC , Contribution to the study and the height growth of the stems of *Elaeis guineensis* Jacq. Study of the L2T x D10D cross”, *Oleagineux*,v. 34, p.492-497, 1979.

KHALID, H., ZIN, Z.Z, ANDERSON, J.M. Quantification of oil palm biomass and nutrient value in mature plantation. I. Above-ground biomass. **J. Oil Palm Research** (1): 23-32, 1999.

MARTINS, R. M; LEITE , M.V. S, CABACINHA, C. D, ASSIS, A.L. Teste de identidade de modelos volumétricos para povoamentos de eucalyptus sp. Em sete municípios de Minas Gerais, **Enciclopédia biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.11 n.21; p. 2015.

MELLO, S. L. M.; GOLÇALVES, J. L. M. Equações para estimar a biomassa da parte aérea e do sistema radicular em povoamentos de *Eucalyptus grandis* em sítios com produtividades distintas. **Revista Árvore**, v. 32, n. 1, p. 101 - 111, 2008.

MOREL, A. C.; SAATCHI, S. S.; MALHI, Y.; BERRY, N. J.; BANIN, L.; BURSLEM, D.; NILUS, R.; ONG, R. C. Estimating aboveground biomass in forest and oil palm plantation in Sabah, Malaysian Borneo using ALOS PALSAR data. **Forest Ecology and Management**, v. 262, p. 1786 - 1798, 2011.

MOHAN K. B, JACOB G. SJ, JAMALUDHEEN V, SURESH TK. Comparison of biomass production, tree allometry and nutrient use efficiency of multipurpose trees grown in woodlot and silvopastoral experiments in Kerala, India. **Forest Ecology and Management** , p. 145-163, 1998.

RAMOS A; BOVI MLA; FOLEGATTI MV; DIOTTO AV. Estimativas da área foliar e da biomassa aérea da pupunheira por meio de relações alométricas. **Horticultura Brasileira** , v.26 p.138-143, 2008.

RATUCHNE, L. C. Equações alométricas para estimativa de biomassa, carbono e nutrientes em uma Floresta Ombrófila Mista, Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual do Centro-Oeste, Guarapuava, 2010.

RODRIGUES, T. O.; CALDEIRA-PIRES, A.; LUZ, S.; FRATE, C. A. GHG balance of crude palm oil for biodiesel production in the northern region of Brazil. **Renewable Energy**, v. 62, p. 516 - 521, 2014.

ROLIM SG, COUTO HTZ, JESUS RM, FRANÇA JT. Modelos volumétricos para a Floresta Nacional do Tapirapé-Aquirí, Serra dos Carajás (PA). **Acta Amazonica** , 107- 114. 2006.

RUGNITZ, M. T.; CHACÓN, M. L.; PORRO R. Guia para Determinação de Carbono em Pequenas Propriedades Rurais - 1. ed. - Belém, Brasil.: Centro Mundial Agroflorestal (ICRAF) / Consórcio Iniciativa Amazônica (IA). 2009. 81 p.

SALDARRIAGA, J.G., D.C. WEST, M.L. THARP, C. UHL Long-term chronosequence of forest succession in the upper Rio Negro of Colombia and Venezuela. **Journal of Ecology**, v.76, p.938-958, 1988.

SANQUETTA, C. R.; CORTE, A. P. D.; WOJCIECHOWSKI, J.; BEHLING, A.; PÉLLICONETTO, S.; RODRIGUES, A. L.; SANQUETTA, M. N. I. Comparison of data mining and allometric model in estimation of tree biomass. **BMC Bioinformatics**, v. 16, n. 247, 2015.

SANTOS, P. L.; SILVA, J. M. L.; SILVA, B. N. R.; SANTOS, R. D.; REGO, G. S. Levantamento semi detalhado dos solos e avaliação da aptidão agrícola das terras para culturas de dendê e seringueira. Rio de Janeiro: Embrapa; SNLCS, 192 p. Projeto Moju, Pará. Relatório técnico, 1985.

SILVA, P. H. B. M.; SANQUETTA, C. R.; CORTE, A. P. D. Quantificação de biomassa e carbono em plantios de dendê na região de Ilhéus – Bahia. Curitiba, 2012: Revista da XX Jornadas de Jovens Pesquisadores da AUGM. **Anais...** AUGM, Curitiba. 423 - 429 p. 2012.

SYAHRINUDIN. The potential of oil palm and forest plantations for carbon sequestration on degraded land in Indonesia. 2005. 112 . Thesis (Faculty of Agriculture) – University of Bonn, Bonn, 2005.

VILLELA A. A.; O dendê como alternativa energética sustentável em áreas degradadas da Amazônia, Dissertação. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro (RJ), (2014).

VOGEL, H.L.M., SCHUMACHER, M.V, TRÜBY, P Biomassa E Macronutrientes De Uma Floresta Estacional Decidual Em Itaara-Rs, Brasil, Revista Árvore, Viçosa-MG, v.37, n.1, 99-105, 2013.

### CAPITULO 3

#### ESTOQUE DE CARBONO EM SISTEMAS DE CULTIVOS DE PALMA-DE-ÓLEO (*Elaeis guineensis*), NA AMAZÔNIA ORIENTAL

**RESUMO:** As plantações de palma-de-óleo representam uma alternativa viável para mitigar o aumento da concentração de CO<sup>2</sup> na atmosfera, via fixação do carbono pelas plantas e seu armazenamento na biomassa e no solo, mas tais informações são escassas. Este trabalho teve como objetivo caracterizar e estimar os estoques de carbono nos cultivos de palma-de-óleo com 3 a 7 anos de idade no município de Mojú - Pará. Utilizou-se o método de amostragem aleatória, onde 27 plantas foram coletadas no total, estas tiveram suas biomassas separadas no campo por estipe, folhagem, inflorescência e cachos. Posteriormente as amostras coletadas foram secas em estufa a 75°C até obterem peso constante. Para coleta das amostras de serapilheira, foi lançado uma armação quadrada de 0,5 x 0,5 m (0,25 m<sup>2</sup>) em 10 pontos para cada idade de cultivo. As amostras de solo foram coletadas nas profundidades de 0-20 cm e de 20-40 cm com a utilização de um trado e de cilindros de volume conhecido para determinação da densidade aparente. Amostras de solo, serapilheira e da planta foram enviadas ao laboratório para determinação do teor de carbono. Os resultados mostram que os folíolos contribuíram com 49% da biomassa total, para plantas com 3 anos de idade e o estipe para as demais idades, com 59%, da biomassa total para plantas com 7 anos de idade. O teor de carbono médio em plantas com 3 a 7 anos de idade foi de 55,2% independente do compartimento da planta, o maior estoque de carbono foi registrado no solo (71% em média), seguido da biomassa da parte aérea das plantas (24%) e da serapilheira com 5% do estoque total de carbono do sistema. Cultivos de palma-de-óleo com até 7 anos de idade estocam 66,3 Mg C ha<sup>-1</sup> (solo + serapilheira + biomassa acima do solo (estipe e Folhas)) e 71 Mg C ha<sup>-1</sup>, quando somando ao carbono estimado da biomassa abaixo do solo (Raiz), que consiste na multiplicação do carbono da biomassa acima do solo pelo fator 0,2.

**Palavras-chave:** Dendê, monocultura, biomassa, cobertura do solo.

**ABSTRACT:** Oil palm plantations represent a viable alternative to mitigate the increase in CO<sub>2</sub> concentration in the atmosphere, via carbon fixation by plants and their storage in biomass and soil, but such information is scarce. The objective of this work was to characterize and estimate the carbon stocks in palm oil crops from 3 to 7 years of age in the municipality of Mojú - Pará. The random sampling method was used, where 27 plants were collected in total. Had their biomasses separated in the field by stipe, foliage, inflorescence and clusters. Subsequently the collected samples were dried in an oven at 75°C until obtaining constant weight. To collect the litter samples, a square frame of 0,5 x 0,5 m (0,25 m<sup>2</sup>) was cast in 10 points for each age of cultivation. Soil samples were collected at depths of 0-20 cm and 20-40 cm using a wells and cylinders of known volume for determination of bulk density. Soil, litter and plant samples were sent to the laboratory for determination of carbon content. The results show that the leaflets contributed 49% of the total biomass for 3 year-old plants and the other 59% of the total biomass for 7-year-old plants. The average carbon content in plants with 3 to 7 years of age was 55,2% independent of the plant compartment, the highest carbon stock was recorded in the soil (71% on average), followed by plant biomass (24%) and litter with 5% of the total carbon stock of the system. Oil palm crops up to 7 years of age store 66,3 Mg C ha<sup>-1</sup> (soil + litter + above-ground biomass (Stem and Leaves)) and 71 Mg C ha<sup>-1</sup>, when added to the estimated carbon Of the biomass below the soil (Root), which consists in multiplying the carbon of the above-ground biomass by the factor 0,2.

**Keywords:** Palm oil, monoculture, biomass, soil cover

## 1 INTRODUÇÃO

Dentre os Gases de Efeito Estufa (GEE) emitidos pelas atividades humanas, o gás carbônico (CO<sub>2</sub>) é responsável por 70% do potencial de elevação da temperatura terrestre. Nos últimos 250 anos, a concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera aumentou 37%, alcançando os atuais 400ppm, o mais alto nível observado desde o início das medições, em 1958 (World Meteorological Organization - WMO, 2017). No último século, a temperatura do planeta subiu 0,7° C, e nos próximos cem anos, o aumento pode chegar entre 1,4° C a 5,0° C, segundo projeções do IPCC (MARENGO, 2006).

Nesse contexto, fontes renováveis tornaram-se cada vez mais importante para enfrentar o aumento de gases de efeito estufa (GEE). Em busca de alternativas para atenuar as alterações climáticas e ao mesmo tempo reduzir a dependência de fontes fósseis, os biocombustíveis são uma alternativa aos combustíveis fósseis e ascendem às expectativas sobre a geração de energia no mundo de forma sustentável.

Os biocombustíveis é um grupo de fonte de energia renovável capaz de substituir integralmente ou parcialmente os combustíveis fósseis para utilização em motores estacionais ou em movimento. São combustíveis produzidos direta ou indiretamente a partir da biomassa, como o carvão vegetal, bioetanol, biodiesel, biogás ou biohidrogênio e têm sido considerados ambientalmente e economicamente viáveis (FAO, 2013).

O biodiesel pode ser extraído de diversas espécies vegetais como girassol, amendoim, mamona, soja, algodão, canola, babaçu, macaúba, coco, nabo-forrageiro, pinhão-manso, palma-de-óleo dentre outras tantas espécies. Da produção de biodiesel 75% provem do óleo de soja, 20% da gordura animal e o restante de diversas outras fontes vegetais, destacando-se entre elas a palma-de-óleo (*Elaeis guineensis* Jacq.) (BELTRÃO, 2008).

O Brasil produz cerca de 340 mil toneladas de óleo de palma. A maior parte provém da região Amazônica, pois o estado do Pará se destaca como o principal produtor com 160 mil hectares cultivados, respondendo por mais de 80% da produção nacional (GLASS et al, 2013).

A variedade de usos e as qualidades do óleo de palma resultam em um crescimento contínuo de demanda, promovendo a expansão das plantações em grande escala, gerando assim mais emprego e renda para a população local, agregação de benefícios tecnológicos e econômicos. Além disso, desempenha um importante papel frente às mudanças climáticas, pelo seu grande potencial em absorver e armazenar CO<sub>2</sub> da atmosfera, por meio da fixação deste elemento na biomassa aérea e subterrânea, (AHOLOUKPÉ et al., 2013).

A maioria dos estudos sobre a biomassa e carbono em plantações de palma-de-óleo foram realizados no Sudeste Asiático. No Brasil, esta questão ainda é pouco abordada, e estudos sobre o estoque de carbono é fundamental para o entendimento do acúmulo de carbono no sistema (planta + serapilheira + solo), bem como na constituição de alternativas na esfera econômica, social e ambiental.

Assim, o presente estudo teve como objetivo caracterizar e estimar os estoques de carbono nos cultivos de palma-de-óleo com 3 a 7 anos de idade no município de Mojú - Pará.

## **2 MATERIAIS E MÉTODOS**

### *2.1. Caracterização da área de estudo*

A área de estudo localiza-se nas áreas de cultivo de palma-de-óleo da empresa Biopalma/Vale no município de Mojú, (01° 53' 02" S, 48° 46' 08" W), a 16 m de altitude no Nordeste do estado do Pará.

O clima é classificado, de acordo com Köppen, com temperatura média anual entre 25-27°C e precipitação entre 2000-3000mm, com distribuição irregular, ocorrendo pequeno período seco. A insolação mensal varia entre 148-275,8 horas, com os valores mais elevados ocorrendo no período de junho a dezembro e apresentando estreita relação com a precipitação (GOMES JÚNIOR, 2010).

O relevo é plano, com declive variando 0% a 3%. O solo predominante é o Latossolo Amarelo, com diferentes texturas, ocorrendo também Argissolos, Gleissolos e Plintossolos (SANTOS et al., 1985).

### *2.2 Material de Estudo e Procedimentos Metodológicos*

Para realizar o estudo foram selecionadas áreas com plantios comerciais de palma-de-óleo com 3 a 7 anos de idade da variedade Deli x Ghana. O plantio das plantas nas áreas selecionadas foi disposto em triângulo equilátero, uma densidade de 160 plantas por hectare.

A coleta das plantas foi realizada em outubro de 2015 para plantas de 3 e 4 anos de idade, selecionando-se 6 plantas de cada ano totalizando 12 plantas amostradas. Em outubro de 2016 realizou-se a coleta para plantas com 5; 6 e 7 anos de idade, selecionando 5 plantas por ano, totalizando 15 plantas amostradas.

Uma distância mínima de 100 metros foi mantida entre as plantas amostradas, sendo todas localizadas longe das arestas da área de plantação. Todas as plantas incluídas nas amostras

apresentaram fenótipo e vitalidade normal, sem danos ou outros defeitos causados por agentes físicos ou patológicos.

As 27 plantas cortadas, a biomassa separadas no campo por estipe, folhagem, inflorescência e cachos. Os compartimentos de biomassa fresca foram pesados separadamente no campo, utilizando balança digital com precisão de 50 kg.

Amostras foram recolhidas e pesadas a partir de cada compartimento da planta e transportadas para a Universidade Federal do Tocantins, onde foram secas em estufa a 75°C até atingir peso constante, com posterior determinação da biomassa seca (Bs). Os pesos frescos das plantas foram convertidos em biomassa seca por relação direta entre as duas variáveis a partir das amostras.

A biomassa abaixo da superfície do solo não foi quantificada nesse estudo, porém estimativas do carbono nesses casos são recomendadas, pois os dados de biomassa abaixo do solo são muito limitados, devido, à dificuldade na sua quantificação. Assim foram estimadas o carbono da biomassa abaixo da superfície do solo (Raízes), multiplicando o carbono acima da superfície do solo pelo fator (0,2), segundo a metodologia de Syahrudin (2005), a qual é recomendada apenas quando há informações disponíveis do estoque de carbono da biomassa da parte aérea das plantas, que é o caso desse estudo.

Para a determinação da biomassa da serapilheira, depositada no horizonte O do solo, foram realizadas 5 amostragens da serapilheira, para cada ano. Para isso, em cada área foi lançado, aleatoriamente, um quadrante de 0,5 x 0,5 m (0,25 m<sup>2</sup>), coletando-se toda serapilheira presente no quadrante, conforme metodologia descrita por Arevalo et al. (2002).

A serapilheira coletada foi armazenada, em sacos de papel e foram registrados os pesos frescos totais acumulados em 0,25 m<sup>2</sup>. Logo após essas amostras foram secas em estufa de circulação à temperatura de 75°C até obter-se peso constante. Após esse processo obteve-se o peso seco total para unidade amostrada.

O estoque de carbono das amostras das plantas e da serapilheira foram preparadas para análise através de moagem, e o conteúdo de carbono foi determinado no Laboratório Agropecuário Solocria, utilizando o método de incineração via mufla à 550°C (LANARV, 1988). O estoque individual de carbono de cada planta foi obtido multiplicando-se a biomassa seca de cada compartimento pelo respectivo teor de carbono.

