

JAQUELINE DO CARMO ALEXANDRE

**ALOCAÇÃO DE CARBONO E DE MACRONUTRIENTES E EFICIÊNCIA
NUTRICIONAL EM CLONES DE PALMA DE ÓLEO NA FASE DE
PRÉ-VIVEIRO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2018

Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa

T

A381a Alexandre, Jaqueline do Carmo, 1985-
2018 Alocação de carbono e de macronutrientes e eficiência
nutricional em clones de palma de óleo em fase de pré-viveiro /
Jaqueline do Carmo Alexandre. – Viçosa, MG, 2018.
ix, 82f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui anexo.

Inclui apêndice.

Orientador: Víctor Hugo Alvarez V..

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 82.

1. Palmeira oleaginosa. 2. Óleos vegetais. 3. Dendezeiro -
Nutrição. 4. Dendezeiro - Melhoramento genético. 5. Clonagem.
6. Raízes (Botânica). 7. Nutrição - Avaliação. I. Universidade
Federal de Viçosa. Departamento de Solos. Programa de
Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas. II. Título.

CDD 22. ed 633.85

JAQUELINE DO CARMO ALEXANDRE

**ALOCAÇÃO DE CARBONO E MACRONUTRIENTES E EFICIÊNCIA
NUTRICIONAL PARA CLONES DE PALMA DE ÓLEO NA FASE DE
PRÉ-VIVEIRO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Aprovada: 03 de maio de 2018.




Júlio César Lima Neves
(Coorientador)



Hermínia Emília Prieto Martínez



Elpídio Inácio Fernandes Filho



Víctor Hugo Álvarez V.
(Orientador)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus e meus pais por me concederem o dom da vida.

Ao Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa e pelas oportunidades de realizar o curso. Ao Prof. Víctor Hugo Alvarez V. pelo incentivo, apoio, confiança e atenção em todos os detalhes do trabalho e principalmente pela paciência em ensinar e receber sempre em sua sala com disposição, atenção e carinho.

Ao Prof. Júlio César Lima Neves pelo exemplo de pessoa e profissional, que me motiva a seguir a carreira acadêmica com paciência, motivação e confiança.

Aos Prof. Elpidio Inácio Fernandes Filho e Hermínia Emília P. Martinez por aceitarem o convite para participarem da banca e pelas contribuições para a melhoria da dissertação. Ao Prof. Sérgio Motoike pela parceria e contribuições em produzir pesquisas com clones de palma de óleo.

A todos os Professores do Departamento de Solos/UFV, pela contribuição para minha formação acadêmica.

Aos funcionários do Departamento de Solos, em especial nas pessoas de Beto, Polyana, Adriana e Helderson pelo convívio e auxílio nas atividades do Laboratório de Solos Florestais.

À Empresa Agropalma e áreas afins que me proporcionaram apoio e atenção nas atividades e implantação do experimento.

Aos funcionários e amigos da empresa Agropalma, em especial a equipe da fitossanidade. Ao Edwin Assunção, Gilson Sanchez Chia e Ricardo Salles Tinoco pela hospitalidade, carinho e dedicação em meus trabalhos.

Aos meus amigos Angélica, Arlindo, Eduardo Medina, Patrícia Matias, Stelio e Silvia pela motivação e auxílio na condução dos estudos, aos amigos do DPS que direta e indiretamente, contribuíram para a conclusão desta pesquisa.

Às amigas e irmãs do coração Cláudia e Lucélia pelo incentivo, amor, companheirismo e compreensão em todos os momentos.

À minha família, em especial meu pai, minha irmã Janaína, Tia Rosa e ao meu amor Diego Lima, pela presença em todos os momentos de minha vida e apoio em minhas decisões, mesmo diante dos obstáculos.

Agradecer ao programa de pós-graduação em Solos e Nutrição de Plantas pela realização profissional e pessoal e a FAPEMIG pela concessão de bolsa de estudos.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	v
LISTA DE QUADROS	vii
RESUMO	viii
ABSTRACT	ix
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO DE LITERATURA	2
2.1 Aspectos gerais	2
2.2 Morfologia da planta	3
2.3 Material genético	6
2.4 Produção de mudas	11
2.5 Nutrição em palma de óleo	13
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	22
3.1 Condução do experimento	22
3.2 Parâmetros	24
3.2.1 Alocação de carbono	24
3.2.2 Alocação de macronutrientes.....	24
3.2.3 Eficiência de absorção	24
3.2.4 Eficiência de utilização de macronutrientes	25
3.3 Demanda e requerimento.....	25
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
4.1 Produção de matéria seca	26
4.2 Alocação de carbono	31
4.3 Alocação de macronutrientes.....	34
4.3.1 Compartmento folha.....	34
4.3.2 Compartmento caule.....	40
4.3.3 Compartmento parte aérea.....	45

4.3.4	Compartimento raiz	50
4.4	Eficiência de aquisição	55
4.5	Eficiência de utilização dos macronutrientes	60
4.5.1	Compartimento parte aérea.....	60
4.5.2	Compartimento raiz	64
4.6	Demanda e requerimento.....	70
5	CONCLUSÕES	73
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS	74
	ANEXO	82

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa de localização do pré-viveiro.....	23
Figura 2 -Boxplot da massa de matéria seca dos diferentes compartimentos vegetais (folha, caule, raiz, parte aérea e total) em função dos materiais genéticos (AM-21, AM-23 e PL-10)28	
Figura 3 - Equações de massa de matéria seca nos diferentes compartimentos (mMS_{Ci}) em função da massa de matéria seca total na planta (mMS_T) do clone AM-21	32
Figura 4 -Equações de massa de matéria seca nos diferentes compartimentos (mMS_{Ci}) em função da massa de matéria seca total na planta (mMS_T) do clone AM-23	33
Figura 5 -Equações de massa de matéria seca nos diferentes compartimentos (mMS_{Ci}) em função da massa de matéria seca total na planta (mMS_T) do clone PL-10.....	33
Figura 6 - Equações do conteúdo de macronutrientes (cMN_F) na folha em função do conteúdo de macronutrientes total na planta (cMN_T) do clone AM-21.....	35
Figura 7 - Equações do conteúdo de macronutrientes (cMN_F) na folha em função do conteúdo de macronutrientes total na planta (cMN_T) do clone AM-23.....	36
Figura 8 - Equações do conteúdo de macronutrientes (cMN_F) na folha em função do conteúdo de macronutrientes total na planta (cMN_T) do clone PL-10	37
Figura 9 - Equações do conteúdo de macronutrientes no caule (cMN_C) em função do conteúdo de macronutrientes total na planta (cMN_T) do clone AM-21.....	41
Figura 10 - Equações do conteúdo de macronutrientes no caule (cMN_C) em função do conteúdo de macronutrientes total na planta (cMN_T) do clone AM-23.....	42
Figura 11 - Equações do conteúdo de macronutrientes no caule (cMN_C) em função do conteúdo de macronutrientes total na planta (cMN_T) do clone PL-10	43
Figura 12 - Equações do conteúdo de macronutrientes na parte aérea (cMN_{PA}) em função do conteúdo de macronutrientes total na planta (cMN_T) do clone AM-21	46
Figura 13 - Equações do conteúdo de macronutrientes na parte aérea (cMN_{PA}) em função do conteúdo de macronutrientes total na planta (cMN_T) do clone AM-23	47
Figura 14 - Equações do conteúdo de macronutrientes na parte aérea (cMN_{PA}) em função do conteúdo de macronutrientes total na planta (cMN_T) do clone PL-10	48
Figura 15 - Equações do conteúdo de macronutrientes na raiz (cMN_R) em função do conteúdo de macronutrientes total (cMN_T) na planta do clone AM-21.....	51
Figura 16 - Equações do conteúdo de macronutrientes na raiz (cMN_R) em função do conteúdo de macronutrientes total (cMN_T) na planta do clone AM-23.....	52

Figura 17 - Equações do conteúdo de macronutrientes na raiz (cMN_R) em função do conteúdo de macronutrientes total (cMN_T) na planta do clone PL-10	53
Figura 18 - Equações do conteúdo total de macronutrientes (cMN_T) em função da massa de matéria seca das raízes do clone (mMS_R) de palma de óleo AM-21	56
Figura 19 - Equações do conteúdo total de macronutrientes (cMN_T) em função da massa de matéria seca das raízes do clone (mMS_R) de palma de óleo AM-23	57
Figura 20 - Equações do conteúdo total de macronutrientes (cMN_T) em função da massa de matéria seca das raízes do clone (mMS_R) de palma de óleo PL-10.....	58
Figura 21 - Equações da massa de matéria seca da parte aérea (mMS_{PA}) em função do conteúdo de macronutrientes na parte aérea (cMN_{PA}) do clone AM-21	61
Figura 22 - Equações da massa de matéria seca da parte aérea (mMS_{PA}) em função do conteúdo de macronutrientes na parte aérea (cMN_{PA}) do clone AM-23	62
Figura 23 - Equações da massa de matéria seca da parte aérea (mMS_{PA}) em função do conteúdo de macronutrientes na parte aérea (cMN_{PA}) do clone PL-10.....	63
Figura 24 - Equações de massa de matéria seca de raiz (mMS_R) em função do conteúdo de macronutriente na raiz (cMN_R) do clone AM-21	65
Figura 25 - Equações de massa de matéria seca de raiz (mMS_R) em função do conteúdo de macronutriente na raiz (cMN_R) do clone AM-23	66
Figura 26 - Equações de massa de matéria seca de raiz (mMS_R) em função do conteúdo de macronutriente na raiz (cMN_R) do clone PL-10.....	67

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Clones elites e seus respectivos progenitores.....	10
Quadro 2-Distribuição de produção de matéria seca em quartis dos três clones de palma de óleo	27
Quadro 3-Totais e médias de produção de matéria seca dos compartimentos de três clones de palma de óleo.....	29
Quadro 4 - Contrastes médios e suas significâncias para produção de matéria seca dos diferentes compartimentos de três clones de palma de óleo.....	30
Quadro 5 - Alocação de carbono nos diferentes compartimentos de três clones de palma de óleo	34
Quadro 6 - Alocação de macronutrientes no compartimento folha e intervalo de confiança de três clones de palma de óleo	38
Quadro 7 - Alocação de macronutrientes no compartimento caule e intervalo de confiança de três clones de palma de óleo	44
Quadro 8 - Alocação de macronutrientes na parte aérea e intervalo de confiança de três clones de palma de óleo	49
Quadro 9 - Alocação de macronutrientes no compartimento raiz e intervalo de confiança de três clones de palma de óleo	54
Quadro 10- Coeficientes das equações do conteúdo de nutrientes total na planta (mg/pla) em função da massa de matéria seca das raízes (g/pla) de três clones de palma de óleo.....	59
Quadro 11- Coeficientes das equações da massa de matéria seca parte aérea (g/pla) em função do conteúdo de nutrientes da parte aérea (mg/pla) de três clones de palma de óleo	64
Quadro 12- Coeficientes das equações da massa de matéria seca da raiz (g/pla) em função do conteúdo de nutrientes da raiz (mg/pla) de três clones de palma de óleo	68
Quadro 13 - Demanda e Requerimento de macronutrientes de mudas superiores de palma de óleo na fase de pré-viveiro.....	71
Quadro 14 - Resumo do Quadro da ANOVA geral das variáveis mMS_F ; mMS_C ; mMS_R ; mMS_PA e mMS_T de três clones de palma de óleo.....	82
Quadro 15- Resumo do Quadro da ANOVA desdobramento das mMS_F ; mMS_C ; mMS_R ; mMS_PA e mMS_T de três clones de palma de óleo.....	82

RESUMO

ALEXANDRE, Jaqueline do Carmo, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, maio de 2018. **Alocação de carbono e macronutrientes e eficiência nutricional em clones de palma de óleo na fase de pré-viveiro.** Orientador: Víctor Hugo Alvarez V. Coorientador: Júlio César Lima Neves.

A produção de mudas e a obtenção de elevados níveis de produtividade da cultura da palma de óleo em harmonia com a racionalização no uso de recursos dependem da eficiência nutricional, que pode variar com o material genético. Neste trabalho, avaliaram-se materiais genéticos da palma de óleo, na fase de pré-viveiro, cujos objetivos foram: i) avaliar a alocação de carbono e de macronutrientes nos diferentes compartimentos da parte aérea e no sistema radicular; ii) avaliar a eficiência nutricional (aquisição e utilização) de clones de palma de óleo quanto aos macronutrientes; iii) estimar a demanda nutricional dos três clones de palma de óleo e o requerimento de nutrientes para a obtenção de mudas com qualidade superior. Para isso foram utilizados três materiais genéticos clonais (AM-21, AM-23 e PL-10), dispostos em delineamento blocos casualizados com quatro repetições; sendo 16 unidades experimentais por clone, totalizando 192 unidades. Cada unidade experimental foi constituída de um saco plástico contendo substrato (60 % de terriço- constituído por solo próximo das florestas, e 40 % de resíduo orgânico industrial - restos vegetais de frutos) com uma plântula clonal. As plântulas foram distribuídas aleatoriamente em canteiros e aclimatadas no pré-viveiro. Ao término do experimento, após 120 d, foram determinados os parâmetros de crescimento da parte aérea e raízes, alocação de carbono e macronutrientes, eficiência de absorção e uso dos macronutrientes. Os materiais genéticos diferem entre si quanto à produção de matéria seca dos compartimentos vegetais e segue a ordem crescente AM-21 < PL-10 < AM-23. De maneira geral os clones não se diferenciaram quanto à alocação de carbono para os componentes da planta, sendo, em média, de: 49,74 % para folhas, 34,00 % para caule e 16,26 % para raízes. Quanto à alocação de macronutrientes nos compartimentos das mudas, as folhas exibiram maiores acúmulos em comparação com o caule e as raízes. Para a eficiência de absorção, o clone AM-21 foi superior a absorção de P enquanto para K, o clone AM-23 foi superior. Para a eficiência de utilização, o PL-10 foi o material genético que mais se destacou, principalmente no compartimento parte aérea, sendo superior a utilização dos nutrientes N, P e S. A estimativa de demanda nutricional para as mudas de qualidade superior foi variável para cada material genético e apresentou diferentes valores de requerimento e demanda para os macronutrientes avaliados. As diferenças entre os três clones identificadas neste trabalho são importantes para os estudos de melhoramento dos "clones elites" assim como para os estudos de recomendação e uso eficiente de nutrientes para palma de óleo nas diferentes fases de plantio.