Para a determinação do carbono no solo, foram selecionadas duas amostras compostas em cada ano de plantio, totalizando 10 pontos amostrados para cada amostra. As camadas amostradas foram de 0-20 cm e de 20-40 cm, conforme metodologia proposta por Arevalo et al., (2002), utilizando um cilindro de volume conhecido.

Em seguida, foram determinados os teores de carbono orgânico pela metodologia de Walkley-Black e de densidade aparente, conforme Embrapa (1997). Os estoques de carbono foram calculados multiplicando os teores de carbono ( $\text{g kg}^{-1}$  solo) pela densidade ( $\text{g cm}^{-3}$ ) e pela espessura da camada (m) do solo.

Para avaliação do estoque de carbono total (ECT) em plantações de palma-de-óleo, de 3, 4, 5, 6 e 7 anos de idade, considerou-se o carbono estocado na planta, na serapilheira e no solo até 40 cm de profundidade.

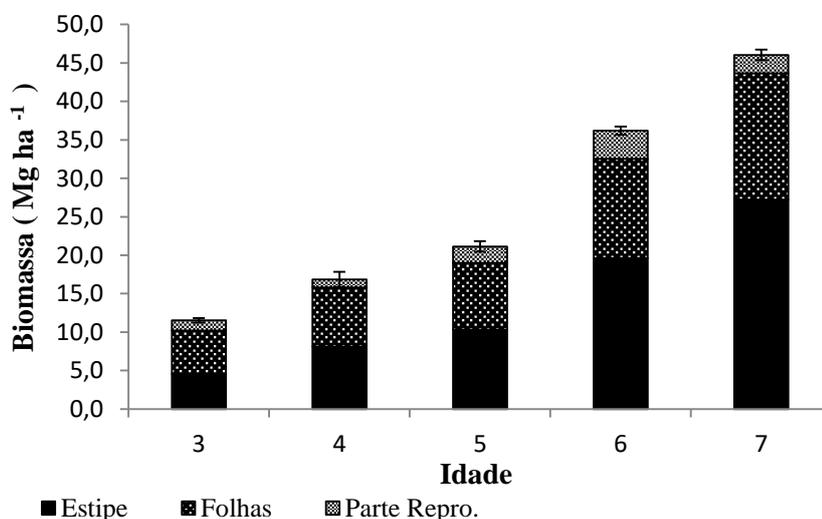
O estoque de carbono total foi calculado pela seguinte fórmula:  $\text{ECT} = \text{ECS} + \text{ECB}$  em que: ECT = estoque de carbono total ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ); ECS = estoque de carbono no solo ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ); ECB = estoque de carbono na biomassa (Planta + Serapilheira) ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1 Biomassa e Carbono da parte aérea

O estoque de carbono em sua grande maioria está contido principalmente na biomassa das plantas, a qual deve ser primeiramente quantificada de maneira confiável e posteriormente transformada em carbono através da multiplicação do peso da biomassa seca pelo teor de carbono quantificado (MIRANDA, 2008).

Para isso, 27 plantas de palma-de-óleo foram amostradas de plantios comerciais com 3 a 7 anos de idade. Na Figura 1, está representado a biomassa total ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) por compartimento da planta. Nota-se que a biomassa apresentou acúmulo crescente conforme o aumento da idade de plantio, de acordo com o desenvolvimento da planta aumenta o acúmulo da biomassa.



**Figura 1** – Biomassa total por compartimento da planta de palma-de-óleo com 3 a 7 anos de idade, Mojú-PA, 2015 e 2016. Valores das médias  $\pm$  erro padrão (n=5), da biomassa total.

Analisando a distribuição da biomassa nas plantas observa-se que as plantas mais jovens com 3 anos de idade apresentaram  $11,53 \text{ Mg ha}^{-1}$ , sendo as folhas, o compartimento que apresentou maior proporção da biomassa total com 49% do total, seguido da estipe com 39% e da parte reprodutiva com 12%, e as plantas mais velhas com 7 anos de idade apresentaram  $46 \text{ Mg ha}^{-1}$ , onde a estipe foi o compartimento que apresentou maior proporção da biomassa total com 59%, seguida das folhas com 35% e da parte reprodutiva com 6%, demonstrando que as plantas selecionadas para o estudo apresentaram incremento na biomassa de  $24 \text{ Mg ha}^{-1}$  em 5 anos de cultivo.

De acordo com Asari et al (2011), estudando a biomassa acima do solo em plantios de palma-de-óleo na Malásia, observaram que plantas com 6 anos de idade apresentaram biomassa entre  $40,3$  a  $48 \text{ Mg ha}^{-1}$  e com 7 anos entre  $55,7$  a  $60,1 \text{ Mg ha}^{-1}$ , valores superiores aos observado nesse estudo, porém esses autores basearam-se em apenas 2 plantas amostradas por idade, nível de significância de 50%.

Já Syahrudin (2005), observou que no terceiro ano de plantio as plantas apresentaram  $21,7 \text{ Mg ha}^{-1}$  e plantações de 30 anos  $130,7 \text{ Mg ha}^{-1}$ . Estudos anteriores relatam que a biomassa da palma-de-óleo apresentaram ampla variação na biomassa, podendo atingir até  $50 \text{ Mg ha}^{-1}$  em plantas no final do ciclo (KLAARENBEESINGEL, 2009). Essa magnitude da biomassa aérea pode estar relacionada as influências fitossociológicas, climáticas, manejo e geográficas como latitude e altitude (GUEDES et al., 2001).

Na Tabela 1, está descrita a estatística do teor médio do carbono das diferentes partes da planta de palma-de-óleo aqui estudados para as plantas de 3 a 7 anos de idade.

**Tabela 1** - Teor de carbono das diferentes partes da planta de Palma-de-óleo (*E. guineensis*), de 3 a 7 anos de idade, em Mojú-PA, 2015 e 2016.

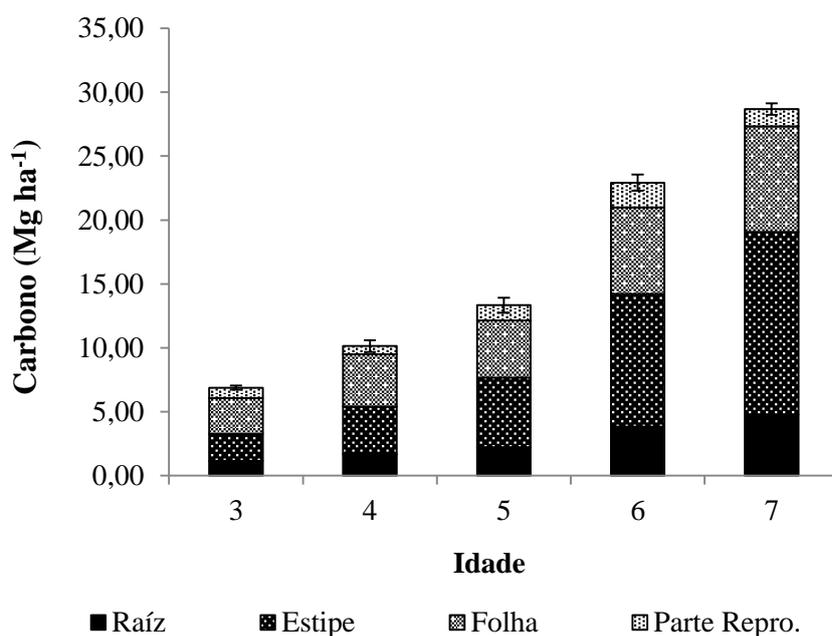
Compartimento	Nº	Minimo %	Maximo %	Média %	S <sup>2</sup>	Cv%
<b>Folíolo</b>	25	53,9	55,9	54,9	0,184	0,781
<b>Pecíolo</b>	25	54,8	56,8	55,7	0,174	0,749
<b>Estipe</b>	25	52,8	56,0	54,8	0,174	1,947
<b>Parte Reprodutiva</b>	25	54,8	55,7	55,3	0,147	0,693
<b>Média Geral</b>	25	54,1	56,1	55,2	0,170	1,043

Onde: S<sup>2</sup> = Variância Cv% = Coeficiente de Variação Nº = Número de amostras; parte reprodutiva = (inflorescência + cacho).

Os valores de teor de carbono mostraram-se similares entre os compartimentos da planta bem como entre as idades. Esses teores de carbono estão superiores aos mencionados pelo Intergovernamental Pannel On Climate Change - IPCC (2006) de 47% como valor padrão na conversão de carbono para palma-de-óleo. Sanqueta et al. (2015), relata teor de 40,85% para plantações na Bahia e Syahrinudin (2005) de 41,3% na Indonésia.

Castilla (2004), analisando vários métodos para quantificação de carbono em plantações de palma-de-óleo na Colômbia em diferentes idades, menciona que a conversão de biomassa e carbono é feito com teores de carbono que variam de 45 a 50%. A percentagem de 50%, normalmente emprega-se em muitos estudos similares (HAMBURGO, 2000), entretanto a adoção de um único valor geral pode acarretar superestimativas ou subestimativas de estoques de carbono, ou seja, uma fonte de erro que pode ser evitada se os teores corretos forem empregados (DALLAGNOL et al., 2011).

Com os valores médios do teor de carbono da biomassa das diferentes partes das plantas, foi quantificado o estoque de carbono total na biomassa de plantas de palma-de-óleo em plantios comerciais de 3 a 7 anos de idade, os quais estão apresentados na Figura 2.



**Figura 2** – Estoque de Carbono em plantas de palma-de-óleo em plantios comerciais de 3 a 7 anos de idade, Mojú-PA, 2015 e 2016. Valores médios  $\pm$  erro padrão (n=5) do carbono total.

O estoque de carbono determinado neste estudo variou entre as partes da planta, acompanhando o padrão de alocação de biomassa (Figura 1), sendo maior nas folhas para as plantas mais jovens de 3 e 4 anos, com média de 40% do carbono total, e para as demais idades o estipe foi a parte que apresentou maior estoque de carbono total com 41, 45 e 50% , para as

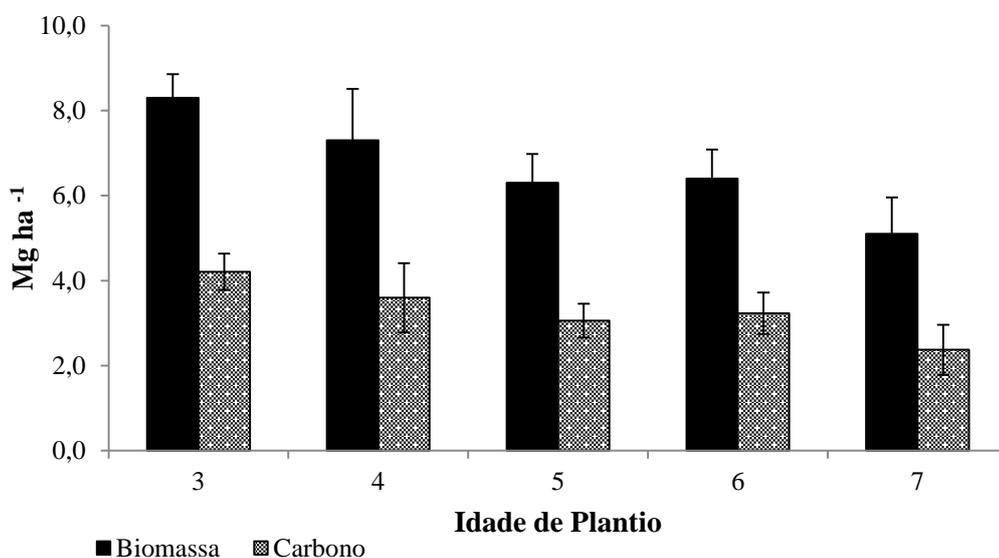
plantas de 5; 6 e 7 anos, respectivamente, demonstra incremento médio anual de 5% de carbono estocado na biomassa das plantações de palma-de-óleo.

O estoque de carbono médio na biomassa para plantas de 3 anos foi de  $6,7 \pm 0,16$  Mg C ha<sup>-1</sup>, para as de 4 anos foi  $10,0 \pm 0,40$  Mg C ha<sup>-1</sup>, a planta de 5 anos obteve  $13,21 \pm 0,43$  Mg ha<sup>-1</sup>, as plantas de 6 anos foi  $22,7 \pm 0,36$  Mg C ha<sup>-1</sup> e para as plantas de 7 anos o estoque total foi de  $28,5 \pm 0,23$  Mg C ha<sup>-1</sup>, apresentando incremento de  $21,8$  Mg C ha<sup>-1</sup> estocado em 5 anos de cultivo da palma-de-óleo.

Plantas de palma-de-óleo com 3 anos de idade em Sumatra na Indonésia, apresentaram valores médios de estoque de carbono total na biomassa de  $9,2$  Mg C ha<sup>-1</sup> e para as classes de 10; 20 e 30 anos de idade foram  $35,4$ ;  $41,7$  e  $55,3$  Mg C ha<sup>-1</sup>, respectivamente (SYAHRINUDIN, 2005).

### 3.2 – Biomassa e Carbono na Serapilheira

O maior estoque de biomassa na serapilheira foi encontrado no plantio de palma-óleo com 3 anos de idade e o menor valor no plantio com 7 anos, apresentado variação de  $3,2$  Mg ha<sup>-1</sup>, de biomassa acumulada plantio (Figura 3).



**Figura 3** - Biomassa e estoque de carbono da serapilheira em plantios de Palma-de-óleo de 3 a 7 anos de idade, Mojú-PA. Valores são médias  $\pm$  erro padrão da média (n=5).

A produção da biomassa da serapilheira foi reduzindo em média  $1$  Mg ha<sup>-1</sup> por ano até o quinto ano com valor médio de  $6,3 \pm 0,68$  Mg ha<sup>-1</sup>, se estabelecendo em  $6,4 \pm 0,60$  Mg ha<sup>-1</sup> aos 6 anos e diminuindo a biomassa nas plantas com 7 anos de idade  $5,1 \pm 0,80$  Mg ha<sup>-1</sup>, porém são valores relativamente altos e estão equivalentes aos citados na literatura para formações florestais da Mata Atlântica segundo Cunha Neto et al. (2013), de  $8,65$  Mg ha<sup>-1</sup> e Sperandio et

al. (2012), de 5,6 Mg ha<sup>-1</sup>. Esses valores são relativamente superiores aos encontrados por Diniz (2015) em serapilheira de 2 Mg ha<sup>-1</sup> e em pastagem com 3,4 Mg ha<sup>-1</sup>.

Valores elevados da biomassa da serapilheira nos plantios jovens de palma-de-óleo, podem estar relacionados a prática cultural, como a poda das folhas, que se inicia no estágio produtivo da cultura, por volta do terceiro ano de plantio. As folhas eliminadas são dispostas na linha de plantio contribuindo assim com o maior acúmulo dessa biomassa sobre o solo.

Outra prática adotada no cultivo da palma-de-óleo é o plantio da leguminosa *Pueraria phaseoloides*, com o intuito de promover a cobertura do solo, contribuindo diretamente com o acúmulo da serapilheira. No entanto, com o desenvolvimento da palma o sombreamento sobre o solo aumenta respectivamente, dificultando o desenvolvimento da leguminosa e das demais plantas espontâneas, conseqüentemente reduzindo gradativamente a cobertura verde sobre o solo, bem como nos valores da serapilheira.

A concentração de carbono encontrada na serapilheira para os plantios estudados apresentou variação de 51 a 46,5%, onde o conteúdo médio do carbono para plantios com 3 anos foi 51%, 4 anos (49,7%), 5 anos (48,6%), 6 anos (50,5%) e com 7 anos (46,5%), obtendo média geral no teor de carbono de 49,3%, ou seja, a cada 1000 g de biomassa seca da serapilheira, 493 g correspondem a carbono estocado na serapilheira.

As idades de plantio de palma-de-óleo não apresentaram diferença significativa quanto ao estoque de carbono na serapilheira, acompanhando o padrão de alocação de biomassa (Figura 3), apresentaram em média maior estoque de carbono aos 3 anos de idade com 4,2 Mg C ha<sup>-1</sup> e menor em plantios de 7 anos com 2,4 Mg C ha<sup>-1</sup>, e nos plantios de 4, 5 e 6 anos, foram semelhantes entre eles, em média 3,3 Mg C ha<sup>-1</sup> estocado na serapilheira.

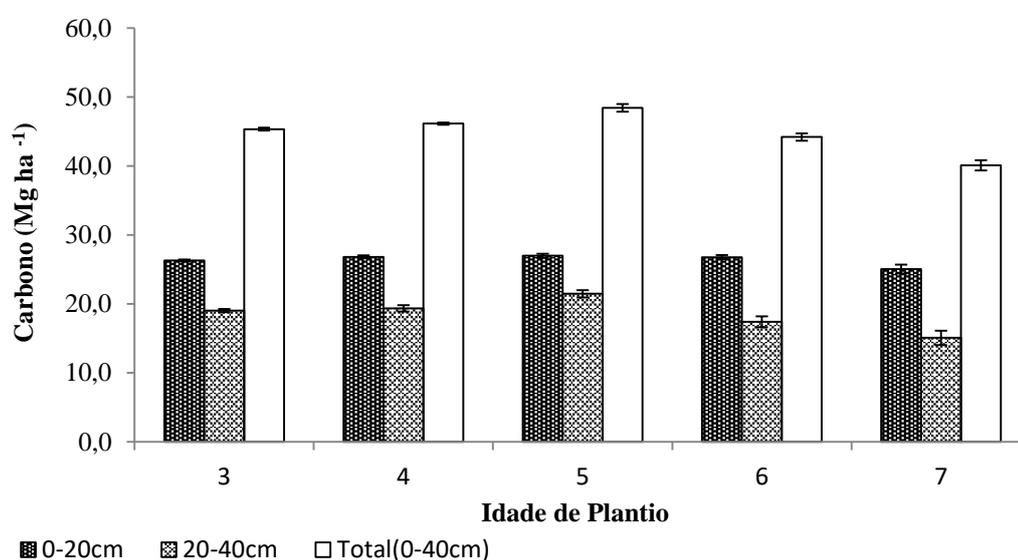
Mavisoy (2013), estudando o estoque de carbono em sistemas agroflorestais na Amazônia Oriental, observou estoque de carbono na serapilheira de 2,6 Mg C ha<sup>-1</sup> em sistemas de SAF's com palma-de-óleo, valores estes próximos aos observados nesse estudo para plantios de monocultivo com 7 anos de idade.

### 3.3 Estoque de carbono no solo

Os solos dos cinco de plantios da palma-de-óleo aqui estudados, em média apresentaram classe textural franco-arenoso, e a densidade do solo, variou de 1,38±0,06 Mg m<sup>-3</sup> e 1,26±0,09 Mg m<sup>-3</sup> nas profundidades 0-20 e 20-40 cm, respectivamente. Essa faixa de variação de densidade do solo está abaixo do limite do qual o crescimento radicular é restringido (REICHERT et al., 2003), isto é, 1,70 a 1,80 Mg m<sup>-3</sup> para os solos franco-arenosos.

A concentração média de carbono encontradas nos solos de palma-de-óleo com 3 a 7 anos de idades foi de  $10,63 \pm 0,3\%$  para a profundidade de 0 a 20 cm e de  $7,13 \pm 0,1\%$  para a profundidade de 20 a 40 cm. Esses valores encontram-se inferiores aos encontrados por Carvalho (2011) de 17% (0-20 cm) e de 8,3% (20-40 cm) em cultivo de palma-de-óleo sob sistemas agroflorestais, porém o mesmo relata que dependendo do tipo material vegetal da superfície e do uso do solo as concentrações de carbono pode varia em  $\pm 10\%$  nos primeiros centímetros e que nas camadas mais profundas há maior uniformidade na concentração de carbono.

Os maiores valores de estoque de carbono no solo, foram detectados na camada de 0-20 cm, em média de  $26,4 \pm 0,2 \text{ Mg C ha}^{-1}$ , e menor nas camadas de 20-40 cm, em média de  $18,5 \pm 0,4 \text{ Mg C ha}^{-1}$ , para os cultivos comerciais de palma-de-óleo de 3 a 7 anos de idade (Figura 4).



**Figura 4.** Estoque de carbono total no solo (profundidade = 0-40 cm) em plantios de Palma-de-óleo de 3 a 7 anos de idade, em Mojú-PA. Valores são médias  $\pm$  erro padrão da média (n=2).

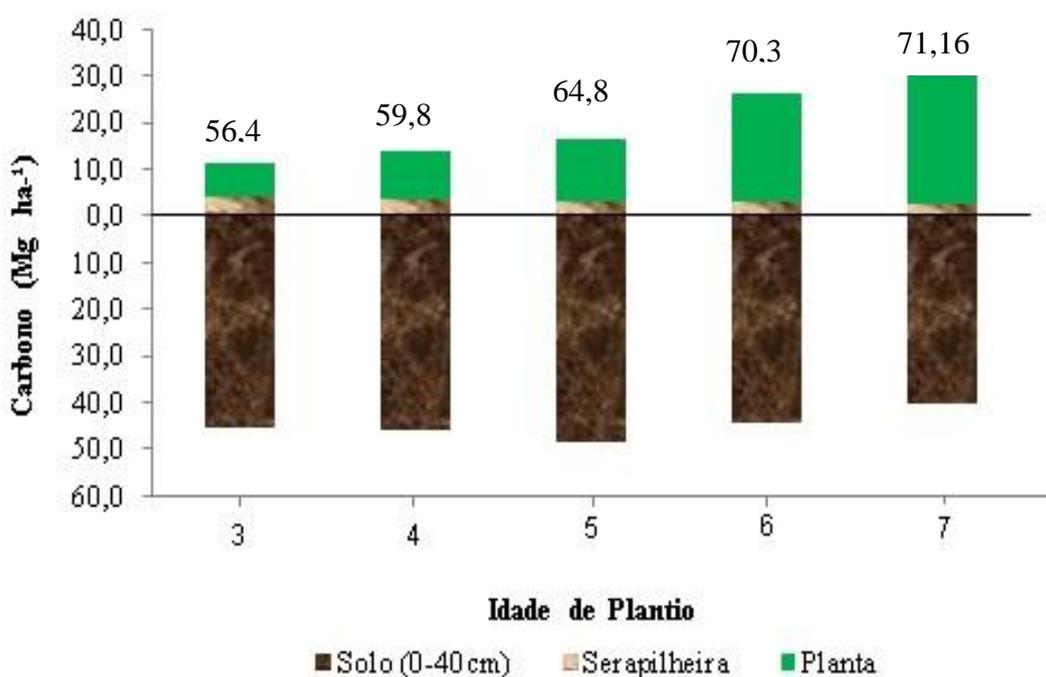
O maior estoque de carbono, na camada superficial, pode ser atribuído aos maiores teores de carbono encontrados e/ou à maior presença de raízes. De acordo com Rasse et al. (2005) o aumento dos estoques de carbono no solo na cultura da palma-de-óleo está diretamente relacionado com o crescimento das raízes e Nunes et al. (2009) afirmam que mais da metade (52%) do comprimento total de raízes da palma localiza-se nos primeiros 20 cm de solo.

Quanto ao estoque total de carbono no solo (0-40 cm), constatou-se, em plantios com 3 anos,  $45,3 \pm 0,15 \text{ Mg C ha}^{-1}$ ; aos 4 anos,  $46,1 \pm 0,16 \text{ Mg C ha}^{-1}$ ; aos 5 anos,  $48,4 \pm 0,40 \text{ Mg C ha}^{-1}$ ; aos 6 anos,  $44,2 \pm 0,45 \text{ Mg C ha}^{-1}$  e aos 7 anos,  $40,1 \pm 0,60 \text{ Mg C ha}^{-1}$  (Figura 4), não apresentando diferença significativa do estoque em função da idade de plantio.

Os estoques de carbono total deste estudo estão próximos aos relatados por Carvalho (2011), que avaliou o efeito da sucessão de floresta secundária em sistemas de palma-de-óleo, e constataram estoque de carbono médio no solo de  $44 \text{ Mg C ha}^{-1}$  na camada de 0–30 cm para plantios de 6 anos e Frazão et al. (2012), trabalhando com a mesma profundidade, em sistemas convencionais de palma-de-óleo, relatam estoque de carbono de  $34 \text{ Mg C ha}^{-1}$  e  $66 \text{ Mg C ha}^{-1}$  em plantios com 23 e 34 anos de idade respectivamente.

### 3.4 Estoque total de carbono no sistema

Somando todos os compartimentos estudados no sistema de monocultivo de palma-de-óleo (Figura 5), tem-se valores de 56,42; 59,88; 64,88; 70,31 e 71,16  $\text{Mg C ha}^{-1}$  para as idades de plantio de 3, 4, 5, 6 e 7 anos, respectivamente. Esses valores são inferiores aos citados por Leblanc et al. (2008), que relata valores de  $96,02 \text{ Mg C ha}^{-1}$  em plantios com 7 anos de idade.



**Figura 5** - Estoques médios de carbono total ( $\text{Mg C ha}^{-1}$ ) em plantios de Palma-de-óleo com 3, 4, 5, 6 e 7 anos de idade (Planta + serapilheira + solo), em Mojú-PA, 2015 e 2016.

Comparando-se os estoques de carbono no solo, na serapilheira e na parte aérea, nota-se que a maior parte do carbono estocado está no solo, seguido da parte aérea e por último a serapilheira. O solo apresentou armazenamento de carbono que variou de 80% aos 3 anos a 56% aos 7 anos de idade do estoque total do sistema, constituindo-se assim, a fração mais importante em plantios jovens de palma-de-óleo. Logo, é de suma importância manter a

qualidade do solo e os reservatórios de carbono por meio de técnicas de manejo conservacionistas.

Os estoques de carbono em plantações de palma-de-óleo relatados na literatura, variam consideravelmente, de 31 a 62 Mg C ha<sup>-1</sup> para cultivos com até 10 anos de idade e de 96 a 101 Mg C ha<sup>-1</sup> em cultivos entre 14 e 19 anos, segundo Sitompul e Hairiah, (2000).

Syahrudin (2005), com objetivo de quantificar o estoque de carbono em plantações de palma-de-óleo na Indonésia em diferentes idades, observou aumento no estoque de carbono do sistema, com o incremento da idade do plantio, onde observou valores de 16,6; 49,4; 65,3 e 84,6 Mg C ha<sup>-1</sup> para plantações com 3; 10; 20 e 30 anos de idade, respectivamente.

Já Suardi et al. (2016), em estudo na Malásia, observaram armazenamento médio de 76,4 Mg C ha<sup>-1</sup> e 80,12 Mg C ha<sup>-1</sup> para plantios com 16 e 17 anos de idade, respectivamente. Cassol et al. (2016), relatam que a palma-de-óleo apresenta crescimento rápido nos 10 anos iniciais, chegando a incrementos de 5 Mg C ha<sup>-1</sup> por ano, apenas na biomassa da planta. Esse mesmo autor ainda destaca queda de 50% no estoque de carbono acima do solo nos anos seguintes.

#### **4 CONCLUSÃO**

As folhas contribuíram com 49% da biomassa total, para plantas com 3 anos de idade e o estipe para as demais idades, chegando a contribuir com 59%, da biomassa total em plantas com 7 anos de idade.

O teor de carbono médio em plantas com 3 a 7 anos de idade foi de 55,2% independentemente das diferentes partes da planta.

Maior estoque de carbono médio em cultivos de palma-de-óleo com 3 a 7 anos de idade foram registrados nos solos, com 71%, seguido da planta com 24% e da serapilheira com 5% do estoque total do carbono no sistema.

Cultivos de palma-de-óleo até 7 anos de idade estocam 71,16 Mg C ha<sup>-1</sup> de carbono (solo + serapilheira + Planta).

#### **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

AHOLOUKPÉ, H.; DUBOS, B.; FLORI, A.; DELEPORTE, P.; AMADJI, G.; CHOTTE, J. L.; BLAVET, D. Estimating aboveground biomass of oil palm: Allometric equations for estimating frond biomass. **Forest Ecology and Management**, v. 292, p. 122 - 129, 2013.

AREVALO, L.A.; ALEGRE, J.C.; VILCAHUAMAN, L.J.M. Metodologia para estimar o estoque de carbono em diferentes sistemas de uso da terra. Embrapa Florestas. Documentos, 73. Colombo, Paraná. 41p.: il. 2002.

ASARI N, SURATMAN MN, JAAFAR J, Preliminary Study of Above Ground Biomass (AGB) and Stem Volume of Oil Palm Stands Symposium on Business, Engineering and Industrial Applications (ISBEIA), Langkawi, Malaysia 2011.

BELTRÃO, N E M, OLIVEIRA, M I P, Oleaginosas e seus óleos: Vantagens e Desvantagens para Produção de Biodiesel: Embrapa, Campina Grande, 1ª Edição 2008.

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

CASSOL, H L G.; MELO, L C., MENDES, F S., FONSECA, R., SANQUETTA, C R.; redução de emissões de co2 pela produção de biocombustíveis a partir de óleo de dendê na Amazônia brasileira floresta, **Curitiba**, PR, v. 46, n. 1, p. 135 - 144, 2016.

CASTILLA CE Potencial de captura de carbono por la palma de aceite en Colombia. Palmas 25, 366-371, 2004.

CUNHA NETO, F. V.; LELES, P. S. S.; PEREIRA, M. G.; BELLUMATH, V. G. H.; ALONSO, J. M. Acúmulo e decomposição da serapilheira em quatro formações florestais. **Ciência Florestal**, v. 23, n.3, p.379-387, 2013.

DALLAGNOL, F. S., MOGNON, F., SANQUETTA, C. R., & DALLA CORTE, A. P. Teores de carbono de cinco espécies florestais e seus compartimentos. **Floresta e Ambiente**, v. 18, n. 4, p. 410-416, 2011.

DINIZ, A. R, Estoque de carbono e atributos edáficos em áreas de plantios de seringueira (*Hevea Brasiliensis* M. Arg.), mata e pastagem no Estado do Rio de Janeiro, Tese (doutorado) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Curso de Pós-Graduação em Agronomia – Ciência do Solo, 2015.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro,. 212p, 1997.

FAO., FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, FAO's views on Bioenergy. 2013 Disponível em: <http://www.fao.org/energy/bioenergy/en/>, Acesso em: Fev. 2017.

FRAZÃO, L. A.; PAUSTIAN, K.; CERRI, C. E.; CERRI, C. C. Soil carbon stocks and changes after oil palm introduction in the Brazilian Amazon. **GCB Bioenergy**, 2012,

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, 15 pp., 2013.

GOMES JÚNIOR., R. Bases técnicas para a cultura do dendê de óleo integrado na unidade produtiva da agricultura familiar. Embrapa Amazônia Oriental, Documentos, 23, Belém, 190 p. 2010.

GUEDES, B.; ARGOLA, J.; PUNÁ, N.; MICHONGA, E.; MONTEIRO, J. Estudo da biomassa florestal numa floresta aberta de miombo no distrito de Bárué, Manica. Moçambique: Universidade Eduardo Mondlane, Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal., pt. 2. 2001.

HAMBURG PS, Simple rules for measuring changes in ecosystem carbon in forestry-offset projects. *Mitig Adapt Strategies Glob. Chang.* 5:25-37, 2000.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, 2006.

KLAARENBEESKINGEL F W, Greenhouse gas emissions from palm oil production: Literature review and proposals from the RSPO Working Group on Greenhouse Gases 2009.

LANARV, Laboratório de análises de Referência Vegetal, Ministério da Agricultura. Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária. Análise de corretivos, fertilizantes e inoculados; métodos oficiais. Brasília, p.104, 1988.