ABSTRACT

ALEXANDRE, Jaqueline do Carmo, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, May, 2018. **Allocation of carbon and macronutrients and nutritional efficiency in oil palm clones in the pre-nursery phase.** Advisor: Víctor Hugo Alvarez V. Co-Advisor: Júlio César Lima Neves.

The production of seedlings and the achievement of high levels of productivity of the oil palm culture in harmony with the rationalization in the use of resources depend on nutritional efficiency, which can vary with the genetic material. In this work, genetic materials from the oil palm were evaluated, in the pre-nursery phase, whose objectives were: i) to evaluate the allocation of carbon and macronutrients in the different compartments of the shoot and in the root system; ii) to evaluate the nutritional efficiency (acquisition and use) of oil palm clones regarding macronutrients; iii) estimate the nutritional demand of the three oil palm clones and the requirement for nutrients to obtain higher quality seedlings. For this, three clonal genetic materials were used (AM-21, AM-23 and PL-10), arranged in a randomized block design with four replications; 16 experimental units per clone, totaling 192 units. Each experimental unit consisted of a plastic bag containing substrate mix (60% of soil - consisting of soil close to the forests, and 40% of industrial organic waste - vegetable remains of fruits) with a clonal seedling. Seedlings were randomly distributed in beds and acclimated in the pre-nursery. At the end of the experiment, after 120 days, the growth parameters of the shoot and roots, carbon and macronutrient allocation, absorption efficiency and use of macronutrients were determined. Genetic materials differ from each other in terms of dry matter production in plant compartments and follow the increasing order AM-21 < PL-10 < AM-23. In general, the clones did not differ in terms of carbon allocation for plant components, being, on average, 49.74% for leaves, 34.00% for stem and 16.26% for roots. As for the allocation of macronutrients in the seedling compartments, the leaves showed greater accumulations compared to the stem and roots. For absorption efficiency, clone AM-21 was superior for P absorption whereas for K, clone AM-23 was superior. For the efficiency of use, PL-10 was the genetic material that stood out the most, mainly in the shoot compartment, with the use of nutrients N, P and S being higher. The estimate of nutritional demand for higher quality seedlings was variable for each genetic material and presented different requirement and demand values for the evaluated macronutrients. The differences between the three clones identified in this work are important for studies of improvement of "elite clones" as well as for studies of recommendation and efficient use of nutrients for oil palm in the different planting phases.

1 INTRODUÇÃO

A palmeira africana (*Elaeis guineenses* Jacquim) é conhecida mundialmente como palma de óleo, ou dendezeiro, nome popular no Brasil, é uma planta perene da família Areceae (GOMES JUNIOR, 2010), originária da Costa Ocidental da África (Golfo do Guiné). No contexto mundial, os maiores produtores de palma de óleo são Indonésia e Malásia. No Brasil, a cultura foi introduzida no século XVII provavelmente pelos escravos em navios negreiros e as primeiras regiões a realizarem o cultivo da cultura foram Rio de Janeiro e Bahia (BARCELOS *et al.*, 2001).

A palma de óleo é uma monocotiledônea composta por duas fases. A primeira fase é conhecida como fase jovem e ocorre no período do 2º ao 4º ano de idade, sendo que a planta ainda não produz frutos, sendo a prioridade dessa fase o crescimento vegetativo, com destaque para o crescimento radial do estipe. Entretanto, algumas variedades com quatro anos de idade já produzem frutos, porém são pequenos e assim inviabiliza economicamente a colheita (HARTLEY, 1986; OLIVIN, 1986).

Já segunda fase é conhecida como fase adulta, que se inicia a partir do 4º ano podendo durar até trinta anos de idade. Nesta etapa, o crescimento do estipe passa a ser vertical, e o crescimento anual varia com o material genético. Quanto à produção de frutos, do 4º ao 6º de idade, a grande maioria das variedades apresenta produção muito instável, somente a partir do sétimo ano a produção de frutos é estável e maior. A palmeira pode permanecer na fase produtiva até 25 a 30 anos, conforme as condições edafoclimáticas e material genético (HARTLEY, 1986; OLIVIN, 1986; CORLEY& TINKER, 2009).

Dois tipos de óleo podem ser extraídos do fruto da palma de óleo. O óleo de palma (retirado a partir do mesocarpo) e o óleo de palmiste (retirado a partir do endosperma da amêndoa). O óleo de palma também conhecido como óleo bruto, possui coloração alaranjada, e se destaca por ser um dos óleos mais consumidos no mundo, utilizados em diversos setores da indústria, principalmente para a área alimentícia e combustível, como o bicomcombustível. Já o óleo de palmiste apresenta coloração esbranquiçada e, por sua vez é direcionado para área de cosméticos e produtos de limpeza em geral (MELO&OLIVEIRA, 2006; RAMALHO FILHO *et al.*, 2010).

No Brasil a maior produção de óleo ocorre na região Amazônica, isso se deve as condições edafoclimáticas favoráveis e extensas áreas territoriais (FEROLDI *et al.*,2014), sendo que os maiores plantios de palma se concentram na mesorregião do nordeste paraense.

Entretanto, a maioria dos solos desta região são ácidos e de baixa fertilidade, o que compromete o potencial de produtivo de óleo da cultura. A produtividade média brasileira ainda é baixa e não atende à demanda interna do país. Os principais fatores responsáveis pelas flutuações na produtividade da palma de óleo são a nutrição mineral, material genético e a fertilidade do solo(WOITTIEZ *et al.*,2017).

Nos últimos anos a empresa Agropalma S.A tem investido principalmente em pesquisas em avaliação da fertilidade dos solos, nutrição mineral de plantas, melhoramento e produção de clones, dentre outros. Com a finalidade de explorar o potencial produtivo das variedades assim como promover o uso eficiente de fertilizantes, já que a compra destes insumos corresponde a 30 a 40 % do custo de produção (Agrocom,1995).

Por isso, estudos relacionados às exigências nutricionais da cultura, assim como a avaliação de materiais genéticos com maior eficiência nutricional, são oportunos e necessários para mostrar lacunas e a falta de informações satisfatórias nos programas de correção e fertilização do solo para a cultura.

Assim os objetivos deste trabalho foram: i) avaliar a partição de carbono e de macronutrientes nos diferentes compartimentos da parte aérea e no sistema radicular; ii) avaliar a eficiência nutricional (aquisição e utilização) de clones de palma de óleo quanto aos macronutrientes; iii) estimar a demanda nutricional e o requerimento de nutrientes para obtenção de mudas de qualidade superior.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Aspectos gerais

A palma de óleo conhecida como dendezeiro (*Elaeis guineenses* Jacquin) é cultivada há mais de 5.000 anos,é originária da costa ocidental da África.A espécie foi introduzida no Brasil no século XVII, vindo junto com os escravos nos navios negreiros.

No contexto mundial, a indonésia é o maior produtor de palma (USDA, 2018), seguido da Malásia e da Nigéria (MELO & OLIVEIRA, 2006). Já o Brasil ocupa a 9º posição como produtor mundial da palma de óleo (USDA, 2011), sendo o estado do Pará o principal produtor, responsável por aproximadamente 70% da produção nacional, seguido pela Bahia e Amapá (MELO& OLIVEIRA, 2006; YUI& YEH, 2013). No Pará a cultura da palma tem ocupado, principalmente antigas áreas de pastagem que se encontravam degradadas (RAMALHO FILHO *et al.*, 2010).

A região Amazônica apresenta características edafoclimáticas favoráveis para o cultivo da palma de óleo, além possuir grandes áreas aptas para a expansão do cultivo (YUI & YEH, 2013), promovendo impactos econômicos, sociais e ambientais. Como uma cultura perene, o cultivo da palma de óleo apresenta diversos impactos ambientais positivos, como a proteção do solo à erosão; contribui para o sequestro do dióxido de carbono atmosférico e constitui uma opção de reflorestamento.

Dentre os impactos sociais e econômicos a implantação da cultura da palma possibilita, por exemplo, a ocupação de mão de obra local, que ao longo prazo permite a fixação das famílias agricultoras no campo (RAMALHO FILHO *et al.*, 2010), contribuindo para resgatar a sustentabilidade econômica e social da agricultura familiar.

As propostas de uma exploração mais sustentável levam em consideração que a ampliação dos cultivos deve ocupar áreas de solos degradados, utilizar práticas de manejo dos solos com revolvimento mínimo, buscar o manejo integrado de pragas e doenças, a reutilização de resíduos, a seleção de variedades mais indicadas para a região e produção de mudas de qualidade.

2.2 Morfologia da planta

Raízes

A palma de óleo é uma monocotiledônea a qual pertence à família Arecacea (RAMALHO FILHO *et al.*, 2010). O sistema radicular é do tipo fasciculado típico do grupo, não possuindo raiz pivotante. A maior parte das raízes é encontrada na faixa entre 20 e 60 cm de profundidade, próximo à planta (FERWERDA, 1975). As raízes podem ser primárias, secundárias, terciárias e quaternárias (GOMES JUNIOR, 2010).

As raízes podem ser classificadas como primárias, secundárias, terciárias e quaternárias (GOMES JUNIOR, 2010).

As raízes primárias e secundárias são lignificadas e possuem baixa capacidade de absorver nutrientes, tendo principalmente a função de fixação e transporte de seiva. Enquanto as raízes terciárias possuem de 20 a 30 % da superfície das raízes lignificada. E as raízes quaternárias não são lignificadas e são as responsáveis pela absorção de água e nutrientes para as plantas (GOMES JUNIOR, 2010).

Meristema apical e estipe

O caule da palma de óleo é conhecido como estipe, caracterizado como uma coluna ereta sem ramificações e que apresenta em sua parte superior um aglomerado de folhas. Na fase de pré-viveiro o caule das mudas é conhecido como colete e seu crescimento é somente vertical. Já na fase adulta além do crescimento vertical que fornece sustentação para as folhas na copa, também ocorre o crescimento radial, ou seja, o engrossamento do estipe (diâmetro do tronco) (KEE *et al.*, 2003).

A palmeira cresce radialmente por até 3 anos e meio; e, após este período, ela cresce apenas verticalmente. O crescimento médio vertical é de 48 cm/ano em variedades da *Elaeis guineensis* e de 15 a 20 cm/ano no híbrido interespecífico (GOMES JUNIOR, 2010; RAMALHO FILHO *et al.*, 2010).

Considerando que o crescimento radial ocorre a partir do 3º ano de plantio, é importante promover o melhor desenvolvimento possível das plantas, pois o perímetro radial está diretamente ligado à quantidade de lenho e de elementos de vasos do xilema que por seguinte estarão ligados ao transporte de seiva para a parte aérea, além de prover uma melhor sustentação mecânica para a planta (GOMES JUNIOR, 2010). Este crescimento é influenciado por diversos fatores genéticos e edafoclimáticos. O estresse hídrico e nutricional, por exemplo, pode reduzir o crescimento horizontal das plantas e com isso reduzir o potencial produtivo das plantas na idade adulta. Já incremento em altura é uma característica importante para a palma de óleo e varia entre os descendentes e o material genético. Este crescimento resulta em uma melhor interceptação de luz para as plantas adultas, podendo também promover a concorrência por luz, devido ao estreito espaçamento entre plantas. Além disso, o incremento em altura pode reduzir o período de vida e potencial produtivo da palmeira (GOMES JUNIOR, 2010; RAMALHO FILHO *et al.*, 2010).

Folhas

Na parte superior da planta está a coroa, local onde as folhas são emitidas. As folhas da palma de óleo são grandes podendo ter um comprimento de 5 a 8 m. A folha é dividida em folíolos, ráquis e pecíolo (GOMES JUNIOR, 2010). Os folíolos em número de 200 a 350 são dispostos em ambos os lados da ráquis. Os folíolos medianos podem chegar a medir 1,20 m de comprimento por 5 a 6 cm de largura, quando comparados aos demais são considerados os maiores. A ráquis é a continuação da haste do pecíolo, chega a medir 3,5 a 6,5 m de comprimento, não possui espinhos e possui aproximadamente seção quadrilátera, diferente do

pecíolo, o qual apresenta seção aproximadamente triangular, além de possuir espinhos em suas laterais. O pecíolo fica aderido ao estipe e mede 1,5 m de comprimento (MULLER & ANDRADE, 2010).