LEBLANC, H. A., RUSSO, R. O. Carbon Sequestration in an Oil Palm Crop System (*Elaeis guineensis*) in the Caribbean Lowlands of Costa Rica, *Proc. Fla. State Hort. Soc.*, Vol. 121, pp. 52-54, 2008.

MARENGO, JA. Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade: caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século, XXI. Brasília: MMA, 212 p., Série Biodiversidade, v. 26, 2006.

MAVISÓY, H M., Estoques de carbono em floretas, capoeiras e sistemas agroflorestais da Amazonia Oriental, Dissertação do Curso de Agroecologia, Universidade Estadual do Maranhão, São Luís, 2013.

MIRANDA, D.L.C. Modelos matemáticos de estoque de biomassa e carbono em áreas de restauração florestal no sudoeste paulista, 113 p. Dissertação Mestrado em Engenharia Florestal - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

NUNES, M F N, VARGAS, R B S, ROCHA, L R, BATISTELLA, G, AZEVEDO, J A DE, RODRIGUES, L N, SILVA, E F DE F. Quantificação de raízes de dendê irrigado por microaspersão no cerrado utilizando imagens digitais. Nota técnica em Jornada de Ensino, Pesquisa e Extensão da UFRPE, Recife, 2009.

RASSE, D. P.; RUMPEL, C.; DIGNAC, M. F. Is soil carbon mostly root carbon? Mechanisms for a specific stabilization. **Plant and Soil**, v.269, p.341-346, 2005.

RODRIGUES, T. O.; CALDEIRA-PIRES, A.; LUZ, S.; FRATE, C. A. GHG Balance of crude palm oil for biodiesel production in the northern region of Brazil. **Renewable Energy**, v. 62, p. 516 – 52, 2014.

R CORE TEAM. **R**: A language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing. 2013. Disponível em: [http:// www.R-project.org](http://www.R-project.org) Acesso em: 14 Jan. 2017.

SANQUETTA, C. R.; CORTE, A. P. D.; WOJCIECHOWSKI, J.; BEHLING, A.; PÉLLICONETTO, S.; RODRIGUES, A. L.; SANQUETTA, M. N. I. Comparison of data mining and allometric model in estimation of tree biomass. **BMC Bioinformatics**, v. 16, n. 247, 2015.

SANTOS, P. L.; SILVA, J. M. L.; SILVA, B. N. R.; SANTOS, R. D.; REGO, G. S. Levantamento semi detalhado dos solos e avaliação da aptidão agrícola das terras para culturas de dendê e seringueira. Rio de Janeiro: Embrapa; SNLCS, 192 p. Projeto Moju, Pará. Relatório técnico, 1985.

SITOMPOL, S M, HAIRIAH, K. Biomass measurement of home garden. Proceedings of Workshop on LUCG and Greenhouse Gas Emissions, Biophysical Data, IPB, Bogor, 2000.

SPERANDIO, H. V.; CECÍLIO, R. A.; SILVA, V. H.; LEAL, G. F.; BRINATE, I. B.; CALDEIRA, M. V. W. Emprego da Serapilheira Acumulada na Avaliação de Sistemas de Restauração Florestal em Alegre-ES. **Floresta e Ambiente**, v.19, n.4, p.460-467, 2012.

SUARDI, H., BESAR, N.A., MUI-HOW, P.H.U.A. and MOKHTAR, M.,. Carbon stock estimation of agroforestry ststem in Tawau, Sabah. **Transaction on Science and Technology**, pp.25-30, 2016.

SYAHRINUDIN. The potential of palm oil and forest plantations for carbon sequestration on degraded land in Indonesia. Thesis (Faculty of Agriculture) University of Bonn, Bonn, 112f, 2005.

WMO - World Meteorological Organization, Clima quebra recordes múltiplos em 2016, com impactos globais. Disponível em <https://public.wmo.int/en/media/press-release>, 2017.

## CAPITULO 4

### BALANÇO DE NUTRIENTES NO SISTEMA SOLO-PLANTA EM PLANTIOS COMERCIAIS DE PALMA ÓLEO, NA AMAZÔNIA ORIENTAL

**RESUMO:** Os estudos sobre o balanço de nutrientes em plantios de palma-de-óleo permitem avaliar possíveis alterações decorrentes de técnicas de manejo aplicadas e possibilitam inferir sobre a sustentabilidade das plantações. Nesse sentido o estudo teve por objetivo determinar o conteúdo de nutrientes do solo, da serapilheira e da planta em diferentes compartimentos, bem como examinar o balanço de nutrientes no sistema solo-planta, em plantios de palma-de-óleo, no município de Mojú-PA. Os dados foram obtidos de plantios de palma-de-óleo com idades de 3 a 7 anos, quatro plantas de cada ano foram cortadas em outubro 2015 e 2016, como aquisição de amostras da serapilheira e do solo no perfil de 0 a 40 cm. O estudo apresentou que os solos sob os povoamentos de palma-de-óleo de modo geral não se diferenciaram em relação à fertilidade, a parte da planta, folíolo, foi a que apresentou maior teor de Nitrogênio e as demais partes pecíolo, estipe e parte reprodutiva foi o potássio. O micronutriente Ferro foi o que apresentou maior teor para todas as partes da planta analisadas, os plantios se caracterizam com alto acúmulo de serapilheira, onde as concentrações do Nitrogênio e do Ferro foram maiores. Assim, conclui-se que o balanço de macronutrientes no sistema solo-planta evidenciou-se positivo para todos os elementos, exceto o K que apresentou saldo negativo para os plantios de 6 e 7 anos de idade.

**Palavras-chave:** biomassa, dendê, serapilheira, nutrição de planta, fertilidade do solo.

**ABSTRACT:** Studies on nutrient balance in oil-palm plantations allow us to evaluate possible changes resulting from applied management techniques and make it possible to infer about the sustainability of plantations. In this sense, the objective of this study was to determine the nutrient content of soil, litter and plant in different compartments, as well as to examine the balance of nutrients in the soil-plant system, in palm-oil plantations, in the municipality of Mojú-PAN. The data were obtained from oil palm plantations with ages ranging from 3 to 7 years, four plants of each year were cut in October 2015 and 2016, as sampling of the litter and soil in the 0 to 40 cm profile. The study showed that soils under oil palm stands were generally not differentiated in relation to fertility, the part of the plant, leaflet, was the one with the highest Nitrogen content and the other parts petiole, stipe and part was potassium. The iron micronutrient was the one that presented the highest content for all parts of the plant analyzed, the plantations are characterized with high accumulation of litter, where the concentrations of Nitrogen and Iron were higher. Thus, it was concluded that the balance of macronutrients in the soil-plant system was positive for all elements, except the K that presented a negative balance for plantations of 6 and 7 years of age.

**Key words:** biomass, palm oil, litter, plant nutrition, soil fertility.

## 1 INTRODUÇÃO

As espécies vegetais oleaginosas têm grande importância no Brasil devido à alta aceitabilidade de seus óleos nos mercados nacional e internacional. Na região amazônica, o cultivo da palma-de-óleo é favorecido por boas condições de adaptação da espécie às condições edafoclimáticas (BASTOS, 2001).

A variedade de usos e as qualidades do óleo vegetal extraído da palma, seja do mesocarpo (óleo de palma ou óleo de dendê) ou da amêndoa (óleo de palmiste), é um dos mais consumidos no mundo, principalmente pelas indústrias alimentícias e de biocombustíveis (LOPES et al., 2008), resultando em crescimento contínuo da demanda, promovendo a expansão das plantações em grande escala no estado do Pará, se destacando como o principal produtor com 160 mil hectares cultivados, respondendo por mais de 80% da produção nacional (GLASS et al., 2013).

Um dos maiores desafios nos cultivos de palma-de-óleo é a produção sustentável do óleo vegetal, pois essa cultura apresenta alta demanda de nutrientes devido ao seu rápido crescimento anual, especialmente nos primeiros anos do seu ciclo total de crescimento (25 anos), e aos altos rendimentos anuais que se obtém depois que se inicia a produção a partir do terceiro ano de idade, eleva a demanda sobre os recursos do solo, principalmente por água e nutrientes (KEE e GOH, 2006).

Segundo Melo et al. (2006), estudos sobre a ciclagem de nutrientes em cultivos agrícolas, permitem avaliar possíveis alterações decorrentes de técnicas de manejo aplicadas, possibilitando inferir sobre a sustentabilidade da produção.

O acúmulo e a distribuição de nutrientes nos diversos compartimentos da planta e no solo podem servir como indicadores de diferenças entre os ecossistemas, em especial no que tange à disponibilidade de nutrientes para as plantas (CUNHA et al., 2005). Para Viegas et al. (2000), as quantidades de nutrientes encontradas nos diversos compartimentos no sistema solo-planta (parte aérea, serapilheira e solo) são importantes para a compreensão da estrutura do ecossistema, assim como para definição de estratégias que visem à manutenção da sustentabilidade do cultivo da palma-de-óleo.

Experimentos relacionados à serapilheira também são importantes na produtividade de um ecossistema, com papel fundamental na ciclagem de nutrientes (VILLA LOBOS-VEGA et al., 2011), pois constitui uma das principais fontes de nutrientes do sistema. Segundo Correia et al. (2008), a deposição e decomposição da serapilheira, sob a ação do clima e da fauna

edáfica, são considerados processos chave na manutenção da qualidade e estabilidade dos ecossistemas, principalmente em solos de baixa fertilidade natural.

De acordo com Silva e Mendonça (2007), contínuo aporte de material senescente sobre o solo, formando cobertura estável ao longo do ano em cultivos agrícolas, tem grande importância no fornecimento de nutrientes às plantas, na retenção de cátions, na estabilidade da estrutura, na infiltração e retenção de água, na aeração e na atividade microbiana, constituindo-se, assim, num componente fundamental e determinante da capacidade produtiva de solos altamente intemperizados.

A sustentabilidade da produtividade de um sistema agrícola é determinada, entre outros fatores, pelo balanço de nutrientes no sistema solo-planta (SANTANA et al., 2008). Nesse sentido, o estudo teve por objetivo determinar o conteúdo de nutrientes no solo, na serapilheira e na planta em diferentes compartimentos, bem como examinar o balanço de nutrientes no sistema solo-planta, em plantios de palma-de-óleo, em Mojú-PA.

## **2 MATERIAIS E MÉTODOS**

### *2.1. Caracterização da área de estudo*

A área de estudo localiza-se nas áreas de cultivo de palma-de-óleo da empresa Biopalma/Vale no município de Mojú, (01° 53' 02" S, 48° 46' 08" W), a 16 m de altitude no Nordeste do estado do Pará.

O clima é classificado, de acordo com Köppen, com temperatura média anual entre 25-27°C e precipitação entre 2000-3000 mm, com distribuição irregular, ocorrendo pequeno período seco. A insolação mensal varia entre 148-275, 8 horas, com os valores mais elevados ocorrendo no período de junho a dezembro e apresentando estreita relação com a precipitação (GOMES JÚNIOR, 2010).

O relevo é plano, com declive variando de 0 a 3%. O solo predominante é o Latossolo Amarelo, com diferentes texturas, ocorrendo também Argissolos, Gleissolos e Plintossolos (SANTOS et al., 1985).

### *2.2 Material de Estudo e Procedimentos Metodológicos*

Para realizar o estudo foi selecionada áreas com plantios comerciais de palma-de-óleo com 3 a 7 anos de idade da variedade Deli x Ghana. O plantio das plantas nas áreas selecionadas foi disposto em triângulo equilátero, com densidade de 160 plantas por hectare.

A coleta das plantas para amostra foi em outubro de 2015 nos plantios de 3 e 4 anos de idade, onde foram selecionadas 6 plantas de cada ano totalizando 12 plantas amostradas. Em outubro de 2016 realizou-se a coleta para plantas com 5; 6 e 7 anos de idade, selecionando 5 plantas por ano, totalizando 15 plantas amostradas.

Uma distância mínima de 100 metros foi mantida entre as plantas amostradas, sendo todas localizadas longe das arestas da área de plantação. Todas as plantas incluídas nas amostras apresentaram fenótipo e vitalidade normal, sem danos ou outros defeitos causados por agentes físicos ou patológicos.

As plantas foram cortadas e separadas no campo por estipe, folhagem e parte reprodutiva (inflorescências + cachos), as raízes não foram analisadas neste trabalho. As das porções da biomassa fresca foram pesadas separadamente no campo, utilizando balança digital com precisão de 50 kg.

Foram utilizadas amostras de 4 plantas, onde amostras de cada porção foram separadas e secas em estufa a 75°C até atingirem peso constante, com posterior determinação da biomassa seca (Bs). Os pesos frescos das plantas foram convertidos em biomassa seca por relação direta entre as duas variáveis a partir das amostras.

Para a determinação da biomassa da serapilheira, depositada no horizonte O do solo, foram realizadas 5 amostragens da serapilheira, para cada ano. Para isso, em cada área foi lançado, aleatoriamente, um quadrante de 0,5 x 0,5 m (0,25 m<sup>2</sup>), coletando-se toda serapilheira presente no quadrante, conforme metodologia descrita por Arevalo et al. (2002).

A serapilheira coletada foi armazenada, em sacos de papel e foram registradas as massas frescas totais acumulados em 0,25 m<sup>2</sup>. Logo após, essas amostras foram secas em estufa de circulação à temperatura de 75°C até obter-se peso constante. Após esse processo obteve-se o peso seco total para unidade amostrada.

Posteriormente todas as amostras dos compartimentos das plantas e da serapilheira foram encaminhadas ao laboratório de análise química de solo e planta, para determinar o teor de macronutrientes e micronutrientes, de acordo com Embrapa (2011). Diante dos valores da biomassa seca e dos teores dos nutrientes encontrados em cada compartimento da planta e na serapilheira, foram extrapoladas as quantidades médias de nutrientes por hectare.

Para amostragens do solo, foram coletadas amostras de solo nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm, em 10 pontos aleatórios na área. Em seguida, o solo coletado em cada profundidade foi homogeneizado formando duas amostras compostas, que foram encaminhadas para caracterização dos atributos físicos e químicos, de acordo com Embrapa (2011).

Nas análises, determinaram-se: pH ( $\text{CaCl}_2$ ), MO,  $\text{Al}^{3+}$ , P, K, S,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ , capacidade de troca catiônica total (T), saturação por bases, saturação por Al (m) e soma de bases (SB).

Para o balanço nutricional, tomaram-se valores dos conteúdos dos nutrientes no solo (em diferentes profundidades), na serapilheira acumulada e nas porções das plantas, para cada ano de plantio da palma-de-óleo. O balanço nutricional foi obtido pela seguinte expressão: Balanço de Nutrientes = solo - (parte aérea + serapilheira) (ZAIA e GAMA-RODRIGUES, 2004).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Análises físico químicas dos solos da área em estudo

Na Tabela 1 e 2, estão apresentados os resultados da caracterização física e química do solo das áreas para cada ano de plantio estudado.

Os solos apresentaram classe textura franco arenosa, com exceção da profundidade de 20 – 40, do plantio de 7 anos, classificado como franco argila arenosa. Todos os solos foram caracterizados como distróficos, pois apresentaram saturação por bases (V) menor que 50 % (Tabela 1), nas duas profundidades avaliadas (TOMÉ JÚNIOR, 1997).

**Tabela 1** - Atributos físicos de solos de plantios de Palma-de-óleo, de 3, 4, 5, 6 e 7 anos de idade, localizados na cidade de Mojú – PA, 2015 e 2016.