A palma de óleo apresenta uma característica fisiológica peculiar, as folhas são derivadas de um meristema em ângulos padrões (180°) responsáveis pela sua emissão (GOMES JUNIOR, 2010). A disposição das folhas em relação ao eixo vertical é denominada filotaxia, e sua forma é em espiral. A palma de óleo apresenta dois espirais, o primeiro composto por oito folhas em uma direção e o segundo composto por 13 folhas em direção oposta.

A numeração das folhas na palma de óleo ocorre do centro para a periferia da coroa foliar, assim a primeira folha corresponde aquela em que os folíolos estão recentemente abertos. A folha seguinte, na próxima espiral é a folha número 9 e a seguinte folha 17. O conhecimento da numeração é importante para amostragem fitossanitária e nutricional, essenciais na avaliação nutricional da cultura (MULLER & ANDRADE, 2010).

As folhas possuem um ciclo de vida de 4,5 anos. A fase juvenil inicia com a emissão da folha a partir da gema apical, e é onde a planta apresenta uma maior emissão de folhas do que em comparação com outros períodos de sua vida.

O próximo período é de alongamento rápido, momento em que é desenvolvida a folha flecha. Essa folha fecha se abre rapidamente, se não houver estresse hídrico.

O período funcional fotossintético, cuja folha possui uma assimilação líquida de carbono positiva é de dois anos (GOMES JUNIOR, 2010). Agronomicamente o ideal é que o palma de óleo na fase adulta possua cerca de 40 folhas, sendo que número deve ser limitado por podas esporádicas (GOMES JUNIOR, 2010)

Inflorescência

A palma de óleo é uma planta monóica, possui flores masculinas e femininas em inflorescências separadas na mesma palmeira, em ciclos sexuais alternados (GOH; WONG; NG, 2016; RAMALHO FILHO *et al.*, 2010). As flores são bissexuais, nas flores masculinas os estigmas são suprimidos, enquanto nas femininas os estames são subdesenvolvidos (GOH; WONG; NG, 2016). Por ser uma planta com ciclo sexual alternado, o florescimento ocorre em períodos diferentes; assim, a reprodução da palma de óleo ocorre por meio da polinização cruzada, o que proporciona uma maior variabilidade genética (CONCEIÇÃO & MÜLLER, 2000; CORLEY & TINKER, 2003; CUNHA *et al.*, 2007).

As inflorescências são formadas por uma espádice com uma raque central de 30 a 45 cm de comprimento, com espiguetas dispostas em espiral; as quais são revestidas por uma espata interna e outra externa. O fenômeno de floração na palma se inicia pelas espiguetas da base para o ápice (CONCEIÇÃO & MÜLLER, 2000; BEIRNAERT, 1935; ADAM *et al.*, 2007; CUNHA *et al.*, 2007).

Semente

A semente da palma de óleo é formada pelo endocarpo e uma amêndoa (endosperma). As sementes possuem três poros germinativos, o ovário é tricarpelar. A amêndoa apresenta uma forma ovóide; e é composta por um tegumento amarelado que se torna negro quando seco. O óleo de amêndoa ou de palmiste é extraído do albúmen, que é formado por uma cartilagem oleosa (RAMALHO FILHO *et al.*, 2010).

O embrião da semente mede de 4 a 5 mm de comprimento, e está localizado em uma pequena cavidade do endosperma. O embrião fica abaixo do poro germinativo (RAMALHO FILHO *et al.*, 2010).

2.3 Material genético

Aspectos gerais

A escolha do material genético para implantação do palmar constitui um dos investimentos mais criteriosos, pois, já a expectativa de exploração dos plantios comerciais é de pelo menos de 25 anos. Assim, empresas produtoras de óleo procuram materiais genéticos diferenciados e com maior produtividade, já que serão os responsáveis pela qualidade do palmar (CUNHA *et al.*, 2010).

Por se tratar de um alto investimento o cuidado na escolha das variedades a serem compradas é primordial, levando em consideração a compatibilidade do material genético com as condições edafoclimáticas do local de plantio, que garante níveis de produtividades que oferecem rentabilidade adequada e compense o investimento realizado. Recomenda-se ainda o uso de variedades de diferentes origens para evitar o ataque em massa de pragas e doenças. A variabilidade genética também é importante para o processamento de cachos, ou seja, variedades com diferentes picos de produção ao longo do ano permitem que a produção mensal seja mais regular e a colheita de cachos seja planejada de acordo com a produção de cada variedade (CUNHA *et al.*, 2010).

Além disso, os materiais genéticos devem ser originados de programas de melhoramento idôneos e que tenham sua formalização como variedade no registro de cultivares do MAPA (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento) (CUNHA *et al.*, 2010). O investimento em melhoramento genético para produção de variedades de palma de óleo iniciou-se no Brasil a partir da década de 80, a Embrapa Amazônia Ocidental em parceria com o CIRAD (Centro de Cooperação Internacional em Pesquisa Agrônômica para Desenvolvimento) da França. Entretanto somente a partir de 1992 começou a produção de sementes comerciais. Até ao final da década de 80, os plantios comerciais de palma no Brasil eram exclusivamente de empresas internacionais como ASD e PalmElit (CUNHA *et al.*, 2010).

No momento atual empresas produtoras de óleo de palma investem cada vez mais no melhoramento genético com objetivo de desenvolver fenótipos que podem ter melhor *performance* em campo, como por exemplo, materiais com melhor eficiência na aquisição de nutrientes do solo, maior densidade de plantas por hectare e que possuam maior vida útil. Os materiais existentes possuem alto valor agregado, já que podem promover o aumento da produtividade e da qualidade do óleo (ALVARADO & ESCOBAR, 2017).

As principais técnicas utilizadas pelo melhoramento genético para produção de variedades e clones comerciais para plantio de palma de óleo são: propagação seminífera e a vegetativa, discutidos a seguir:

a) Propagação Seminífera

A propagação da planta é via sementes. As sementes produzidas são híbridas do tipo tenera. O processo de produção de sementes inicia-se a partir da seleção de “genitores superiores” e o desempenho de suas descendências em teste de progênie, em função da produtividade de óleo, resistência a doenças e do crescimento em altura. Além disso, são realizadas recombinações entre os indivíduos de uma “população elite” para avançar para a próxima geração ou ciclo de melhoramento. Cada ciclo de melhoramento leva em média 30 anos (JÚNIOR *et al.*, 2010).

Uma das espécies mais utilizadas no melhoramento genético é a *Elaeis guineenses*, pois apresenta alta produtividade em comparação com a espécie *Elaeis oleífera*. A *Elaeis guineenses* apresenta três tipos de frutos que podem ser classificados em: i) Dura: o endocarpo com espessura de 2mm e fibras dispersas no mesocarpo; ii) Pisífera: não possui o endocarpo, sendo que este é substituído por um fino anel de fibras; e iii) Tenera: espessura do

endocarpo menor que 2 mm e com um anel de fibra ao redor. O fruto Tenera foi obtido pelo cruzamento de Dura (genitor feminino) e Pisífera (genitor masculino) (CUNHA *et al.*, 2010).

Os frutos Tenerea se destacam por apresentar maior produção de óleo, aproximadamente 30 % maior do que os frutos tipo Dura. Em virtude desta característica, é comum o cruzamento entre os genitores (plantas utilizadas como macho-tipo Tenera e como fêmea-tipo Dura) (CUNHA *et al.*, 2010).

Um dos maiores desafios do melhoramento genético para a palma de óleo é o tempo de produção e o ciclo de seleção. Estes processos incluem a avaliação e seleção fenotípica, os quais são muito criteriosos e demandam tempo, assim como o cruzamento entre genitores para a formação de uma população que leva aproximadamente 19 anos (WONG & BERNARDO, 2008). Além disso, a palma de óleo apresenta progênies altamente heterogêneas e palmares desuniformes, em virtude de os materiais genéticos conterem elevado nível de heterozigose (VIÉGAS & MÜLLER, 2010).

Uma alternativa para a redução deste tempo e ciclo de seleção no melhoramento da cultura é a utilização da técnica embriogênese somática. Esta técnica consiste em propagar a palma de óleo por meio da cultura de tecidos, propagação de “clones elites” em um tempo relativamente curto. Acredita-se que além de superar o longo ciclo de seleção da palma de óleo, promove a uniformidade nos plantios, facilitando as práticas de manejo. Os clones produzidos podem contribuir com o incremento de produção, já que os melhores genótipos podem alcançar um rendimento de até 18 ton/ha. (CORRÊA *et al.*, 2016; KHAW, NG e DREW, 1998, NUGROHO *et al.*, 2014).

b) Propagação Vegetativa

O investimento em melhoramento genético de clones elites já é uma prática avançada na região amazônica. Recentemente a Universidade Federal de Viçosa (UFV) em parceria com a Agropalma S.A desenvolveu no Laboratório de Cultura de Células e Tecidos Vegetais do Departamento de Fitotecnia, um protocolo eficiente para a produção de clones de palma de óleo por meio da técnica da embriogênese somática (CARVALHO, 2009; CORRÊA *et al.*, 2016).

Os clones são provenientes de genótipos (matrizes) considerados “materiais elite”, selecionados a partir do plantio comercial da empresa Agropalma S.A, localizada em Tailândia- Pará. Os critérios de seleção desses materiais são baseados em características agrônomicas, econômicas e fisiológicas dos cultivares, sendo a produção de óleo, taxa de

extração e tolerância aos problemas fitossanitários, as características mais importantes e desejáveis. Visto que a escolha do material genético reflete a qualidade do palmar e a sua exploração nos próximos 25 anos (CUNHA *et al.*, 2010).

A propagação vegetativa se inicia com a coleta dos folíolos imaturos do palmito dos materiais elites “matrizes”. Após a retirada do material, este é encaminhado ao Laboratório de Cultura de Células e Tecido Vegetais da Universidade Federal de Viçosa. Em seguida passam por um processo de clonagem e após 60 dias são realizadas contagens do número de plântulas obtidas no processo. Ao final, somente as plântulas com parte aérea e raiz desenvolvida serão consideradas.

Após a seleção, as plântulas serão transferidas para um tubo de ensaio (150 x 25 mm) contendo solução nutritiva com macro e micronutrientes. Logo depois encaminhadas para uma sala de crescimento com condições atmosféricas controladas (27°C com fotoperíodo de 16 horas/dia, irradiância de 40 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$) onde permanecerão por um período de sete dias.

Posteriormente as plântulas serão transferidas para tubetes contendo 18 cm^3 de substrato e encaminhadas para a casa de vegetação. As plântulas serão mantidas em câmara de nebulização intermitente durante um período de 90 d (fase de aclimação), por fim, serão enviadas para o cultivo em pré-viveiro para a empresa Agropalma S.A.

Dentre estes materiais enviados para Agropalma S.A, três clones elites foram escolhidos para a execução deste trabalho. A seguir, a descrição das características agronômicas, origem, exigências edafoclimáticas, dentre outros.

b.1) Clones Elites

Esta nomenclatura é a utilizada para os materiais genéticos originados do projeto de melhoramento em palma de óleo de Agropalma S.A em parceria com o Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa. O projeto clone iniciou com a seleção de 32 genótipos (matrizes) de palma de óleo, advindos do plantio comercial da empresa Agropalma S.A. Os materiais selecionados apresentam idade entre 9 a 27 anos e são considerados “materiais elite”, provenientes de diferentes empresas mundiais. Dentre estes materiais do “projeto clone” foram selecionados três materiais genéticos para condução deste estudo. Os clones avaliados neste trabalho foram (AM-21, AM-23 e PL-10), conforme o quadro abaixo (Quadro 1).

Quadro 1 - Clones elites e seus respectivos progenitores

Clones	Progenitores Tenera	Empresas Fornecedoras	Número de Matrizes	Idade das Matrizes
AM-21	Kigoma	ASD	2	13 anos
AM-23	Deli × LaMé (BRS2501)	Embrapa Manaus	4	11 - 13 anos
PL-10	Deli × LaMé	Murrin Corporation	9	9-26 anos

Adaptado (Corrêa, 2014)

O clone AM-21 é originário da matriz elite Kigoma, esta variedade é originária de plantas da Tanzânia. É uma palmeira adaptada às baixas temperaturas, por isso pode ser cultivada em regiões de clima frio. As características marcantes deste material são alta produção de cachos, reduzido crescimento vegetativo e alta produção de óleo de palmiste (ALVES *et al.*, 2013).

Já o clone AM-23, é obtido por meio da variedade LaMé que foi desenvolvida a partir da variedade Tenera, possui frutos alongados, alta produção de cachos, folhas longas e caules curtos. A variedade Deli × LaMé foi originalmente desenvolvida na Costa do Marfim. A palmeira desta variedade apresenta cachos pequenos, com peso inferior a 18 kg e o teor de óleo menor que 26 %, entretanto apresenta uma alta tolerância à seca. Além disso, é considerada padrão para os plantios comerciais ao redor do mundo (ALVES *et al.*, 2013).

Por fim o clone PL-10 é obtido por meio da variedade desenvolvida pela Embrapa, a BRS C2501. A variedade BRS 2501 (Deli × LaMé) é um híbrido intraespecífico Tenera (*Elaeis guineensis*). As variedades Tenera são indicadas para serem utilizadas em regiões de clima tropical úmido, com precipitação bem distribuída ao longo do ano, com temperatura média anual entre 24 e 28 °C, umidade relativa do ar entre 70 e 95 % e insolação superior a 1.800 horas/ano (RAMALHO FILHO *et al.*, 2010). As variedades de palma de óleo selecionadas como progenitores dos clones elites apresentam particularidades quanto à produção de frutos e de óleo, como descritas anteriormente. Estas características são genéticas e podem ser repassadas durante o ciclo de seleção das progênes (CORREA, 2014). Elucidando os estudos realizados por Cochard *et al.*, (1999) e Wahid, Abdullah & Henson, (2005), os autores afirmam que os clones podem promover um aumento significativo no rendimento da produção da cultura (em até 30%) quando comparados com às mudas comerciais Tenera em ensaios de campo de larga escala.

Além disso, estudos recentes com outros clones elites AM-05 e PL-17 com três anos de idade realizados por Santos (2018), verificou-se que os plantios clonais apresentaram maior uniformidade na maioria das características avaliadas. O autor realizou a caracterização

morfológica e fenológica dos clones e comparou com a variedade semínifera Tenera. Evidenciando que há uniformidade das populações como afirma (COCHARD *et al.*, 1999; WAHID, ABDULLAH e HENSON, 2005). E ainda nos impulsiona a avaliar os clones a partir do quarto ano de plantio (fase de produção), com o intuito de verificar se haverá distribuição uniforme dos cachos ao longo do ano como também cita o autor.

2.4 Produção de mudas

Após a seleção do material genético para a definição do plantio, outra fase importante é a de produção de mudas. Posteriormente a aquisição dos materiais genéticos, clones ou sementes, serão dedicados de 10 a 12 meses para a formação das mudas. O objetivo desta fase é obter plantas de alta qualidade (bem nutridas, livres de pragas e doenças), além de assegurar que os materiais genéticos sejam encaminhados para o campo na época apropriada (BARCELOS *et al.*, 2001)

O cuidado com as plantas e o critério de seleção nesta fase é essencial, pois refletirá diretamente na precocidade e na maior produção na fase jovem, assim como no maior potencial de produção de óleo e fruto na fase adulta, ou seja, esta fase define o futuro do palmar em potencial produtivo e taxa de extração (BARCELOS *et al.*, 2001).

Além disso, para a escolha dos materiais genéticos a ser cultivados, deve-se levar em conta a distribuição da safra durante o ano, assim materiais genéticos que apresentem diferentes picos de produção é o mais recomendável, pois melhora distribuição da safra, diminui a ociosidade das indústrias extratoras em períodos de entressafra, além de diminuir o risco fitossanitário (PACHECO & TAILLIEZ, 1985; BARCELOS *et al.*, 2001).

Os tratos culturais para produção de mudas se dividem em duas etapas: pré-viveiro e viveiro. O pré-viveiro corresponde à primeira etapa de desenvolvimento das mudas, onde as sementes ou plântulas clonais recebem os primeiros tratos culturais, permanecendo de três a quatro meses de idade. A segunda etapa, a de viveiro corresponde à fase de aclimação das mudas, com execução de tratos culturais diferenciados. As mudas são mantidas no viveiro de oito a doze meses de idade, e, depois desse período até o momento de transplante para o campo (BARCELOS *et al.*, 2001).

A fase de pré-viveiro inicia-se com a recepção dos materiais genéticos, que pode ser seminal ou clonal. Os materiais são encaminhados ao técnico responsável e juntamente com sua equipe realizarão a separação por variedade e uma triagem, retirando-se os materiais indesejáveis. Geralmente o plantio das sementes ou plântulas clonais é realizado em sacos

plásticos com dimensão (15 × 20 cm) contendo substrato. O substrato mais usual utilizado pela maioria das empresas comerciais é constituído por (60 % de terriço – constituído por solo próximo das florestas, e 40 % de resíduo orgânico industrial - restos vegetais de frutos) (TEIXEIRA *et al.*, 2010).

As plântulas ou sementes são dispostas em canteiros, lado a lado em um local com cobertura. A irrigação é realizada todos os dias e de acordo com a necessidade das mudas. A adubação de manutenção inicia-se trinta dias após o plantio e outros tratamentos culturais realizados nesta etapa são: capina manual na boca de saco, canteiros e ao redor da estrutura do pré-viveiro, controle fitossanitário de pragas, dentre outros (BARCELOS *et al.*, 2001; VIÉGAS & MÜLLER, 2000).

A infraestrutura do pré-viveiro mais usual é um local coberto com folhas de palma de óleo dos plantios adultos ou sombrites, similar a uma casa de vegetação, porém mais rústica, já que não há o controle monitorado de umidade, luminosidade, irrigação, dentre outros. A camada de cobertura é retirada gradualmente até o final da etapa. As plântulas são mantidas no pré-viveiro até que se obtenham mudas com 3 a 4 folhas lanceoladas, o que pode variar em 3 a 4 meses. A partir daí as mudas são encaminhadas para o viveiro (BARCELOS *et al.*, 2001; RAMALHO FILHO *et al.*, 2010; VIÉGAS & MÜLLER, 2000).

A transferência das mudas para o viveiro se inicia com o transplântio das mudas para sacos maiores com dimensão 40 × 40 cm. Entretanto a Agropalma S.A não realiza o transplântio, as sementes ou plântulas clonais são cultivadas diretamente nos sacos definitivos (20 × 25 cm), portanto não é necessário o transplântio, apenas a transferência das mudas para o viveiro. O ideal é que o pré-viveiro se localize próximo do viveiro para facilitar o transporte das mudas e evitar grandes danos às plantas. A vantagem desta metodologia é manter a qualidade das mudas, assim como reduzir os riscos de mortalidade, danos às raízes e perda de substrato (BARCELOS *et al.*, 2001).

No viveiro os materiais são expostos a céu aberto e dispostos normalmente em triângulos equiláteros, adota-se um espaçamento de 0,90 metros entre linhas e 0,76 metros entre plantas. Este espaçamento permite as plantas façam o uso otimizado da luz e conseqüentemente maior desenvolvimento da parte aérea (BARCELOS *et al.*, 2001; VIÉGAS & MÜLLER, 2000).

Quanto aos tratamentos culturais são todos semelhantes ao pré-viveiro, exceto a adubação e o controle fitossanitário. Segundo Barcelos *et al.* (2001), a adubação deve ser realizada de forma crescente, inicialmente aplicando menores quantidades e com aumento das doses à

medida que as plantas se desenvolvem. Quanto ao controle de pragas e doenças, este requer maior atenção em virtude de maior número de folhas nas mudas, e maior dificuldade de inspeção. O controle de pragas deve ser preferencialmente manual. A irrigação nesta fase é realizada por meio de um pivô central, as irrigações são diárias e constantes, mantendo o ambiente úmido, e, também mais propício ao desenvolvimento de pragas e doenças (BARCELOS *et al.*, 2001).

Ao final da etapa de viveiro, que tem duração entre oito a doze meses, as plantas são selecionadas e enviadas para o campo conforme a necessidade de novos plantios. Ao final o objetivo é obter mudas com alta qualidade superior, ou seja, com bom desenvolvimento, quantidade de folhas satisfatórias, altura desejada, serem livre de pragas e doenças assim como possuir uma boa nutrição (BARCELOS *et al.*, 2001; CORLEY & TINKER, 2003).

Para este estudo, os materiais avaliados foram os clones em fase de pré-viveiro, a finalidade do trabalho foi avaliar o desenvolvimento e a eficiência nutricional dos materiais a partir da adubação de cobertura em doses crescentes. Portanto, é necessário entendermos as exigências nutricionais que pode variar com a origem genética do material vegetal, além das necessidades fisiológicas da planta, a qual é um fator indispensável para obtenção e manutenção de níveis satisfatórios da produção do palmar (OCHS & OLIVIN, 1977; RODRIGUES *et al.*, 2010).

Assim, o conhecimento dos fatores que contribuem para o uso eficiente de fertilizantes e os investimentos em materiais genéticos elites são fundamentais para maximizar a produtividade e aumentar o retorno econômico com a cultura, já que os custos com fertilizantes representa cerca de 20 a 30 % do custo total da produção de palma de óleo (CALIMAN *et al.*, 2007; GOH & HÄRDTER, 2003).

2.5 Nutrição em palma de óleo

Aspectos gerais

O manejo sustentável de nutrientes tem ganhado cada vez mais importância, devido ao aumento dos custos dos fertilizantes, como também associado à contínua preocupação com o impacto ambiental do uso indiscriminado dos fertilizantes, particularmente relacionado à qualidade da água (STEWART, 2007). Diante disso, é consenso, que é preciso melhorar a eficiência nutricional das plantas.

Para a palma de óleo, além da preocupação com o manejo sustentável, o custo com a adubação do palmar ainda é muito alto, em torno de 20 a 30 % do custo total da produção

(GOH *et al.*, 2003). Um dos principais fatores responsáveis pelas oscilações na produção de cachos e frutos frescos (CFF) são a nutrição mineral e a fertilidade. Os grandes plantios comerciais se concentram em áreas com solos ácidos e de baixa fertilidade natural, o que pode comprometer o potencial de produção de óleo (WOITTIEZ *et al.*, 2017).

Portanto, um dos principais motivos dos palmares brasileiros não atender a demanda interna de óleo de palma, está relacionado com o tipo de solo cultivado e não com o potencial dos materiais genéticos cultivados. Segundo GEROH *et al.*, (2003), o requerimento de nutrientes da palma de óleo varia amplamente e depende da produtividade, do material genético, espaçamento entre plantas, idade da planta, tipo de solo, das condições edafoclimáticas, assim como de outros fatores ambientais.

Entretanto a recomendação de nutrientes e o manejo da adubação nos plantios comerciais brasileiros ainda não são específicos. A dose recomendada na fase jovem é generalizada, de acordo com Hong (1992), as aplicações são similares e o formulado NPK é o mais usual e se recomenda a aplicação a cada 15 dias, ou seja, praticamente se desconhece as exigências nutricionais da cultura na fase de pré-viveiro.

Conforme afirmam Rodrigues *et al.* (2006) a dose adequada para a palma de óleo deve ser fundamentada preferencialmente no conhecimento das exigências nutricionais da cultura e na identificação da capacidade do solo cultivado em fornecer nutrientes. Além disso, deve-se utilizar em conjuntos os métodos para determinação de deficiência nutricional: diagnose visual, análise química de solo, ensaios de adubação e análise foliar. Para que a fertilização da cultura seja equilibrada estes métodos não devem ser utilizados individualmente, porém isso não ocorre na prática. Para a grande maioria dos plantios comerciais de palma, o método mais utilizado para determinação de deficiência nutricional é a análise foliar e a exigência nutricional das plantas é avaliada por meio da exportação de nutrientes. Assim, a recomendação de nutrientes realizada pela maioria das empresas ainda é retrógrada, o que pode inferir em uma dose recomendada insuficiente, suficiente ou em excesso, causando desbalanço nutricional e principalmente aumento nos custos de produção.

Com isso, tem crescido a demanda por sistema de recomendação de fertilizantes eficientes e específicos para a cultura da palma, com o objetivo de otimizar a produção em plantios adultos, obtendo altas produtividades e com uso eficiente de corretivos e fertilizantes (LOPES *et al.*, 2007).

Pesquisas e estudos buscam cada vez mais a melhoria e especificidade da recomendação de nutrientes para a cultura da palma de palma de óleo, ou seja, ter como base

não só tipo de solo a ser cultivado, assim como as necessidades do material genético e as exigências nutricionais da planta na fase que se encontra. A adubação para a cultura da palma de óleo na fase imatura (jovem) é essencial para o desenvolvimento vegetativo como também para a futura produção (fase jovem), por isso o cuidado e os critérios de manejo nutricionais adotados nesta fase são primordiais para assegurar a qualidade de produção do futuro palmar (BARCELOS *et al.*, 2001).

Demanda e requerimento nutricional

A palma de óleo demanda grande quantidade de nutrientes, devido ao seu longo ciclo de vida, com média de 25 anos. A cultura apresenta uma alta exigência em nutrientes nos primeiros anos e na fase produtiva. Nos estágios iniciais, os nutrientes são essenciais para o seu crescimento e desenvolvimento dos compartimentos vegetais, já na fase de produção, além dos compartimentos vegetais, os nutrientes são translocados para a produção de frutos e óleo. Portanto, os nutrientes devem ser fornecidos de forma adequada e balanceada para se obter crescimento e rendimento satisfatórios pela planta (GOH *et al.*, 2003).