Idade	Prof. (cm)	Areia	Silte	Argila	Densidade	Classe Textural
		-----%	-----	-----	$\text{g cm}^{-3}$	
3	0 - 20	82,0	6,0	12,0	1,4	Franco Arenosa
	20 - 40	77,0	8,0	15,0	1,33	
4	0 - 20	84,0	5,0	11,0	1,36	Franco Arenosa
	20 - 40	78,0	6,0	16,0	1,27	
5	0 - 20	87,0	4,0	9,0	1,44	Franco Arenosa
	20 - 40	80,0	6,0	14,0	1,36	
6	0 - 20	86,0	4,0	10,0	1,3	Franco Arenosa
	20 - 40	80,0	6,0	14,0	1,11	
7	0 - 20	79,0	5,0	16,0	1,3	Franco Arenosa
	20 - 40	70,0	7,0	23,0	1,25	

Conforme tabela 2, constata-se que os valores de pH ( $\text{H}_2\text{O}$ ) nas duas profundidades do solo variaram entre 4,3 e 4,9, com exceção da profundidade 0-20 no plantio de 5 anos, onde foi constatado o maior valor do pH (5,6). Classificando esses solos como pH bom, baixo e muito baixo respectivamente (RIBEIRO, et al. 1999).

A saturação por alumínio (m) (Tabela 2) foi menor para os solos dos plantios de 3; 4 e 7 para camada superficial (0–20 cm) indicando que em média 39% da CTC a pH 7 (T) é ocupada pelos cátions trocáveis enquanto 61% (0-20 cm) é ocupado pelo H<sup>+</sup> e para maior profundidade (20–40 cm) as solo com menor (m) foi ao plantios de 3; 4 e 5 anos indicando em média 27% da CTC a pH 7 (T) é ocupada pelos cátions trocáveis enquanto 73% é ocupado pelo H<sup>+</sup>, corroborado pelos valores também baixos da capacidade de troca catiônica total (T) e da soma de bases (SB), indicando que a necessidade de calagem nesses solos é maior (RONQUIM, 2010).

O teor de matéria orgânica nos solos diminuiu com o aumento da profundidade, apresentando valores abaixo de 2% para todos os anos de plantios, classificando-se como baixo (Tabela 2), com exceção para o solo das plantas de 4 anos que apresentou 1,4% na profundidade de 0-20cm e 2% na de 20-40cm.

**Tabela 2** - Atributos químico de solos de plantios de Palma-de-óleo, de 3, 4, 5, 6 e 7 anos de idade, localizados na cidade de Mojú – PA, 2015 e 2016.

Idade	Prof. (cm)	pH	MO	V	m	N	P	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H <sup>+</sup> +Al <sup>3+</sup>	SB	T
		H <sup>2</sup> O	-----%	-----	%	mg dm <sup>-3</sup>	-----	cmol dm <sup>-3</sup>	-----					
3	0 - 20	4,3	1,4	15,6	39,1	0,04	29,3	0,11	0,8	0,3	0,8	6,8	1,2	2,0
	20 - 40	4,7	1,0	16,9	20,1	0,03	29,3	0,08	1,1	0,2	0,5	6,8	1,6	1,8
4	0 - 20	4,6	1,4	16,8	39,8	0,05	41,8	0,14	1,0	0,3	0,9	6,4	1,2	2,3
	20 - 40	4,6	2,0	18,6	27,4	0,03	57,1	0,21	1,1	0,2	0,4	6,4	1,3	1,9
5	0 - 20	5,6	1,7	46,2	3,9	0,04	30,8	0,19	2,0	0,3	0,1	2,9	2,5	5,4
	20 - 40	4,8	1,5	23,3	34,0	0,03	28,7	0,07	0,7	0,2	0,5	3,2	1,0	4,2
6	0 - 20	4,6	1,9	8,4	60,2	0,05	33,1	0,06	0,4	0,2	1,0	7,2	0,7	7,9
	20 - 40	4,9	1,3	8,2	71,4	0,03	29,4	0,02	0,2	0,1	0,8	3,6	0,3	3,9
7	0 - 20	4,8	1,9	19,3	36,8	0,03	34,2	0,33	0,5	0,2	0,6	4,3	1,0	5,3
	20 - 40	4,9	0,9	14,6	71,4	0,07	31,0	0,06	0,2	0,1	0,9	2,1	0,4	2,5

A matéria orgânica tem influência sobre as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo e, dessa forma, o menor valor encontrado para o pH nas primeiras camadas avaliadas pode ser em razão do aumento do teor de ácido carbônico, quando da decomposição/mineralização do material orgânico, contendo substâncias altamente acidificante do meio (SILVA e MENDONÇA, 2007). Por outro lado, a MO também contribui com a CTC total, entre 20 e 90% nas camadas superficiais de solos minerais, aumentando a disponibilidade de alguns nutrientes (SILVA e MENDONÇA, 2007; RONQUIM, 2010).

Em relação ao teor de P disponível no solo, verificou-se que os valores obtidos foram classificados como muito bom para todos os anos de plantio e para as profundidades analisadas, quanto ao K disponível a camada de 0-20 cm, está dentro da média e para camada mais profunda

(20-40) a maioria encontra - se abaixo do recomendado para palma-de-óleo, onde teores inferiores que  $0,15 \text{ cmol dm}^{-3}$ , são considerados muito baixos para esta cultura (SOUSA e LOBATO, 2004).

Os teores de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  apresentaram valores muito baixos para os solos e profundidades estudadas. Esses elementos se relacionam, e seus teores adequados estão entre 2 e  $9 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ . Nesses solos, os teores encontrados foi abaixo de  $2 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , com exceção para o plantio de 5 anos (0–20 cm) onde  $\text{Ca}^{2+}$  apresentou-se no limite de  $2 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , nos demais anos de plantio os baixos níveis indicam possíveis condições de deficiências nutricionais e necessidade de reposição para nutrição da palma-de-óleo.

### *3. 2 Teor e Acumulo de nutrientes em plantas de Palma-de-óleo.*

O povoamento de palma-de-óleo apresenta em média biomassa seca total de: 11,316; 16,537; 20,750; 35,517 e 45,199  $\text{Mg h}^{-1}$ , para os plantios de 3; 4; 5; 6; e 7 anos de idade, respectivamente (Tabela 3). Na tabela 3, estão evidenciados os teores de macronutrientes, encontrados nas diferentes porções das plantas de palma-de-óleo com 3 a 7 anos de idade.

De modo geral, N, K e Ca foram os elementos que apresentaram maiores concentrações nas diferentes partes da planta avaliadas e o P destacou-se por apresentar os menores valores entre os demais nutrientes. Resultados semelhantes ao deste estudo foram obtidos por Behera et al. (2016), os quais avaliaram o teor dos nutrientes em diferentes metodologias na Índia em plantas de palma - de - óleo, verificaram que nas folhas o teor de N variou de 24,2 a 27  $\text{g kg}^{-1}$ , de K 7,8 a 9,1  $\text{g Kg}^{-1}$  e do Ca de 7,0 a 10, 2  $\text{g Kg}^{-1}$ .

Segundo Guzmán (2014), estudando teores referenciais de nutrientes em folhas de palma-de-óleo com 3 a 9 anos de idade nas condições edafoclimáticas da Amazônia, no estado do Pará, relata valores para faixa de teor considerado ótimo ou suficiente, para macronutrientes de: N (20,40 - 29,68  $\text{g Kg}^{-1}$ ); P (1,21 – 1,85  $\text{g Kg}^{-1}$ ); K (8,16 – 12,60  $\text{g Kg}^{-1}$ ); Ca (6,38 - 9,86  $\text{g Kg}^{-1}$ ); Mg (2,0 – 3,27  $\text{g Kg}^{-1}$ ) e S (1,21 – 1,91  $\text{g Kg}^{-1}$ ). Neste trabalho, os teores de N e o S foram os únicos que se apresentaram na faixa de suficiência para todos os anos de plantio, os demais macronutrientes encontraram-se no limite ou abaixo do limite inferior do intervalo ótimo de macronutrientes proposto por Guzmán (2014).

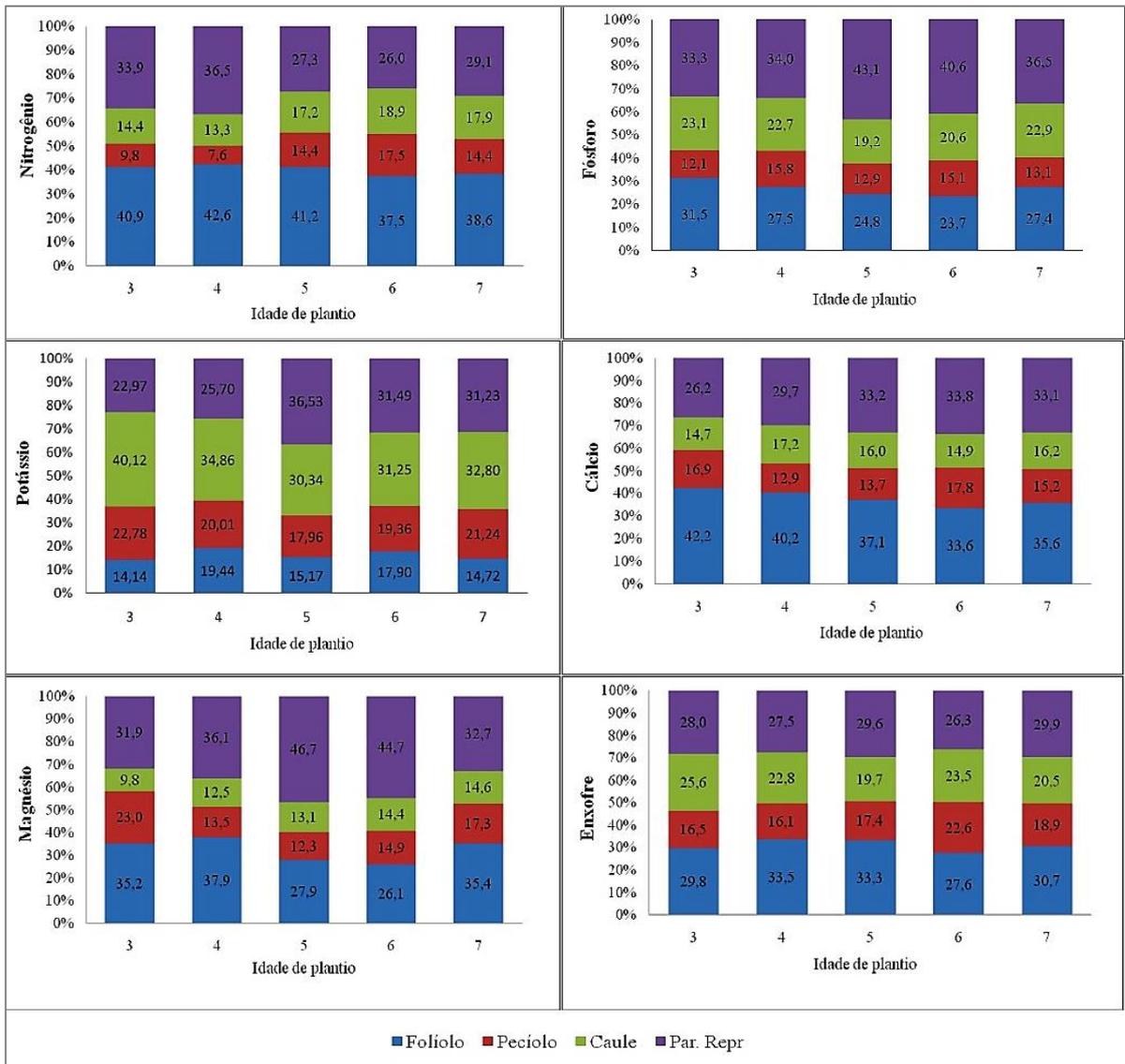
**Tabela 3** - Teores de macronutrientes na parte aérea de plantas de Palma-de-óleo em plantios com 3; 4; 5; 6 e 7 anos de idade, Mojú – PA, 2015 e 2016.

Idade (anos)	Parte da planta	Macronutrientes (g Kg <sup>-1</sup> )					
		N	P	K	Ca	Mg	S
3	Folículo	20,21	1,19	6,67	8,17	2,77	1,66
	Pecíolo	5,02	0,46	10,75	3,27	1,81	0,91
	Estipe	7,23	0,87	18,93	2,84	0,77	1,42
	Par. Repr.	16,92	1,26	10,84	5,08	2,51	1,56
4	Folículo	22,14	1,25	10,15	6,73	2,73	1,79
	Pecíolo	3,94	0,72	10,45	2,15	0,97	0,86
	Estipe	6,90	1,03	18,21	2,87	0,90	1,22
	Par. Repr.	18,99	1,55	13,43	4,97	2,60	1,47
5	Folículo	24,52	1,25	7,60	5,88	1,70	1,78
	Pecíolo	8,57	0,65	9,00	2,18	0,75	0,93
	Estipe	10,23	0,97	15,20	2,53	0,80	1,05
	Par. Repr.	16,25	2,18	18,30	5,25	2,85	1,58
6	Folículo	22,50	1,30	10,70	5,53	1,75	1,53
	Pecíolo	10,52	0,83	11,58	2,93	1,00	1,25
	Estipe	11,36	1,13	18,68	2,44	0,97	1,30
	Par. Repr.	15,63	2,23	18,83	5,55	3,00	1,45
7	Folículo	23,00	1,20	8,25	4,98	2,00	1,83
	Pecíolo	8,57	0,58	11,90	2,13	0,98	1,13
	Estipe	10,67	1,01	18,38	2,26	0,83	1,22
	Par. Repr.	17,38	1,60	17,50	4,63	1,85	1,78

Onde: Part. Repr = Parte Reprodutiva; Cobre (Cu); Ferro (Fe); Zinco (Zn); Manganês (Mn) e Boro (B).

A seguir na figura 1, está ilustrado os percentuais da distribuição dos macronutrientes nas diferentes porções da planta de palma-de-óleo em plantios com 3; 4; 5; 6 e 7 anos de idade, no município de Mojú. Observa-se que a idade de plantio não apresentou muita influência na distribuição dos macronutrientes na planta.

O folículo, a parte reprodutiva e o estipe foram as porções da planta que apresentaram maior acúmulo do total dos macronutrientes acumulados na planta, onde os folículos foram responsáveis por concentrar uma média 40% (N), 38% (Ca), 32% (Mg), 31% (S), 27% (P) e 16% (K). Já a parte reprodutiva concentrou 38% (Mg), 37% (P), 30% (N), 31% (Ca), 29% (K) e 28% (S), quanto que o estipe da planta acumulou 33% (K), 22% (P e S), e 16% (N e Ca), do total acumulado na planta.



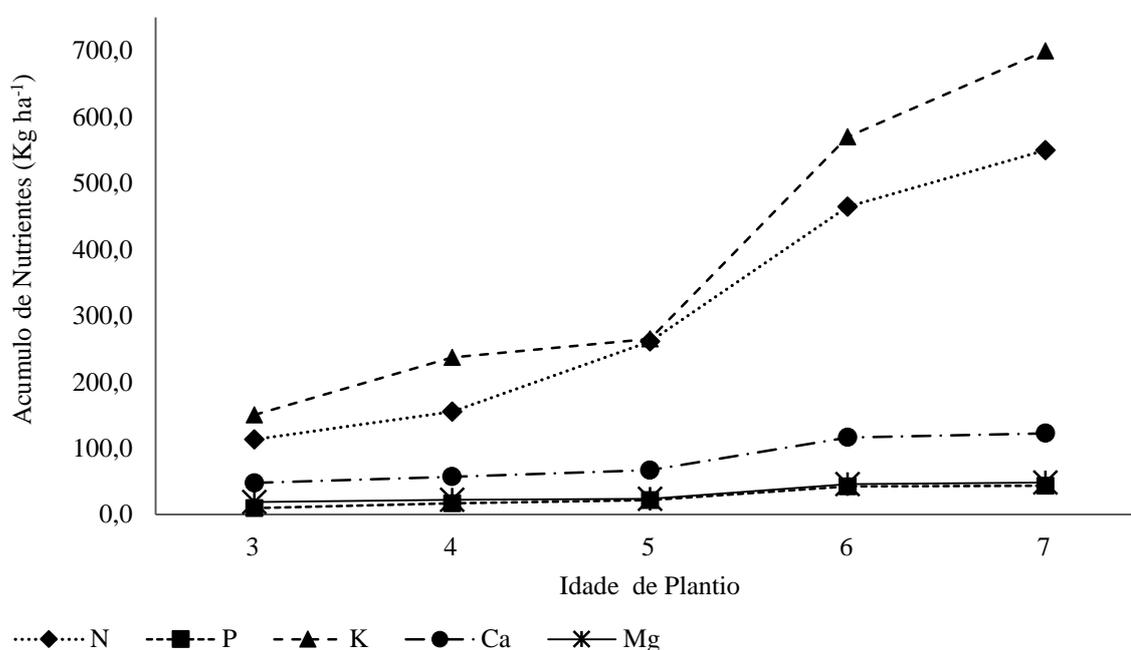
**Figura 1** - Percentuais da distribuição dos macronutrientes em diferentes porções da planta de palma-de-óleo em plantios com 3, 4, 5, 6 e 7 anos de idade, no município de Mojú – PA, 2015 e 2016.