A nutrição mineral da cultura durante o período improdutivo do palmar (até o 4º ano) tem função de promover o desenvolvimento das plantas e conferir um potencial produtivo do mesmo. A partir do quarto ano a demanda nutricional do palmar tende a aumentar gradativamente até atingir seu pico de produção no sétimo ano, mantendo uma maior demanda nutricional até o décimo sétimo ano de cultivo, devido à alta taxa de exportação de nutrientes. A demanda nutricional reduz gradativamente a partir do décimo sétimo ano até o final do ciclo (GOMES JUNIOR *et al.*, 2010).

A palma de óleo apresenta três fontes de demanda de nutrientes: (i) os nutrientes removidos na colheita de cachos de fruto, (ii) os nutrientes reciclados que voltam ao solo nas folhas podadas, inflorescências masculinas e por lavagem das folhas e (iii) os nutrientes imobilizados na matéria seca da palma (TINKER, 1976; GAMARRA, 2013).

Definir corretamente a demanda do palmar, por meio das exigências da cultura e da identificação da capacidade dos solos em fornecer nutrientes, permite definir as doses adequadas de suprimento de nutriente das plantas. Os métodos mais utilizados para determinação das demandas e diagnose nutricional da palma de óleo são a diagnose visual e a análise química do solo. Atualmente, ensaios de adubação e análise foliar vêm sendo empregados por grandes produtores e empresas para melhor diagnosticar as necessidades dos palmares (RODRIGUES, 2006).

Os nutrientes mais importantes para a cultura da palma de óleo são N, K e Ca (VIÉGAS & BOTELHO, 2000; SILVA, 2006), Ng *et al.* (2003) em seus estudos acrescentaram o Mg como um dos elementos mais requeridos. Quanto aos micronutrientes, os mais extraídos pela palma de óleo, tomando-se por base o oitavo ano de plantio, foram o Cl (20 kg/ha) e o Fe (17 kg/ha). A sequência decrescente da extração foi: Cl > Fe > Mn > Zn > B > Cu (VIÉGAS, 1993; SILVA, 2006).

A demanda de nutrientes pode variar entre os materiais genéticos, assim como a eficiência de uso de nutrientes. As palmeiras clonais são mais exigentes em nutrientes na fase inicial quando comparada com as palmeiras seminíferas, isso se deve ao fato de que os materiais clonais apresentam maior produção de cachos e óleo durante a fase de produção. Quanto a eficiência de uso de nutrientes, as palmeiras clonais apresentam uma eficiência muito maior no que se refere aos papéis bioquímicos dos diferentes nutrientes e suas interações em relação a síntese de óleo quando comparadas com as variedades seminíferas. Além disso, os clones também são superiores a captação de luz e a transformação dos fotoassimilados em carboidratos (Ng *et al.*, 2003).

Pesquisas comprovaram que o requerimento de nutrientes de plântulas clonais em relação aos híbridos seminíferos é pequenas e comparadas com a quantidade total de nutrientes necessários, entretanto há uma diferença entre os materiais quanto equilíbrio ideal entre nutrientes (Woo *et al.*, 1994; Ng *et al.*, 1999). Sendo uma forte indicação de que é necessária uma maior atenção para a recomendação de nutrientes, no que se refere à manutenção de balanços corretos e suas proporções e ao uso de fontes adequadas de fertilizantes associado ao material genético (Ng *et al.*, 2003).

Eficiência nutricional

A definição de eficiência nutricional, ainda não é um termo bem consolidado na literatura, apresentando diferentes definições (CLARK & DUNCAM, 1991). Segundo Baligar e Fageria (1998) a eficiência nutricional em plantas pode estar relacionada a eficiência de absorção, translocação e utilização de nutrientes. Em vias gerais, segundo os autores, o termo eficiência nutricional é utilizado para caracterizar espécies de plantas, genótipos e variedades quanto a sua capacidade de absorver e utilizar nutrientes como também a sua produção em relação a quantidade de fertilizante aplicado.

Para Graham (1984) a eficiência nutricional de um genótipo, avaliando cada nutriente separadamente, se caracteriza pela capacidade de produzir um alto rendimento em um solo

que é limitado nesse elemento para um genótipo avaliado. Blair (1993) por sua vez, definiu a eficiência nutricional como a capacidade de um genótipo/cultivar adquirir nutrientes do meio de crescimento e/ou incorporá-los ou utilizá-los na produção de matéria seca dos compartimentos vegetais ou em sementes, grãos, frutas e forragem.

Para compreender melhor a eficiência nutricional dos diferentes genótipos é importante compreender melhor sobre os índices nutricionais e como as condições adversas do ambiente pode influenciá-los (FAGERIA, 1998). Os índices nutricionais correspondem a eficiência de absorção, de translocação e por último a utilização dos nutrientes para conversão em matéria seca. Tais índices serão apresentados a seguir:

a) Eficiência de absorção

A eficiência de absorção é também conhecida como eficiência de aquisição. Este índice nutricional está relacionado com a absorção de nutrientes pelas plantas. A absorção é definida como a entrada do nutriente na célula. A entrada dos nutrientes só é efetiva após sua passagem pelo citoplasma, ou seja, o nutriente precisa atravessar a cutícula foliar, a parede celular e a plasmalema (BOARETTO *et al.*, 2003). Assim a eficiência de absorção indica a capacidade da planta em extrair nutrientes do meio de cultivo (solo ou substrato) por meio do sistema radicular. Esta característica está sob controle genético, já que o mecanismo de absorção difere entre as espécies e variedades, porém as condições de sítio e manejo também podem influenciar. Algumas plantas apresentam extenso sistema radicular, já outras não, entretanto apresentam maior taxa de absorção de nutrientes por massa de matéria seca de raiz, ou seja, alto influxo de nutrientes (FOHSE *et al.*, 1988).

Para Swiader *et al.* (1994), a eficiência de absorção é a relação entre o conteúdo total do nutriente na planta e a matéria seca de raízes. Sendo definida pela equação 1:

$$ea_Nui = cNui_T / mMS_R \quad \text{Equação 1}$$

Em que: (*ea_Nui*) é a eficiência de absorção de nutrientes pela planta; (*cNui_T*) é o conteúdo total do nutriente na planta e (*mMS_R*) é massa de matéria seca de raízes.

Assim, também pode ser compreendida como a quantidade de nutriente absorvido por massa de matéria seca das raízes (BEHLING *et al.*, 2014; BARROS *et al.*, 1995).

b) Eficiência de translocação

A translocação refere-se ao movimento ou à transferência do íon do local de absorção na raiz para outro ponto qualquer, dentro ou fora da raiz (FAQUIN, 1995; MALAVOLTA *et al.*, 1997). Índice de translocação está relacionado ao movimento ou à transferência do íon da raiz para a parte aérea da planta (ABICHEQUER & BOHMEN, 1998). A eficiência de translocação dos nutrientes pode ser definida pela equação 2 (LI *et al.*, 1991):

$$et_Nui = (cNui_PA / cNui_T) \times 100 \quad \text{Equação 2}$$

Em que: (*et_Nui*) é a eficiência de translocação das plantas; (*cNui_PA*) é o conteúdo do nutriente na parte aérea e (*cNui_T*) é o conteúdo total do nutriente na planta.

Assim a proporção de nutrientes na parte aérea representa a eficiência de translocação das plantas, ou seja, percentagem da quantidade total absorvida que foi transferida para a parte aérea (ABICHEQUER & BOHMEN, 1998).

c) Eficiência de uso

Segundo Gerloff Gabelman (1983), o termo eficiência de uso ou utilização é a capacidade de uma planta redistribuir e reutilizar os elementos minerais de um órgão mais velho e senescente no metabolismo do processo de crescimento. Lauchli (1987) complementa que a eficiência de uso de um nutriente é definida como a relação entre a concentração do nutriente no tecido e a produção, enquanto para Graham (1984), eficiência é a habilidade de um genótipo em fornecer altas produções num ambiente deficiente no nutriente em estudo.

A eficiência de utilização, geralmente é representada pelo coeficiente de utilização biológico, mais conhecido como (*cub*). Este índice, segundo os autores (SIDDIQI & GLASS, 1981) pode ser definido pela equação 3:

$$cub = (mMs_Ci)^2 / cNui_Ci \quad \text{Equação 3}$$

Em que: (*mMs_Ci*) - massa de matéria seca dos diferentes compartimentos *i* da planta em função do (*cNui_Ci*) - conteúdo de nutrientes nos diferentes compartimentos *i* da planta.

Assim a eficiência de uso pode ser definida como a capacidade da planta de crescer e se desenvolver de forma ótima por massa de nutriente absorvido (BEHLING *et al.*, 2014; BARROS *et al.*, 1995). A eficiência de uso de nutrientes pode variar em função das

diferenças genotípicas das plantas, e ainda na interação do genótipo com o ambiente (BEHLING *et al.*, 2014). Esse conceito inclui processos nos quais as plantas absorvem, translocam, acumulam e utilizam melhor esse nutriente para a produção de matéria seca ou grãos, em condições normais ou adversas (MARTINEZ *et al.*, 1993; POZZA, 2004).

Estudos sobre a eficiência nutricional de diferentes variedades de palma buscam encontrar as de maior eficiência nutricional, que apresentem maiores rendimentos, que sejam sustentáveis economicamente e ambientalmente, são importantes face à demanda crescente dos óleos vegetais do mercado (STEWART, 2007).

Determinadas características dos genótipos relacionadas às características morfológicas e fisiológicas que contribuam para o uso eficiente de nutrientes são desejáveis (FAGERIA, 1998). Dentre as características morfológicas destacam-se: sistema radicular eficiente que explore um maior volume de solo possível; alta relação entre raízes e parte aérea; associação do sistema radicular com micorrizas e bactérias que fixam nitrogênio. Em relação às características fisiológicas, destacam-se: a habilidade de superar baixos níveis de nutrientes, capacidade de modificação da rizosfera; manutenção normal do metabolismo em condições de baixo teor de nutrientes; manutenção da homeostase fotossintética e maior eficiência de absorção e de utilização dos nutrientes (FAGERIA, 1998).

Alocação de nutrientes

A alocação de nutrientes representa a distribuição dos nutrientes nos diferentes compartimentos da planta, conforme suas exigências nutricionais e as condições edafoclimáticas. Seu estudo é importante para o entendimento da história de vida e o sucesso na ocupação de diferentes ambientes (MULLER *et al.*, 2000). A capacidade competitiva dos indivíduos e a resposta ao estresse ambiental está diretamente relacionada com a alocação de nutrientes e a otimização de recursos, principalmente os que se apresentam escassos no meio (LARCHER, 2006; LAMBERS *et al.*, 2008; FITTER, 1986). Importante ressaltar que os padrões de alocação de nutrientes mudam ao longo do desenvolvimento e das necessidades da planta independente do ambiente em que está inserida (MC CONNAUGHAY & COLEMAN, 1999).

Estudos com diferentes variedades de palma de óleo comprovaram que os materiais genéticos apresentaram alta variabilidade dos valores de conteúdo de nutrientes encontrados nos diferentes compartimentos da planta, após receberem a mesma quantidade de nutrientes,

via adubação, ao final os materiais apresentaram diferentes produtividades e níveis ótimos específicos (OLLIVIER *et al.*, 2016).

Isso mostra que altas produtividades nem sempre estão correlacionados com a alta absorção de nutrientes nos órgãos da palma. Além disso, para o mesmo nível de produção, a absorção de nutrientes pode variar de 30 a 40% de um tipo de material genético para outro. E ainda reforça a hipótese de que cada material genético apresenta uma demanda nutricional específica para uma determinada produtividade (OLLIVIER *et al.*, 2016).

O autor enfatiza: "é provável que a variabilidade genética nos aspectos morfológicos assim como no conteúdo de nutrientes dos compartimentos vegetais esteja ligada à diferenças na captação de nutrientes e à eficiência entre as variedades de palma de óleo, mas apesar de todos os esforços feitos nessa área de pesquisa, essa variabilidade genética ainda é relativamente desconhecida" (OLLIVIER *et al.*, 2016).

Outro pesquisador reforça que além do conteúdo de nutrientes nas folhas, é sabido que as características genéticas do dendezeiro contribuem para a produção de variabilidade genética em características morfológicas, como altura, tamanho do dossel, tamanho do cacho, quantidade de mesocarpo, teor dos frutos (SOH *et al.*, 2003)

Portanto, é necessário avaliarmos com cuidado a alocação dos nutrientes nos compartimentos vegetais, além das características morfológicas apresentadas pelas diferentes variedades de palma. O foco é correlaciona está informação com a recomendação de nutrientes. Assim os níveis críticos foliares ótimos por variedade devem ser considerados, profissionais podem aplicar fertilizante insuficiente para permitir a expressão do potencial genético das variedades de dendezeiros ou aplicar muito fertilizante, o que tem um impacto econômico negativo porque o fertilizante é o principal custo operacional e tem um efeito prejudicial ao meio ambiente (OLLIVIER *et al.*, 2016).

O estudo conduzido por Ollivier *et al.* (2016) também confirmou que a recomendação de nutrientes para a palma de óleo não pode ser deduzida com segurança apenas a partir dos resultados da análise foliar, pois os níveis de reserva de nutrientes na ráquis e no estipe são altos, e estes devem ser considerados. O estipe parece ser um compartimento estratégico, pois armazena uma grande quantidade de nutrientes, particularmente K. Ao contrário da folha ou do caule (estipe), outros órgãos, como o pecíolo e o ráquis, mostram menos variação no conteúdo de nutrientes entre os materiais genéticos de palma avaliados.

A sensibilidade de diferentes compartimentos vegetais pode refletir mudanças na captação de nutrientes assim como a resposta das plantas de palma de óleo a adições de nutrientes deve ser investigada em experimentos.

Alocação de carbono

Em geral, as plantas alocam carbono e nutrientes para o seu crescimento, assim como para sua sobrevivência e manutenção. As plantas perenes e palmáceas fazem além, alocam nutrientes para reprodução e estruturas reprodutivas (BREURE, 2003).

A palma de óleo assim como as outras plantas, a matéria seca se forma a partir do processo de fotossíntese (assimilação de carbono). Neste processo o dióxido de carbono é convertido em carboidratos. Os carboidratos formados são direcionados para diferentes funções no interior da palma (BREURE, 2003).

Da quantidade dos carboidratos formados 50 % são utilizados para assegurar o funcionamento da palmeira, os demais 25 % são direcionados para o transporte e conversão dos carboidratos em matéria seca estrutural assim como para a absorção ativa dos nutrientes do solo (respiração de crescimento) e o restante (25 %) são para a produção de matéria seca vegetativa (folha, tronco e raiz) e generativa (cachos) (BREURE, 2003).

Em condições favoráveis de crescimento da palma de óleo, a repartição de massa de matéria seca é igualmente distribuída entre a produção de frutos e o crescimento vegetativo. Entretanto, quando as condições de estresse, desfavorece a assimilação de carbono, a prioridade de massa de matéria seca passa a ser para o crescimento vegetativo. O crescimento vegetativo da palmeira tem preferência no carbono capturado sobre a produção de frutos (BREURE, 2003).

Assim a massa de matéria seca só é translocada para a produção de frutos, caso o requerimento mínimo de carbono para o crescimento vegetativo seja atendido. Por isso é tão importante, o cuidado com o manejo, já que o desbalanço de CO₂ pode interferir na produção das plantas (BREURE, 2003). Outra particularidade quanto a alocação de carbono é a variação do carbono interno no mesófilo foliar de alguns materiais genéticos. Segundo o autor Dotto (2017), as variedades Deli × Ghana e Compacta × Ghana com sete anos de idade apresentaram diferença na concentração de carbono interno no mesófilo foliar.

A palma de óleo se destaca entre as culturas que mais acumulam carbono, já que seu ciclo de exploração comercial é longo, de aproximadamente 25 anos. Em decorrência disso, essa cultura apresenta alto acúmulo de massa de matéria seca ao longo do seu ciclo

vegetativo, onde se pode afirmar que as extensas áreas com plantio de palma de óleo sejam considerada um sumidouro de carbono (CUNHA& LOPES, 2010; SAIKKU *et al.*, 2012; QUEIROZ *et al.*, 2012).

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

A palma de óleo é um cultura perene que pode contribuir com a redução de emissão de carbono por meio da fixação deste elemento na massa de matéria seca. Estima-se que um hectare de palma de óleo, aos quinze anos, tenha sequestrado 35,87 t de carbono, o equivalente a 90 t de matéria seca (CEPLAC, 2011)

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Condução do experimento

O experimento foi conduzido nas instalações do pré-viveiro de mudas, no município de Tailândia-PA, pertencente à Mesorregião do Nordeste Paraense, cujas coordenadas foram representadas na Figura 1.

Para este estudo foram utilizados três materiais genéticos clonais de palma de óleo (AM-21, AM-23 e PL-10), dispostos em delineamento em blocos casualizados, com quatro repetições; sendo 16 unidades experimentais por clone, totalizando 192 unidades experimentais. Cada unidade experimental foi constituída de um saco plástico contendo 5,0 dm³ do substrato (60 % de terriço – constituído por solo próximo das florestas, e 40 % de resíduo orgânico industrial composto por restos vegetais de frutos), com uma plântula de palma de óleo.

As plântulas clonais foram distribuídas aleatoriamente em canteiros e aclimatadas no pré-viveiro, estrutura composta por duas coberturas externas de telas sombreamento (50 % e 70 %). No primeiro mês após o cultivo, as mudas não receberam adubação, especificamente somente os nutrientes do substrato e água. Após este intervalo, as mudas passaram a receber

fertilização, definida com base na demanda dos clones, em cobertura, semanalmente, durante três meses, totalizando 12 aplicações durante o período de condução do experimento.

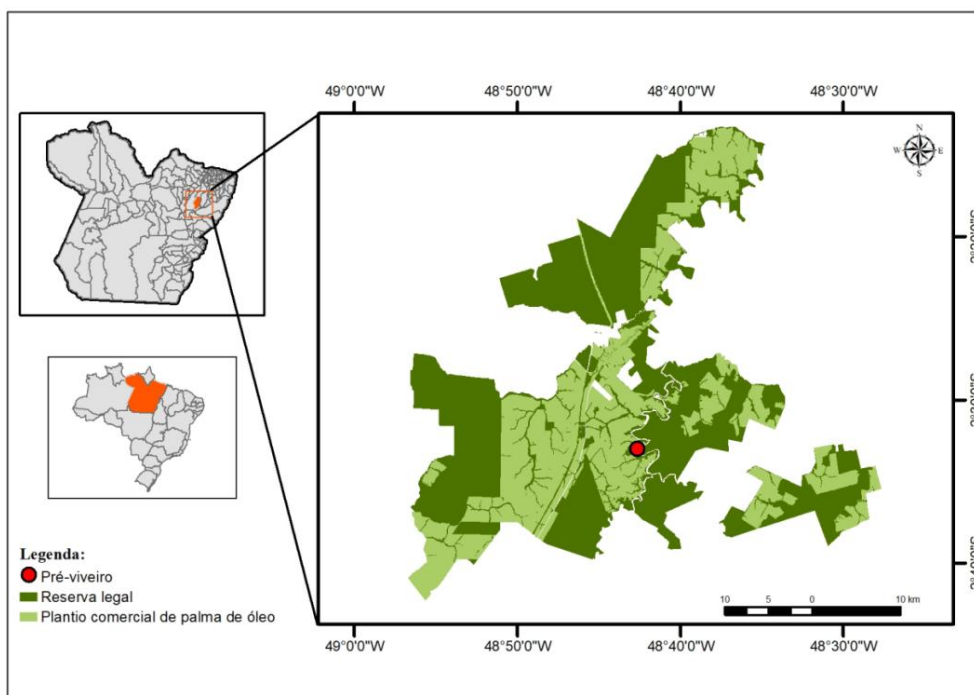


Figura 1 - Mapa de localização do pré-viveiro

A irrigação foi realizada conforme a necessidade da planta, suficiente para manter a umidade do solo em torno de 80 % da capacidade de campo e nos horários de maior insolação (10:00, 13:00 e as 15:00). A tela de sombreamento de 50 % foi removida após seis semanas do plantio e a de 70 % permaneceu até a fase final do pré- viveiro.

Ao final do experimento, após 120 d, as plantas de cada clone foram separadas em três compartimentos (folha, caule e raiz). Após a separação do material vegetal, as amostras foram submetidas à pré-secagem em estufa com circulação de ar forçada à temperatura de 65 °C. Após dois dias, as amostras foram enviadas para a UFV, onde novamente foram secas em estufa (até peso constante, 72 h, 65 °C) e pesadas.

Em seguida, os materiais vegetais foram moídos e submetidos à digestão nítrico-perclórica (3,5:1 v/v), sendo determinados, nos extratos, por espectrofotometria de emissão ótica em plasma induzido (ICP-OES), os teores de P, S, K, Ca e Mg. O N foi determinado pelo método Kjeldahl.

Os dados de matéria seca nos diferentes compartimentos foram submetidos à análise de variância (ANOVA), sendo os efeitos dos tratamentos (clones) testados por contrastes ortogonais e um contraste adicional.

O conteúdo de nutrientes assim como a produção de matéria seca nos distintos compartimentos foram utilizados para estimar a alocação de carbono e de macronutrientes, a eficiência de absorção e de utilização para os três clones superiores, como descrito a seguir.

3.2 Parâmetros

3.2.1 Alocação de carbono

Para determinação da alocação de carbono, foram ajustadas equações preditivas que relacionam a massa de matéria seca dos diferentes compartimentos vegetais (folha, caule e raiz) dos três clones avaliados (AM-21, AM-23 e PL-10) em função da massa de matéria seca total de cada clone (Equação 4). A declividade da equação expressa a alocação de carbono nos diferentes compartimentos de cada material genético.

$$mMS_Ci = f(mMS_T) \quad \text{Equação 4}$$

Em que: (mMS_Ci) - massa de matéria seca dos compartimentos i da planta; (mMS_T) massa de matéria seca total na planta.

3.2.2 Alocação de macronutrientes

Quanto à alocação de N, de P, de S, de K, de Ca e de Mg, foram ajustadas equações preditivas que relacionam o conteúdo de cada um desses macronutrientes nos diferentes compartimentos avaliados em função do conteúdo total de nutrientes de cada clone. A declividade da equação expressa a alocação de macronutrientes nos diferentes compartimentos de cada material genético (Equação 5).

$$cNui_Ci = f(cNuij_T) \quad \text{Equação 5}$$

Em que: ($cNui_Ci$) - conteúdo de nutriente nos diferentes compartimentos i da planta; ($cNuij_T$) - conteúdo total de nutrientes na planta.

3.2.3 Eficiência de absorção

Para a determinação da eficiência de aquisição foram ajustadas, para cada clone, equações preditivas que relacionam o conteúdo de nutrientes total na planta ($cNui_T$) em função da massa de matéria seca de raiz (Equação 6).

$$cNui_T = f(mMS_R)$$

Equação 6

Em que: ($cNui_T$) - conteúdo de nutrientes total na planta em função da (mMS_R) - massa de matéria seca das raízes.

Com base na declividade das equações determinou-se a eficiência de aquisição de nutrientes pela planta (ea_Nui_Pla).

3.2.4 Eficiência de utilização de macronutrientes

Para determinação da eficiência de utilização de macronutrientes (coeficiente de utilização biológico-*cub*) foram ajustadas equações preditivas de massa de matéria seca dos diferentes compartimentos i da planta em função dos conteúdos dos nutrientes nos respectivos compartimentos (Equação 7).

$$mMS_Ci = f(cNui_Ci)$$

Equação 7

Em que: (mMS_Ci) - massa de matéria seca dos diferentes compartimentos i da planta em função do ($cNui_Ci$) - conteúdo de nutrientes nos diferentes compartimentos i da planta.

Para as variáveis dos itens 3.2.1 a 3.2.4 as equações de regressão obtidas tiveram seus coeficientes testados a 10 % de probabilidade, por teste F, com base no quadrado médio do independente da regressão e foram calculados intervalos de confiança a 95 % para a declividade.

3.3 Demanda e requerimento

Foi estimada a demanda de macronutrientes para as mudas de qualidade superior. As mudas de qualidade superior são classificadas como aquelas que apresentam a máxima produção de massa de matéria seca. A partir dos dados coletados de matéria seca, elencou-se a máxima produção de matéria seca dos diferentes compartimentos vegetais de cada clone avaliado.

Em seguida determinou os teores totais de nutrientes dos mesmos e seus respectivos conteúdos e por fim calculou a demanda e o requerimento nutricional como exemplifica as equações abaixo:

O conteúdo do nutriente i no compartimento j é determinado com base na equação 8:

$$cNu_i-Cj = mMS-Cj \times ttNu_i-Cj \quad \text{Equação 8}$$

Em que: (cNu_i-Cj) é o conteúdo de nutriente i no compartimento j ; ($mMS-Cj$) é a massa de matéria seca do compartimento j e ($ttNu_i-Cj$) é o teor total de nutriente i do compartimento j das plantas superiores.

O somatório dos conteúdos dos nutrientes i nos diferentes compartimentos j ($\sum ij cNu_i-Cj$) das mudas superiores fornece a demanda de nutrientes pela muda superior (dNu_i_M), (Equação 9).

$$dNu_i_M = \sum ij cNu_i-Cj \quad \text{Equação 9}$$

O requerimento de nutrientes pela muda superior (rNu_i_M) é calculado conforme (Equação 10). Neste ensaio, o valor da taxa de recuperação de nutriente pela muda superior ($trNu_i_M$) será utilizado aquele obtido por Stahringer, (2013).

$$rNu_i_M = dNu_i_M / trNu_i_M \quad \text{Equação 10}$$

Em que: (rNu_i_M) é o requerimento de nutrientes pela muda superior; (dNu_i_Pla) é a demanda dos nutrientes pelas mudas superiores (dNu_i_M) e ($trNu_i_M$) é a taxa de recuperação dos nutrientes pela muda superior ($trNu_i_M$).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com o quadro da ANOVA em anexo (Quadro 14 e Quadro 15), foi possível observar que os tratamentos diferem entre si a 0,1 % de significância. Assim foi realizado o desdobramento dos mesmos por meio de contrastes, no qual foi comprovado que os tratamentos diferem entre si quanto à produção de matéria seca dos compartimentos avaliados. Também foi realizada a representação dos dados de produção de matéria seca dos compartimentos vegetais em quartis, conforme é representado abaixo.