A figura 2 mostra a dinâmica do estoque anual dos macronutrientes N, P, K, Ca e Mg em um hectare, os quais apresentam uma dinâmica crescente conforme o envelhecimento do plantio, isso se dá ao fato do processo gradual no acúmulo da biomassa das plantas decorrente do seu crescimento progressivo, principalmente nos primeiros 8 anos de plantio (GOMES JÚNIOR, 2010).

O estoque dos macronutrientes apresentaram um rápido incremento anual para todos os macronutrientes, onde o nitrogênio apresentou um incremento de 37% 68%, 78%, 18% o fósforo 75%, 31%, 94%, 3% o potássio 58%, 12%, 115%, 23% o cálcio 20%, 17%, 74% e 5% o magnésio 18%, 6%, 94%, 6% e o enxofre de 36%, 21%, 93% e 25 para os plantios de 4; 5; 6 e 7 anos de idade respectivamente.

Logo se observa um elevado acúmulo no estoque para o nutriente K com  $699\text{kg ha}^{-1}$  e para o N com  $550\text{ kg ha}^{-1}$  aos 7 anos de plantio. Esse elevado acúmulo de K e N correlaciona-se ao fato desses nutrientes encontrarem-se em maiores concentrações na biomassa das plantas de palma-de-óleo (Tabela 3). Assim os conteúdos totais de macronutrientes estocados na parte aérea anualmente, segue a ordem de  $\text{K} > \text{N} > \text{Ca} > \text{Mg} > \text{S} > \text{P}$  para os plantios de 3 a 7 anos de idade.

Viégas (1993), trabalhando com plantas de palma-de-óleo com dois a oito anos de idade, avaliando a concentração, conteúdo e exportação de nutrientes nas diferentes partes da planta. Ele constatou que o macronutriente mais estocado foi o K com 711; 460; 311; 203 e 93  $\text{Kg ha}^{-1}$  para os plantios com 7; 6; 5; 4; 3 respectivamente seguido pelo N, Ca, Mg, S e P, acúmulo e dinâmica, similar aos encontrados nesse estudo.



**Figura 2** - Estoque de macronutrientes da parte aérea das plantas de palma-de-óleo, em plantios de de 3, 4, 5, 6 e 7 anos de idade, Mojú – PA, 2015 e 2016.

Onde: Nitrogênio (N); Fósforo (P); Potássio (K); Cálcio (Ca); Magnésio (Mg); Enxofre (S).

Na tabela 4, esta evidenciado os teores dos micronutrientes encontrados nas diferentes porções (folíolo, pecíolo, estipe e parte reprodutiva), das plantas palma-de-óleo com 3; 4; 5; 6 e 7 anos de idade. De modo geral o Fe e o Mn, foram os micronutrientes que apresentaram maiores teores nas diferentes porções da planta e o Cu destacou-se por apresentar os menores valores entre os demais, para todas as porções da planta.

As faixas de suficiência para as concentrações foliares de micronutrientes, em plantas de palma-de-óleo apresentam valores para Cu ( $4,20 - 7,5\text{ mg kg}^{-1}$ ); Fe ( $70 - 106\text{ mg kg}^{-1}$ ); Zn

(12,4 – 20,6 mg kg<sup>-1</sup>); Mn (232 – 296 mg kg<sup>-1</sup>) e B (10,0- 25 mg kg<sup>-1</sup>) (MALAVOLTA et al., 1997).

Neste trabalho, os teores de Mn foi o único micronutriente que não se apresentou na faixa de suficiência, os demais elementos encontraram-se acima do limite mínimo do proposto por Malavolta et al. (1997).

**Tabela 4** - Teores de micronutrientes na parte aérea de plantas de Palma-de-óleo em plantios com 3, 4, 5, 6 e 7 anos de idade, Mojú – PA, 2015 e 2016.

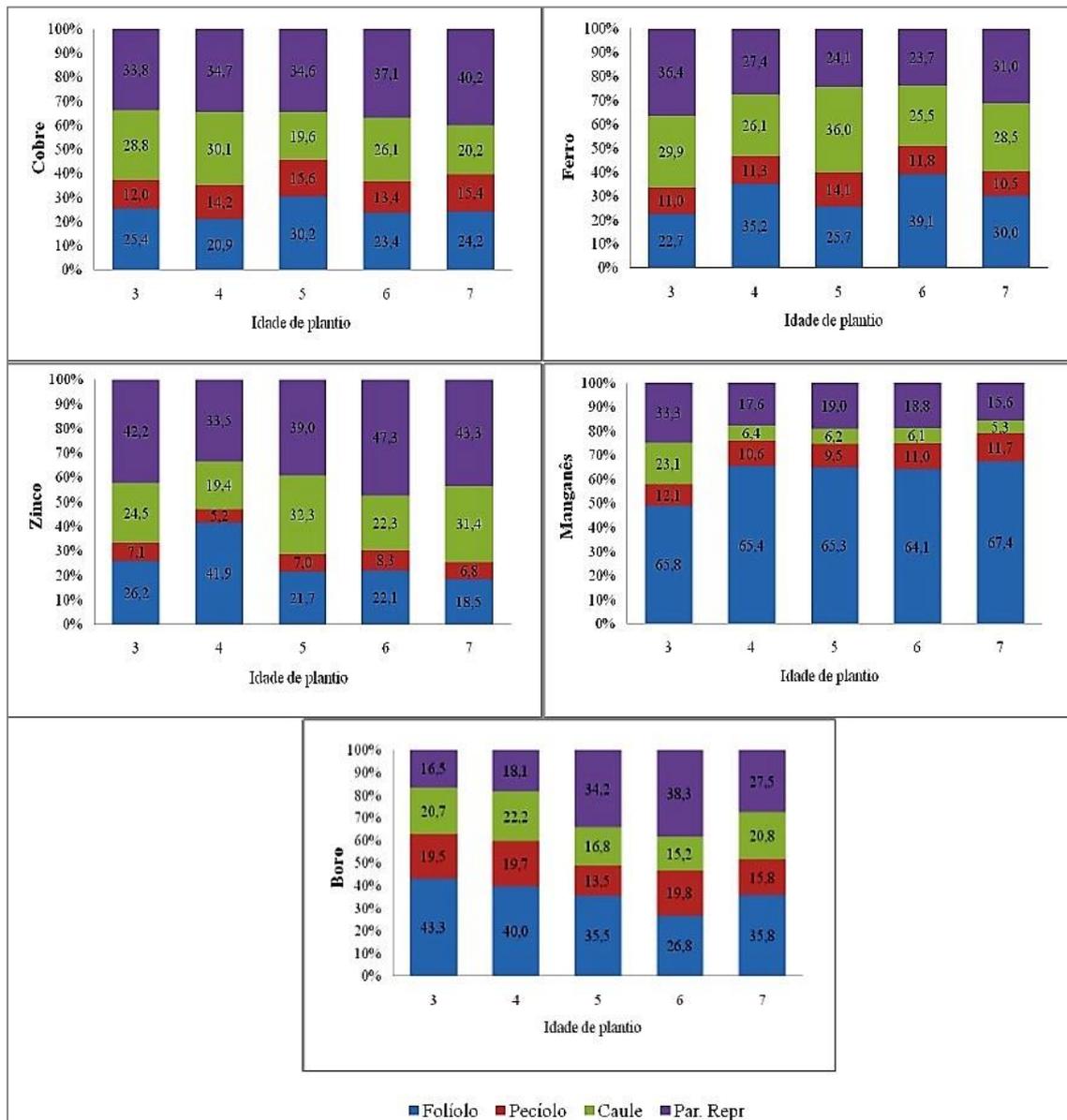
Idade (anos)	Parte da planta	Micronutrientes (mg Kg <sup>-1</sup> )				
		Cu	Fe	Zn	Mn	B
3	Folíolo	4,55	115,28	20,49	161,21	34,89
	Pecíolo	2,15	56,05	5,59	26,05	15,71
	Estipe	5,15	151,84	19,17	19,21	16,72
	Par. Repr	6,05	184,99	33,08	38,45	13,34
4	Folíolo	4,38	150,68	45,75	178,95	27,03
	Pecíolo	2,98	48,33	5,65	29,03	13,33
	Estipe	6,29	111,77	21,16	17,51	15,02
	Par. Repr	7,25	117,13	36,59	48,13	12,28
5	Folíolo	6,75	97,75	18,50	139,00	13,75
	Pecíolo	3,50	53,75	6,00	20,25	5,25
	Estipe	4,38	137,00	27,50	13,25	6,50
	Par. Repr	7,75	91,75	33,25	40,50	13,25
6	Folíolo	5,25	227,00	18,00	116,75	10,50
	Pecíolo	3,00	68,50	6,75	20,00	7,75
	Estipe	5,86	147,88	18,20	11,14	5,96
	Par. Repr	8,33	137,50	38,50	34,25	15,00
7	Folíolo	5,50	159,25	15,00	141,50	13,00
	Pecíolo	3,50	55,75	5,50	24,50	5,75
	Estipe	4,60	151,26	25,38	11,14	7,57
	Par. Repr	9,13	164,50	35,00	32,75	10,00

Onde: Part. Repr = Parte Reprodutiva; Cobre (Cu); Ferro (Fe); Zinco (Zn); Manganês (Mn) e Boro (B).

A distribuição dos micronutrientes nas porções da planta da palma-de-óleo, em plantios com 3; 4; 5; 6 e 7 anos de idade, estão ilustrados na figura 3. Observa-se de modo geral que a idade de plantio não promoveu grandes alterações na distribuição dos nutrientes acumulados na planta de palma-de-óleo.

Os micronutrientes seguiram a mesma dinâmica de distribuição que os macronutrientes, sendo o folíolo, a parte reprodutiva e o estipe as porções da planta que apresentaram maior acúmulo de micronutrientes do total acumulado na planta, onde os folíolos foram responsáveis por concentrar em média 65% (Mn), 36% (B), 30% (Fe), 26% (Zn) e 24%, enquanto a parte reprodutiva concentrou 41% (Zn), 36% (Cu), 28% (Fe), 27% (B) e 21% (Mn), seguido do estipe

da planta com 29% (Fe), 26% (Zn), 25% (Cu), 19% (B) e 9% (Mn) do total acumulado na planta.

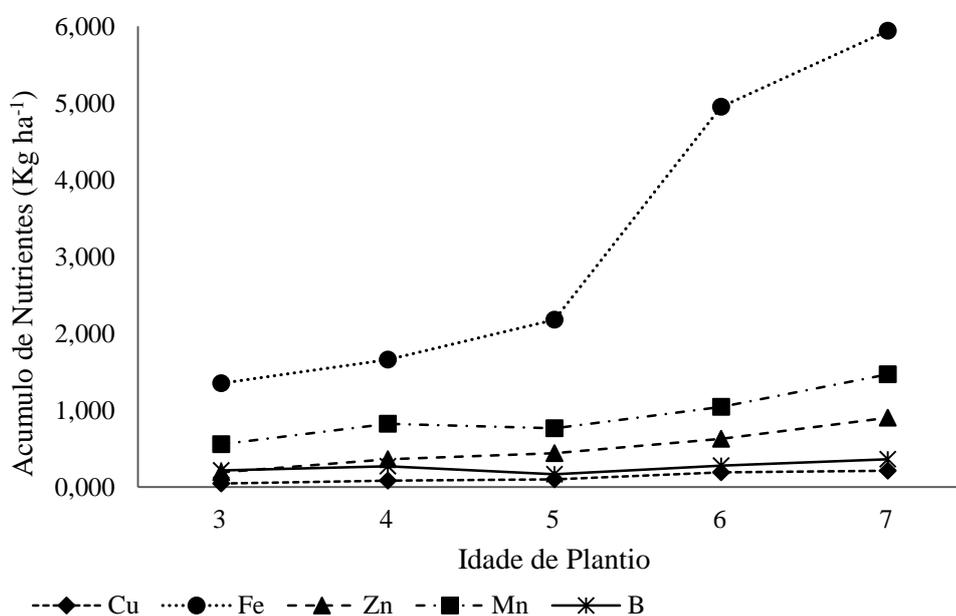


**Figura 3** - Percentuais da distribuição dos micronutrientes em diferentes porções da planta de palma-de-óleo em plantios com 3, 4, 5, 6 e 7 anos de idade, no município de Mojú – PA, 2015 e 2016.

Na figura 4, está ilustrado a dinâmica do estoque anual dos micronutrientes Cu, Fe, Zn, Mn e B nos plantios de palma-de-óleo com 3;4;5;6 e 7 anos de idade. Observa-se que os micronutrientes apresentam uma dinâmica crescente conforme o envelhecimento do plantio, isso atrela-se ao processo gradual no acúmulo da biomassa das plantas decorrente do seu crescimento progressivo.

O estoque dos micronutrientes apresentou um rápido incremento anual, onde o Fe se destaca perante aos demais, devido seu elevado teor nos compartimentos da planta, chegando a estocar 5,9 kg ha<sup>-1</sup> de Ferro em plantios com 7 anos de idade. Assim os conteúdos totais de micronutrientes estocados na parte aérea anualmente, segue a ordem de Fe > Mn > Zn > B > Cu, para os plantios de palma-de-óleo de 3 a 7 anos de idade.

Segundo Viegas (1993), em trabalho realizado com plantações de palma-de-óleo de 2 a 8 anos de idade, na região de Tailândia no estado do Pará, constatou que o Fe é o micronutriente extraído em maior quantidade de 0,505; 1,34; 2,31; 7,28 e 7,86 kg ha<sup>-1</sup> para plantas com 3; 4; 5; 6 e 7 anos de idade respectivamente, seguindo a ordem de extração Fe>Mn>Zn>B>Cu.



**Figura 4** – Estoque de micronutrientes da parte aérea das plantas de palma-de-óleo, em plantios de de 3, 4, 5, 6 e 7 anos de idade, Mojú – PA, 2015 e 2016. Onde: Cobre (Cu); Ferro (Fe); Zinco (Zn); Manganês (Mn) e Boro (B).

### 3.3 Análise de nutrientes da Serapilheira encontrada em plantios de Palma-de-óleo.

A avaliação da serapilheira acumulada sobre o solo pode ser um indicador da capacidade que o sistema de cultivo de palma-de-óleo tem de repor os nutrientes exportados pelas colheitas, além de poder ser considerado como reservatório de nutrientes para manutenção da produtividade.

Na figura 5, estão representados os teores dos macronutrientes, encontrados na serapilheira em sistema de cultivo de palma-de-óleo com 3, 4, 5, 6 e 7 anos de idade. Pode-se observar que os maiores teores correspondem ao nitrogênio (N), variando de 20,09 a 17,36 g kg<sup>-1</sup> de biomassa seca, para os 5 anos de plantio estudados.