4.1 Produção de matéria seca

Os valores de produção de matéria seca nos diferentes compartimentos da planta (folha, caule, raiz, parte aérea e total) foram representados por meio de quartis. Os quartis são valores que dividem um conjunto de dados ordenado em quatro partes iguais, e assim cada

parte representa 25 % da amostra. Os quartis foram definidos em faixas mínimo (25%); médio (50 %) e máximo (75 %), representadas por Q₁, Q₂ e Q₃, respectivamente.

Observamos uma variação entre a produção de matéria seca nos diferentes compartimentos vegetais entre os materiais genéticos avaliados (Quadro 2).

Quadro 2-Distribuição de produção de matéria seca em quartis dos três clones de palma de óleo

Material Genético	Compartimento Folha					Compartimento Caule				
	Q ₁	Q ₂	Q ₃	Ls ¹	Li ²	Q ₁	Q ₂	Q ₃	Ls	Li
	-----g/pla-----									
AM-21	2,54	4,09	5,65	6,14	1,41	0,77	1,92	2,99	4,93	0,46
AM-23	7,33	9,70	11,50	4,70	3,68	3,96	5,32	6,78	5,29	2,10
PL-10	4,96	7,11	10,26	9,64	3,64	2,58	4,35	6,45	8,76	1,79
Material Genético	Compartimento Parte aérea					Compartimento Raiz				
	Q ₁	Q ₂	Q ₃	Ls	Li	Q ₁	Q ₂	Q ₃	Ls	Li
	-----g/pla-----									
AM-21	3,23	6,07	8,47	11,24	1,47	0,33	1,10	1,75	4,27	0,19
AM-23	12,40	15,28	18,14	10,01	6,89	2,04	2,59	3,33	3,46	1,53
PL-10	7,39	11,38	16,65	18,46	5,21	1,37	2,30	3,61	3,46	1,12
Material Genético	Compartimento Total									
	Q ₁	Q ₂	Q ₃	Ls	Li					
	-----g/pla-----									
AM-21	3,66	7,13	10,22	14,50	1,64					
AM-23	14,36	17,92	21,56	10,45	8,34					
PL-10	9,04	13,73	19,95	22,23	6,42					

Em que: ¹corresponde ao limite superior e ² corresponde ao limite inferior.

O boxplot foi utilizado como uma ferramenta comparativa entre os clones. O clone PL-10 apresentou maior altura do boxplot em todas as comparações com os outros clones (Quadro 2). Isso implica que o intervalo de variação da distribuição dos dados de matéria seca dos diferentes compartimentos para este clone apresentou uma variação maior, seguido do AM-23 e por fim o AM-21. A média e a mediana de matéria seca dos compartimentos avaliados para o AM-23 é maior do que o AM-21 e PL-10. Provavelmente o AM-23 seja superior em produção de matéria seca nos compartimentos avaliados. Entretanto, para que esta conclusão seja afirmativa, verifica-se a necessidade de realizar um teste de média para comprovar a diferença significativa entre os clones quanto à produção de matéria seca nos diferentes compartimentos.

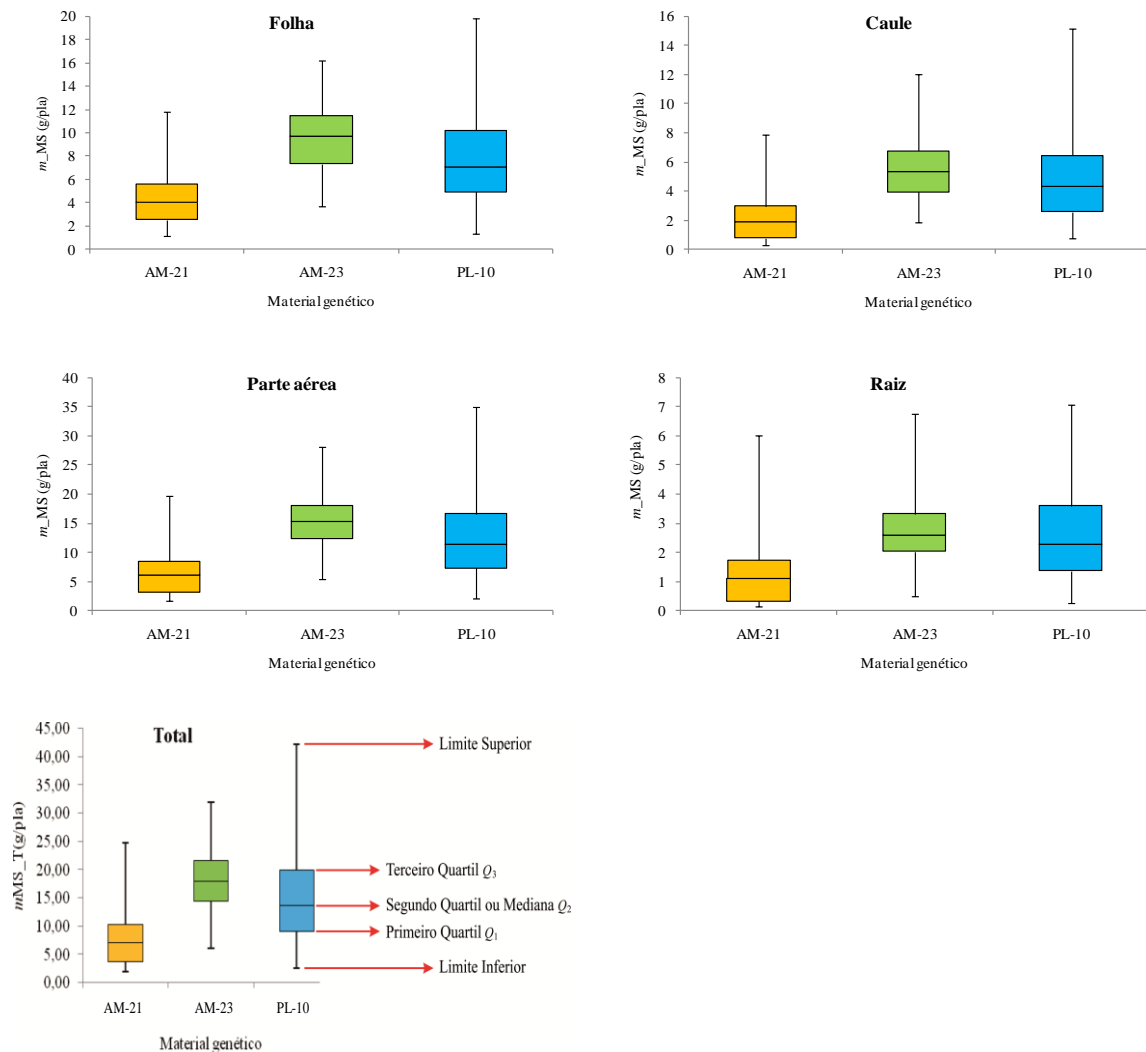


Figura 2 -Boxplot da massa de matéria seca dos diferentes compartimentos vegetais (folha, caule, raiz, parte aérea e total) em função dos materiais genéticos (AM-21, AM-23 e PL-10)

A partir dos dados de produção de matéria dos compartimentos vegetais (folha, caule, raiz, parte aérea, total) avaliou-se os efeitos dos tratamentos, por meio de contrastes (teste de média). Foram estabelecidos três contrastes, sendo dois ortogonais os quais foram estabelecidos em função dos graus dos tratamentos; e um contraste adicional.

O contraste ortogonal 1 (C_{1_i}) comparou as médias de produção de matéria seca nos diferentes compartimentos vegetais (folha, caule, raiz, parte aérea e total) dos clones AM-23 vs AM-21+PL-10, ou seja, as médias de produção de matéria seca dos compartimentos do clone AM-23, com as médias de produção de matéria seca dos compartimentos i do AM-21 + PL-10, conforme a equação 11.

$$C_{1_i} = \text{AM-23 vs AM-21+PL-10}$$

Equação 11

O contraste ortogonal2 (C_{2_i}) comparou as médias de produção de matéria seca nos diferentes compartimentos vegetais (folha, caule, raiz, parte aérea e total) dos clones PL-10 vs AM-21, ou seja, as médias de produção de matéria seca dos compartimentos i do clone PL-10 com as médias de produção de produção de matéria secados compartimentos i do AM-21, conforme a equação 12.

$$C_{2_i} = \text{PL-10 vs AM-21} \quad \text{Equação 12}$$

O contraste adicional (C_{3_i}) comparou as médias de produção de matéria seca nos diferentes compartimentos vegetais (folha, caule, raiz, parte aérea e total) dos clones AM-23vs AM-21, ou seja, as médias de produção de matéria seca dos compartimentos i do clone AM-23 com as médias de produção de produção de matéria secados compartimentos i do AM-21, conforme a equação 13.

$$C_{3_i} = \text{AM-23vs AM-21} \quad \text{Equação 13}$$

Com os dados observados de produção de matéria seca nos diferentes compartimentos avaliados em função dos tratamentos (clones), calculou-se as médias e os totais de produção de matéria seca dos compartimentos vegetais (folha, caule, raiz, parte aérea e total) (Quadro 3). A partir dos dados foram estabelecidos os contrastes, C_{1_i} , C_{2_i} e C_{3_i} ao nível de 0,05 % de probabilidade.

Quadro 3-Totais e médias de produção de matéria seca dos compartimentos de três clones de palma de óleo

Tratamento	mMS_F^1		mMS_C^2		mMS_R^3		mMS_PA^4		mMS_T^5	
	$T_1^{6/}$	$\bar{y}_1^{7/}$	T_2	\bar{y}_2	T_3	\bar{y}_3	T_4	\bar{y}_4	T_5	\bar{y}_5
AM-21	285,68	4,46	142,02	2,22	74,78	1,17	427,7	6,68	502,48	7,85
AM-23	602,01	9,71	341,6	5,51	162,96	2,63	943,61	15,21	1106,57	17,84
PL-10	507,02	7,92	318,46	4,98	164,84	2,58	825,48	12,90	990,32	15,47

Em que: ¹ mMS_F - massa de matéria seca da folha; ² mMS_C - massa de matéria seca do caule; ³ mMS_R -massa matéria seca da raiz; ⁴ mMS_PA - massa de matéria seca da parte aérea e ⁵ mMS_T - massa de matéria seca total na planta. ^{6/} T_i = Valores totais calculados a partir das unidades experimentais dos clones avaliados; ^{7/} \bar{y}_i médias encontradas no estudo.

A partir dos contrastes médios e a aplicação do teste F ao nível de 0,05 % de significância, verificou-se que o efeito dos tratamentos (clones) foi significativo para os compartimentos avaliados (Quadro 4). Os materiais genéticos apresentaram comportamento diferenciado quanto à produção de matéria seca das folhas, caule, raiz, parte aérea e total na

planta. O clone AM-23 foi superior em produção de matéria seca em todos compartimentos quando comparado com os clones AM-21 e PL-10. Os clones por sua vez, diferiram entre si seguindo uma ordem crescente AM-21 < PL-10 < AM-23 (Quadro 4).

A produção superior de matéria seca da folha do clone AM-23 pode estar relacionada com uma característica genética, pois este clone é originário da variedade Deli × Lamé, que se caracteriza por apresenta folhas largas. Enquanto o crescimento reduzido da folha do clone AM-21, pode estar relacionado ao seu progenitor (Kigoma), o qual é uma variedade que apresenta crescimento reduzido da folha como afirma o autor (ALVES *et al.*, 2013).

De acordo com Breure (2003), a absorção de radiação está associada ao tamanho da folha da palma de óleo, ou seja, a taxa de assimilação bruta de CO₂ depende antes de tudo da quantidade de radiação solar disponível e do tamanho da superfície foliar que intercepta a luz: isto é, do produto do número de folhas verdes pela área média de uma folha. Assim ao correlacionar esta afirmação com os resultados dos contrastes, verifica-se que o clone AM-23 pode apresentar vantagens quanto a assimilação de CO₂ e conseqüentemente no acúmulo de carbono, ou seja, o material genético pode ser mais eficiente em assimilar carbono do que os outros clones, já que apresentou maior produção de matéria para o compartimento folha.

Quadro 4 - Contrastes médios e suas significâncias para produção de matéria seca dos diferentes compartimentos de três clones de palma de óleo

Contrastes	Contrastes médios	
	<i>mMs</i>	
		<i>g/pla</i>
C1_F	AM-23 vs AM-21 + PL-10	3,52 ***
C2_F	PL-10 vs AM-21	3,46 ***
C3_F	AM-23 vs AM-21	5,25 ***
C1_C	AM-23 vs AM-21 + PL-10	1,91 ***
C2_C	PL-10 vs AM-21	2,76 ***
C3_C	AM-23 vs AM-21	3,29 ***
C1_R	AM-23 vs AM-21 + PL-10	0,76 ***
C2_R	PL-10 vs AM-21	1,41 ***
C3_R	AM-23 vs AM-21	1,46 ***
C1_PA	AM-23 vs AM-21 + PL-10	5,43 ***
C2_PA	PL-10 vs AM-21	6,22 ***
C3_PA	AM-23 vs AM-21	8,54 ***
C1_T	AM-23 vs AM-21 + PL-10	6,19 ***
C2_T	PL-10 vs AM-21	7,63 ***
C3_T	AM-23 vs AM-21	10,00 ***

Em que: *** Significância a 0,1 % de probabilidade

4.2 Alocação de carbono

Para a alocação de carbono o modelo linear foi o que melhor se ajustou aos dados de massa de matéria seca dos diferentes compartimentos em função da massa de matéria seca total na planta, em que a declividade de cada equação preditiva representa a alocação de carbono nos diferentes compartimentos vegetais de cada clone avaliado (AM-21, AM-23 e PL-10).