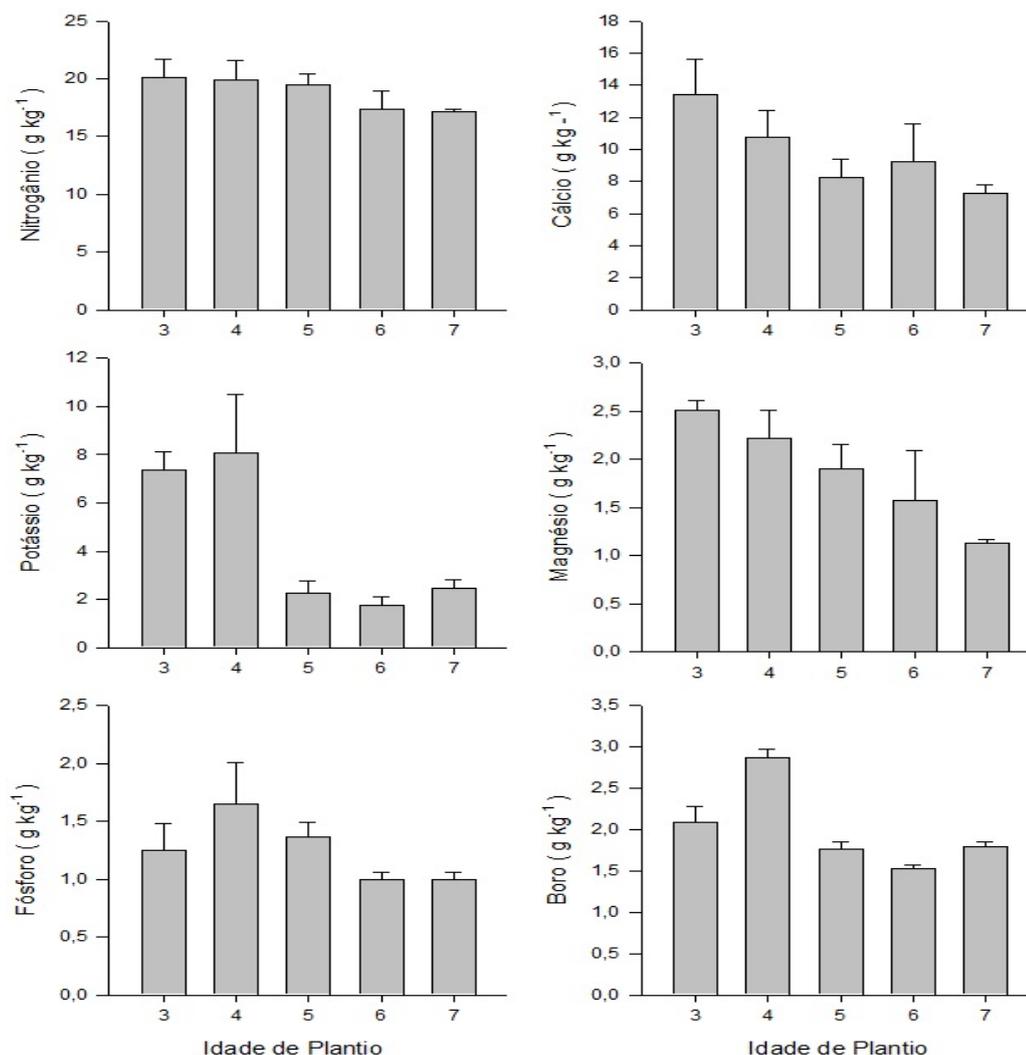
A serapilheira dos plantios de 3 e 4 anos de idade, apresentaram as maiores concentrações de macronutrientes, em especial o potássio (K) que chegou a apresentar valores significativamente mais elevados, em média 66% em relação aos demais macronutrientes.

De modo geral, N, Ca e K foram os elementos que apresentaram maiores teores e o P destacou-se por apresentar os menores valores entre os demais. Observa-se que esses teores da serapilheira são semelhantes aos encontrados nas folhas da palma-de-óleo (Tabela 3).

Esses teores também podem estar correlacionados com a prática cultural da poda das folhas, que se inicia no estágio reprodutivo da cultura, por volta do terceiro ano de plantio. Onde as folhas eliminadas são dispostas na linha de plantio contribuindo assim com o aumento do acúmulo da serapilheira sobre o solo.

Outra possibilidade quanto às concentrações de nutrientes é a prática de manejo adotado no primeiro ano de plantio da palma-de-óleo, que consiste no plantio da leguminosa *Pueraria phasealoides*, esta por sua vez contribuiu diretamente na formação da serapilheira, porém observou-se menor vestígio da leguminosa nos plantios de 5, 6 e 7 anos de idade em relação aos de 3 e 4 anos.

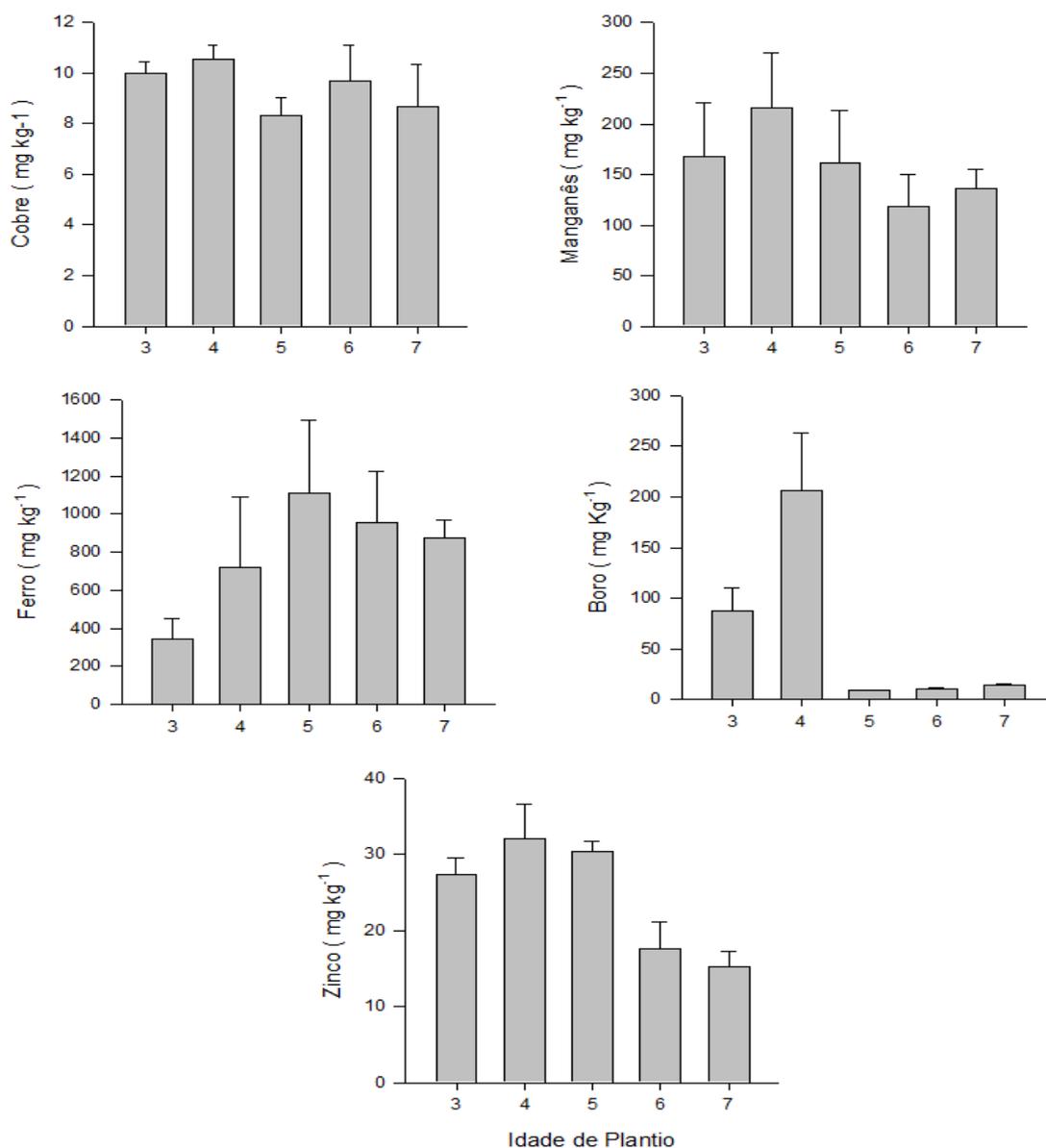
Paula et al., (2015), estudando diferentes espécies de leguminosas utilizadas como cobertura verde, observaram teores de 29,50 g kg<sup>-1</sup> de nitrogênio, 13,33 g kg<sup>-1</sup> de cálcio, 3,82 g kg<sup>-1</sup> de magnésio, 1,44 g kg<sup>-1</sup> de fósforo e 12,62 g kg<sup>-1</sup> de potássio para a leguminosa *Pueraria phasealoides*, valores esses que podem ter contribuído nos teores de macronutrientes encontrados na serapilheira desse estudo.



**Figura 5** - Teores de macronutrientes na serapilheira em plantios de Palma-de-óleo com 3; 4, 5, 6 e 7 anos de idade, Mojú – PA, 2015 e 2016. Valores médios  $\pm$  erro padrão (n=4).

Quantos aos teores de micronutrientes encontrados na serapilheira de plantios de palma-de-óleo (Figura 6), observa-se que o Ferro (Fe) e do Manganês (Mn) foram responsáveis pelos maiores teores para todos os anos de cultivo estudados, já o Cobre (Cu) foi o elemento que apresentou menor teor entre os micronutrientes na serapilheira.

Como relatado anteriormente a serapilheira dos cultivos de palma-de-óleo apresentaram compartimentos originários da leguminosa *Pueraria phaseoloides*, como de plantas espontâneas, as quais podem ter contribuído nos teores de Cu e Fe, os quais apresentam valores maiores aos encontrados nas folhas de palma-de-óleo nesse estudo.



**Figura 6** - Teores de Micronutrientes na serapilheira de plantios de Palma-de-óleo com 3; 4, 5, 6 e 7 anos de idade, Mojú – PA, 2015 e 2016.

Valores médios ± erro padrão (n=4).

O acúmulo da biomassa da serapilheira encontrada nos plantios de palma-de-óleo foi de ordem de (8,3 Mg ha<sup>-1</sup>), (7,3 Mg ha<sup>-1</sup>), (6,3 Mg ha<sup>-1</sup>), (6,4 Mg ha<sup>-1</sup>) para os plantios de 3, 4, 5, 6, 7 anos de idade (Tabela 5), onde observa-se uma redução no acúmulo da serapilheira com o aumento da idade de plantio, chegando até 3,2 Mg ha<sup>-1</sup> de diferença dos plantios de 7 anos de idade em relação aos plantios de 3 anos. Essa redução da serapilheira em função da idade de plantio, está relacionada a menor presença da leguminosa e das plantas espontâneas, as quais são afetadas pelo aumento do sombreamento provocado pela palma-de óleo.

Esses valores estão próximos aos relatados na literatura para formações florestais da Mata Atlântica segundo Cunha Neto et al. (2013), 8,65 Mg ha<sup>-1</sup> e Sperandio et al. (2012), 5,6 Mg ha<sup>-1</sup>, porém os encontrados nesse estudo são relativamente superiores aos encontrados por Diniz (2015) em seringueira de 2 Mg ha<sup>-1</sup> e em pastagem de 3,4 Mg ha<sup>-1</sup>.

O compartimento formado pela serapilheira e pelo solo é o sítio de todas as etapas da decomposição da matéria orgânica e da ciclagem de nutrientes. A serapilheira é a porção mais dinâmica desse conjunto e, possivelmente, a mais variável, não só entre ecossistemas, mas dentro de um mesmo ecossistema (RODRIGUES et al., 1999).

**Tabela 5** – Acúmulo de biomassa seca (BS) e de nutrientes, na serapilheira em plantios de Palma-de-óleo com 3; 4, 5, 6 e 7 anos de idade, Mojú – PA, 2015 e 2016.

Idade (anos)	BS Mg há- 1	---Macronutrientes /Kg ha <sup>-1</sup> ---						----Micronutrientes (g ha <sup>-1</sup> ) ----				
		N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Fe	Zn	Mn	B
3	8,3	166, 8	10,4	61,1	111, 4	20,8	17,4	82,9	2843, 2	226, 9	1394, 4	725,6
4	7,3	145, 5	12,0	58,8	78,5	16,2	20,9	77,0	5247, 7	234, 1	1571, 0	1501, 2
5	6,3	122, 4	8,6	14,3	51,9	12,0	11,1	52,5	7003, 5	191, 1	1020, 6	58,8
6	6,4	111, 1	6,4	11,1	59,1	10,0	9,8	61,9	6116, 3	113, 1	755,2	64,0
7	5,1	87,6	5,1	12,6	36,9	5,8	9,2	44,2	4457, 4	78,2	697,0	74,8

Onde: Nitrogênio (N), Fósforo (P), Potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), Enxofre (S), Cobre (Cu), Ferro (Fe) Manganês (Mn) e Boro (B).

De acordo com a tabela 5, de um modo geral, o N foi o nutriente que apresentou maior conteúdo por hectare, seguido do Ca>K>Mg>S>P para os macronutrientes e o Fe foi o maior, seguido do Mn>Zn>B>Cu para os micronutrientes na biomassa da serapilheira. Esses resultados podem ser explicados pelo maior teor de N encontrados na biomassa da serapilheira (Figura 5). Em trabalho desenvolvido por Cunha et al. (2005), os conteúdos de N e Ca na serapilheira coletada em plantios de eucalipto (96 meses de idade; 18 e 60 meses após a rebrota) apresentaram pouca variação (1,0 a 1,2%).

As áreas de estudo apresentaram decréscimo no acúmulo de nutrientes, com o aumento da idade do plantio, isso está relacionado a progressiva queda no acúmulo da biomassa conforme a maior idade dos plantios. Porém o acúmulo do micronutriente Fe por área, não acompanhou a tendência do estoque de biomassa da serapilheira como os demais nutrientes, apresentando maior acúmulo no plantio com 5 anos (7003 g ha<sup>-1</sup>), 6 anos (6116 g ha<sup>-1</sup>), 4 anos (5247 g ha<sup>-1</sup>), 7 anos (4457 g ha<sup>-1</sup>) e por último o plantio com 3 anos de idade com 2843 g ha<sup>-1</sup>.

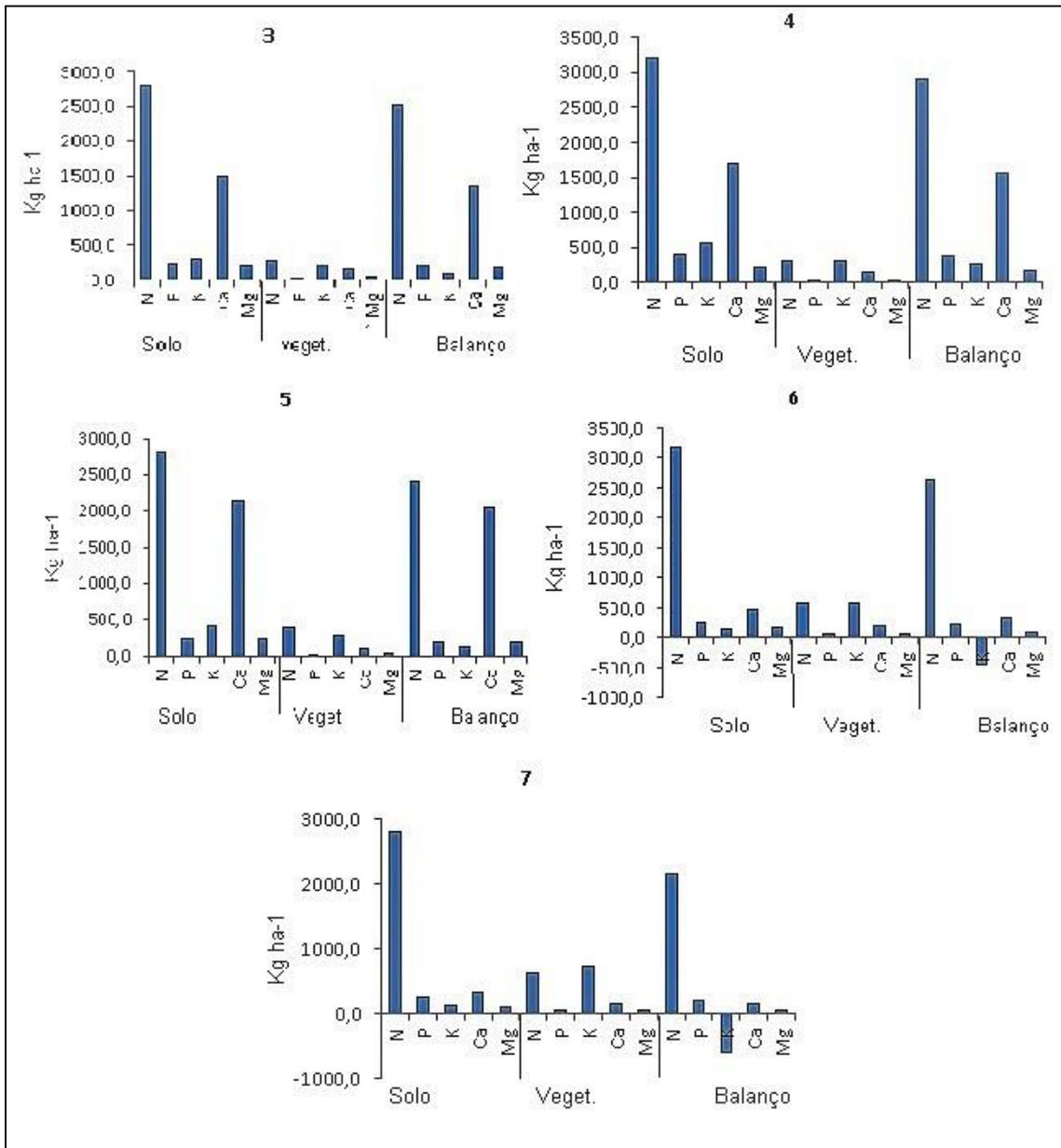
Esse diferente comportamento do acúmulo do Fe na área de estudo está relacionado ao teor desse nutriente na serapilheira, sendo que no plantio de 5 anos que apresentou o maior acúmulo o teor médio de Fe chegou a  $111,16 \text{ g kg}^{-1}$ , seguido do sexto ano com  $95,57 \text{ g kg}^{-1}$  e o menor teor foi no plantio com 3 anos com  $34,25 \text{ g kg}^{-1}$  (Figura 6).

#### *3.4 - Balanço de nutrientes no sistema solo - planta*

Para o balanço de nutrientes no sistema solo-planta, em plantios de palma-de-óleo com 3, 4, 5, 6 e 7 anos de idade, foram realizados apenas para os macronutrientes nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio, os quais estão representados na figura 7.

O balanço de nutrientes do sistema indica as quantidades de nutrientes existentes no solo que são suficientes para fornecer às plantas, em um próximo ciclo de crescimento. O emprego desse método, possibilitaria a racionalização da fertilização nas rotações futuras.

O sistema estudado indica que o balanço de nutrientes apresentou distinção entre os anos de cultivo (Figura 7). Contudo, nota-se menores quantidades de nutrientes no solo para os plantios de 6 e 7 anos de idade, provavelmente em decorrência da maior produção de frutos e de biomassa, porém apresentaram saldo positivo para os nutrientes N, P, Ca e Mg exceto para o K que apresentou balanço negativo de 455 e 580  $\text{kg ha}^{-1}$  para o plantio de 6 e 7 anos, respectivamente, indicando insuficiência desse nutriente no solo.



**Figura 7** - Nutriente no solo (camada de 0-40 cm) e na vegetação (parte aérea + serapilheira), em valores absolutos e balanço nutricional em plantios de Palma-de-óleo com 3; 4, 5, 6 e 7 anos de idade, Mojú – PA, 2015 e 2016.

A cultura da palma-de-óleo tem grande exigência pelo K, sendo esse elemento um dos mais exportado, com exigência por planta em torno de  $250 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , além da sua grande eficiência de absorção de 50% (VIÉGAS, 1993). Isso pode estar relacionado ao balanço negativo de K nos plantios de 6 e 7 anos. Bem como os maiores teores de K encontrados na parte reprodutiva da planta (Tabela 3), indicando que cultivos com maior produtividade a demanda por K é maior.

Esse cenário resultou em saldo positivo nos plantios de 3, 4 e 5 anos de idade para todos os nutrientes, sendo o N e o Ca os de maior saldo. O Nitrogênio foi único nutriente que manteve

seu saldo positivo elevado em todos os anos de plantios estudados. Confirmando a tese de que o balanço final, para a maioria dos nutrientes, é positivo. Isso permite a afirmativa de que os plantios de palma-de-óleo de 3 a 7 anos, quando bem manejados, não exaurem o solo, podendo beneficia-lo.

A palma-de-óleo tem alta demanda de nutrientes devido ao seu rápido crescimento anual, especialmente nos primeiros anos do seu ciclo total de crescimento (25 anos), e aos altos rendimentos anuais que se obtém depois que se inicia a produção a partir do terceiro ano de idade (KEE E GOH, 2006). Os nutrientes que são removidos continuamente pela colheita de frutos ou imobilizados na biomassa vegetativa precisam ser supridos pelas reservas de nutrientes do solo ou pela adubação.

Segundo Tinker (2003), existem três fontes de demanda de nutrientes da palma-de-óleo. Os nutrientes removidos na colheita de cachos de fruto, os nutrientes reciclados que voltam ao solo nas folhas podadas, inflorescências masculinas e os nutrientes imobilizados na biomassa de palma. Os nutrientes removidos na colheita podem ser supridos pela reciclagem de resíduos da cultura como cachos de frutos vazios, efluentes da fábrica de óleo e pela adição de fertilizantes minerais, para evitar esgotar os estoques de nutrientes do solo. Os nutrientes contidos nas folhas podadas e inflorescências masculinas são devolvidos ao solo quando são removidos da palma e deixados no campo. Além disso, os nutrientes imobilizados no estipe da palma são devolvidos ao solo no replantio da cultura.

#### **4 CONCLUSÃO**

Os solos sob os povoamentos da palma-de-óleo de 3, 4, 5, 6 e 7 anos de idade não se diferenciaram em relação à fertilidade do solo.

O compartimento folíolo apresentou maior teor de nitrogênio e o pecíolo, estipe e a parte reprodutiva o maior teor encontrado foi do nutriente potássio para todos os anos de plantio.

Para os micronutrientes o Ferro foi o que apresentou maior teor em todos os compartimentos da planta para todos os anos de plantio.

Os plantios de palma-de-óleo se caracterizam com alto acúmulo de serapilheira, na proporção de (8,3 Mg ha<sup>-1</sup>), (7,3 Mg ha<sup>-1</sup>), (6,3 Mg ha<sup>-1</sup>), (6,4 Mg ha<sup>-1</sup>) para os plantios de 3, 4, 5, 6, 7 anos de idade, respectivamente.

Para a serapilheira o Nitrogênio apresentou o maior teor entre os macronutrientes e o Ferro entre os micronutrientes.

O balanço de nutrientes no sistema de cultivo da palma-de-óleo com 3, 4, 5, 6 e 7 anos de idade, apresentou saldo positivo, para o N, P, Ca e Mg, exceto o K que apresentou saldo negativo nos plantios de 6 e 7 anos de idade.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

AREVALO, L.A.; ALEGRE, J.C.; VILCAHUAMAN, L.J.M. Metodologia para estimar o estoque de carbono em diferentes sistemas de uso da terra. Embrapa Florestas. Documentos, 73. Colombo, Paraná. 41p.: il. 2002.

BASTOS, T. X.; MÜLLER, A. A.; PACHECO, N. A.; SAMPAIO, M. N.; ASSAD, E. D; MARQUES, A. F. S. Zoneamento de riscos climáticos para a cultura do dendezeiro no estado do Pará. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Passo Fundo, v.9, n.3, (Nº Especial: Zoneamento Agrícola), p.564-570, 2001.

BEHERA, S.K.; RAO, B.N.; SURESH, K.; MANOJA, K. Soil nutrient status and leaf nutrient norms in oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) plantations grown on Southern Plateau of India. Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: **Biological Sciences**, v.86, p.691-697, 2016.

CORREIA, M. E .F; ANDRADE, A.G. Formação de serapilheira e ciclagem de nutrientes. In: SANTOS, G.A.; SILVA, L.S.; CANELLAS, L.P.; CAMARGO, F.A.O. (Ed.) Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais & subtropicais. 2. ed. rev. e atual. – Porto Alegre: Metropole., cap. 10, p.137-158, 2008.

CUNHA NETO, F. V.; LELES, P. S. S.; PEREIRA, M. G.; BELLUMATH, V. G. H.; ALONSO, J. M. Acúmulo e decomposição da serapilheira em quatro formações florestais. **Ciência Florestal**, v. 23, n.3, p.379-387, 2013.

CUNHA, G.M.; GAMA-RODRIGUES, A.C. & COSTA, G.S. Ciclagem de nutrientes em *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden no Norte Fluminense. R. **Árvore**, 29:353-363, 2005.

DINIZ, A. R, Estoque de carbono e atributos edáficos em áreas de plantios de seringueira (*Hevea Brasiliensis* M. Arg.), mata e pastagem no Estado do Rio de Janeiro, Tese (doutorado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Curso de Pós-Graduação em Agronomia – Ciência do Solo, 2015.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. 2.ed. Rio de Janeiro, 2011. 212p. 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, 15 pp., 2013.

GOMES Jr., R. Bases técnicas para a cultura do dendê de óleo integrado na unidade produtiva da agricultura familiar. Embrapa Amazônia Oriental, Documentos, 23, Belém, 190 p. 2010.

GUZMÁN, C. P H, Teores referenciais de nutrientes em folhas de dendê (*Elaeis guineensis*. Jacq) para as condições da Amazônia. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa., MG, 2014.

KEE, K.K. and K.J. GOH. Efficient fertilizer management for higher productivity and sustainability in oil palm production. In: Higher Productivity and Efficient Practices for Sustainable Plantation Agriculture (Vol 1), Incorporated Society of planters, Kuala Lumpur, 157-182, 2006.

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

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. de. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. 2.ed. São Paulo: Potafos, 319p. 1997.

MATOS, G. S. B DE; FERNANDES A. R E WADT, P. G. S. Níveis críticos e faixas de suficiência de nutrientes derivados de métodos de avaliação do estado nutricional da palma-de-óleo, Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.51, n.9, p.1557-1567, 2016.

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

PAULA, P. D.; CAMPELLO, E F C.; GUERRA, J. G. M.; SANTOS, G.A., RESENDE, A. S., Decomposição Das Podas Das Leguminosas Arbóreas *Gliricidia Sepium* E *Acacia Angustissima* em um Sistema Agroflorestal, Ciência Florestal, Santa Maria, v. 25, n. 3, p. 791-800, jul. -Set., 2015.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (Ed.). Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5. Aproximação. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999.

RODRIGUES, A. C. G; BARROS, N. F. MENDONÇA, E. S. Alterações edáficas sob plantios puros e misto de espécies florestais nativas do sudeste da Bahia, Brasil. R. bras.Ci. Solo, 23: 581-592. 1999.

RONQUIM, C.C. Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento) Embrapa Monitoramento por Satélite, Campinas, 26p., 2010.

SANTANA, R.C.; BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F.; LEITE, H.G. & COMERFORD, N.B. Alocação de nutrientes em plantios de eucalipto no Brasil. R. Bras. Ci. Solo, 32:2723-2733, 2008.

SILVA, I.R. e MENDOÇA, E.S. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B. & NEVES, J.C.L., eds. Fertilidade do solo. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.275-374.

SOUZA, D. M. G.; LOBATO, E. Cerrado: correção do solo e adubação. 2 ed. Brasília: Embrapa Cerrados, 416 p, 2004.

SPERANDIO, H. V.; CECÍLIO, R. A.; SILVA, V. H.; LEAL, G. F.; BRINATE, I. B.; CALDEIRA, M. V. W. Emprego da Serapilheira Acumulada na Avaliação de Sistemas de Restauração Florestal em Alegre-ES. **Floresta e Ambiente**, v.19, n.4, p.460-467, 2012.

TOMÉ JÚNIOR, J.B. Manual para interpretação de análise de solo. Guaíba, agropecuária, 274p, 1997.

VEIGA, A., SINIMBÚ, S., RAMOS, E. Sistema de Adubação do Dendezeiro por Reposição de Nutrientes Exportados pelo Cacho. DENPASA, Belém, PA, 2001.

VIEGAS, I., BOTELHO, S. “Nutrição e Adubação do Dendezeiro”. In: Viegas, I., Muller, A. (eds), A Cultura do Dendezeiro na Amazônia Brasileira, 1 ed., cap. 11. Belém, Pará, 2000.

VIÉGAS, I.J. Crescimento do dendezeiro (*Elaeis guineensis*, Jacq.), concentração, conteúdo e exportação de nutrientes nas diferentes partes de plantas com 2 a 8 anos de idade, cultivadas em Latossolo Amarelo Distrófico, Tailândia, Pará. 1993. 217p. Tese (Doutorado) ESALQ, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1993.

VILLA LOBOS-VEGA, R.; GOLDSTEIN, G.; HARIDASAN, M.; FRANCO, A.C.; MIRALLES-WILHELM, F.; SCHOLZ, F.G. & BUCCI, S.J. Leaf litter manipulations alter soil physicochemical properties and tree growth in a Neotropical savanna. *Plant Soil*, 346:385-397, 2011.

TINKER, P. B. H, CORLEY, R. H. V., *The Oil Palm* (World Agriculture Series) 4th edition published by Wiley-Blackwell, Hardcover 2003.

ZAIA, F.C. & GAMA-RODRIGUES, A.C. Ciclagem e balanço de nutrientes em povoamentos de eucalipto na região norte fluminense. *R. Bras. Ci. Solo*, 28:843-852, 2004.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

No estudo da resposta das trocas gasosas, em plantas de palma-de-óleo localizadas no município de Mojú, evidenciou que as plantas com seis anos de idade, apresentaram maiores valores para a condutância estomática, transpiração e a eficiência instantânea da carboxilação (EiC) em relação as plantas com 7 anos de idade para as variedades Deli x Ghana e Compacta x Ghana. Nas condições edafoclimáticas da região, a variedade Compacta x Ghana, somado às suas características genéticas, apresentou maior capacidade de realizar fotossíntese quando comparado a variedade Deli x Ghana.

Ficou demonstrado que é possível expressar a biomassa seca total da espécie (*Elaeis guineenses*), de 3 a 7 anos de idade por meio de equações de regressão, utilizando variáveis independentes de fácil obtenção, como o diâmetro a 50 cm (DS), altura (H) e idade (I) das plantas. A média da biomassa da parte aérea para plantas de 3 a 5 anos de idade, foi de 100,85 Kg e para as plantas de 6 e 7 anos de idade de 252,23 Kg. O estipe foi responsável pela alocação de 47% da biomassa total da parte aérea em plantas com 3 a 5 anos e de 57% em plantas de 6 e 7 anos de idade.

O teor de carbono (C) na biomassa das plantas de palma-de-óleo com 3 a 7 anos de idade foi de 55,2%, independente do compartimento da planta. As plantas de 3 anos de idade estocaram 6,7 Mg C ha<sup>-1</sup>, de 4 anos 10,0 Mg C ha<sup>-1</sup>, de 5 anos 13,21 Mg ha<sup>-1</sup>, de 6 anos 22,7 Mg C ha<sup>-1</sup> e as plantas de 7 anos estocaram 28,5 Mg C ha<sup>-1</sup>. O sistema solo + serapilheira + planta de palma-de-óleo até 7 anos de idade estocam 71,16 Mg C ha<sup>-1</sup>.

A sustentabilidade da produtividade de um sistema agrícola é determinada, entre outros fatores, pelo balanço de nutrientes do sistema. Nesse sentido os plantios de palma-de-óleo apresentaram balanço de macronutrientes positivo, para todos os elementos, exceto para o potássio que apresentou saldo negativo nos plantios com 6 e 7 anos de idade. Com o manejo realizado nos plantios de palma-de-óleo em Mojú-PA, pode-se afirmar que não existe exaustão do solo.