Para cada um dos clones de palma de óleo foi ajustada uma equação preditiva para os compartimentos folha, caule, raiz e parte aérea (Figura 3 a Figura 5).

Os três clones apresentaram comportamento semelhante para a alocação de carbono. A maior alocação de carbono para os três clones foi no compartimento folha.

Os três materiais genéticos não se diferenciam quanto à alocação de carbono nos diferentes compartimentos (Quadro 5). Provavelmente, devido ao tempo decorrido do experimento, o que não permitiu diferenciação de matéria seca nos diferentes clones. Os clones de palma de óleo podem apresentar semelhança genética, na etapa de mudas e exibir fenótipos muito parecidos (KHAW & NG, 1997). Porém, os clones apresentaram maior alocação de carbono para as folhas, em média, de 49,74 %, 34,00 % para caule e 16,26 % para raiz.

Os três materiais genéticos estavam em fase de pré-viveiro (mudas em estágios iniciais com 4 meses de idade). Em geral, nesta fase, a palma de óleo tende alocar mais carbono e nutrientes na parte aérea do que nas raízes, além disso, a alocação de carbono pode estar associada as condições do meio, ou seja, as condições edafoclimáticas onde os clones foram cultivados. Pelo fato dos substratos se encontrarem irrigados continuamente, as mudas de palma de óleo, destinaram a produção de carbono para a parte aérea (SUN *et al.*, 2011).

O carbono assimilado pela palma de óleo pode ser utilizado para diferentes funções na planta, o que pode explicar a alocação de carbono nos diferentes compartimentos. Assim como as outras plantas a palma de óleo, converte o carbono assimilado em carboidratos. Os carboidratos formados são direcionados para diferentes funções no interior da planta. Cerca de 50 % da quantidade dos carboidratos formados são utilizados para assegurar o funcionamento da palmeira (respiração de manutenção), os demais 25 % são direcionados para o transporte e conversão dos carboidratos em massa de matéria seca estrutural assim como para a absorção ativa dos nutrientes do solo (respiração de crescimento) e o restante 25 % são para a produção de matéria seca vegetativa (folha, tronco e raiz) e produtiva (cachos) (BREURE, 2003).

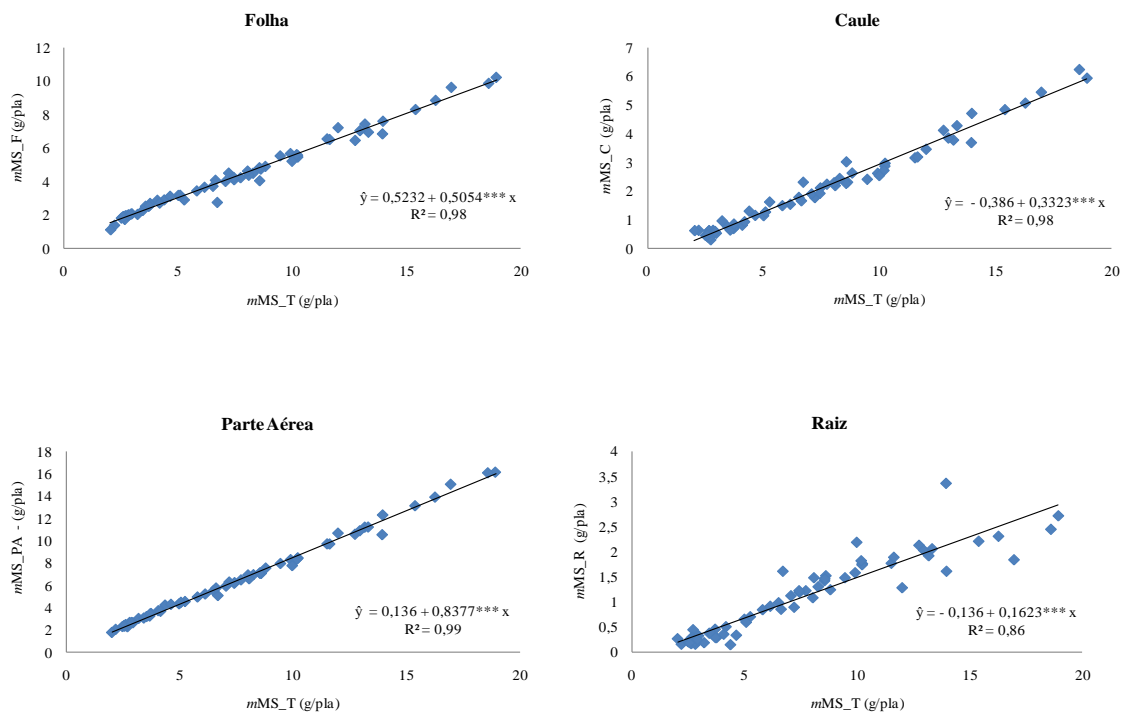


Figura 3 - Equações de massa de matéria seca nos diferentes compartimentos (mMS_{Ci}) em função da massa de matéria seca total na planta (mMS_T) do clone AM-21

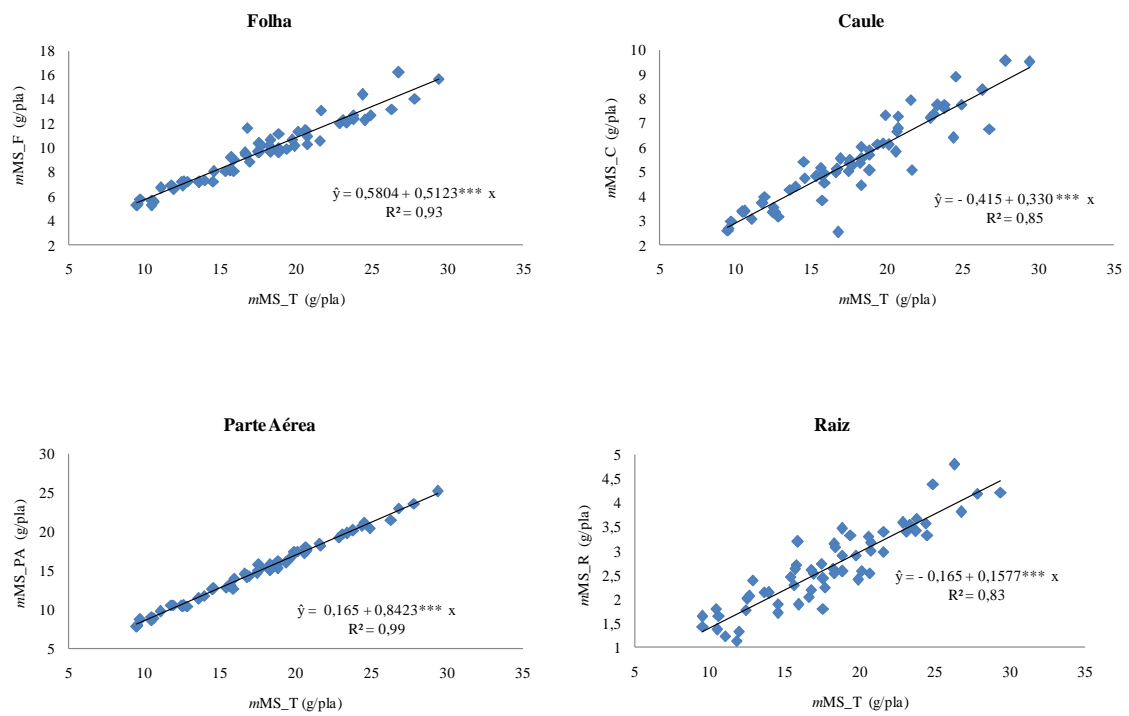


Figura 4 -Equações de massa de matéria seca nos diferentes compartimentos (mMS_{Ci}) em função da massa de matéria seca total na planta (mMS_T) do clone AM-23

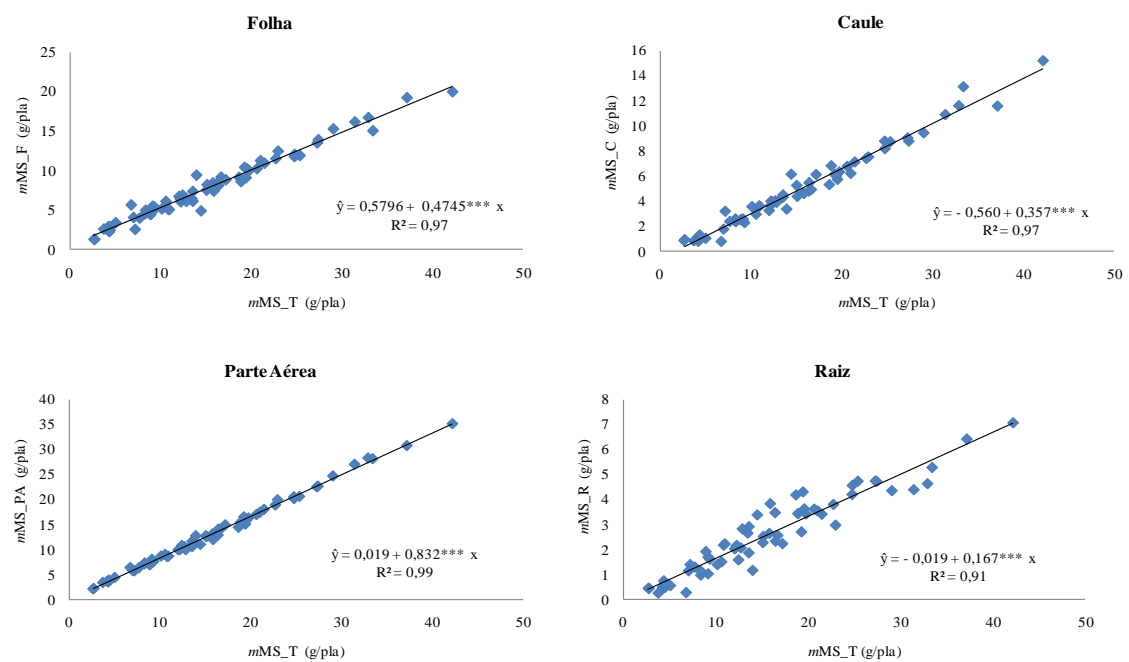


Figura 5 -Equações de massa de matéria seca nos diferentes compartimentos (mMS_{Ci}) em função da massa de matéria seca total na planta (mMS_T) do clone PL-10

Quadro 5 - Alocação de carbono nos diferentes compartimentos de três clones de palma de óleo

Material Genético	Compartimento	Alocação de carbono ¹ %	Intervalo de confiança	
			LS ²	LI ³
AM-21	Folha	50,54 a	0,5216	0,4891
	Caule	33,23 a	0,3446	0,3199
	Raiz	16,23 a	0,1786	0,1460
	Parte aérea	83,77 a	0,8540	0,8214
AM-23	Folha	51,23 a	0,5480	0,4766
	Caule	33,00 a	0,3658	0,2941
	Raiz	15,77 a	0,1765	0,1389
	Parte aérea	84,23 a	0,8611	0,8235
PL-10	Folha	47,45 a	0,4951	0,4539
	Caule	35,78 a	0,3728	0,3427
	Raiz	16,77 a	0,1814	0,1540
	Parte aérea	83,23 a	0,8460	0,8186

Em que: ¹Alocação de carbono nos diferentes compartimentos na coluna com a mesma letra não diferem entre si de acordo com intervalo de confiança a 95 % para declividade; ²corresponde ao limite superior; ³corresponde ao limite inferior

4.3 Alocação de macronutrientes

4.3.1 Compartimento folha

Para alocação de macronutrientes foram ajustadas equações preditivas e o modelo linear foi o que mais se ajustou aos dados de conteúdo de macronutrientes nos diferentes compartimentos em função do conteúdo total de macronutrientes na planta. As declividades das equações expressa à alocação de macronutrientes nos diferentes compartimentos de cada material genético (Figura 6 a Figura 8).

Os três clones de palma de óleo apresentaram comportamento diferenciado quanto à alocação de macronutrientes (Quadro 6). Os maiores acúmulos de S, Ca e Mg na folha foi apresentado pelo clone AM-21. Para o nutriente K, o clone AM-23 apresentou o maior acúmulo (Quadro 6).

Quanto á alocação de N, os clones AM-21 e PL-10 apresentaram maior alocação do que o clone AM-23, porém não diferem entre si. Para a alocação de P, apresentaram comportamento semelhante e não diferem entre si (Quadro 6).

Os materiais genéticos de palma de óleo apresentaram comportamento variável quanto aos valores das alocação dos macronutrientes e seguem uma ordem crescente:

AM-21: P < K < Mg < S < Ca < N; AM-23: P < S < Mg < K < N < Ca e o PL-10: P < S < K < Mg < Ca < N (Quadro 6).

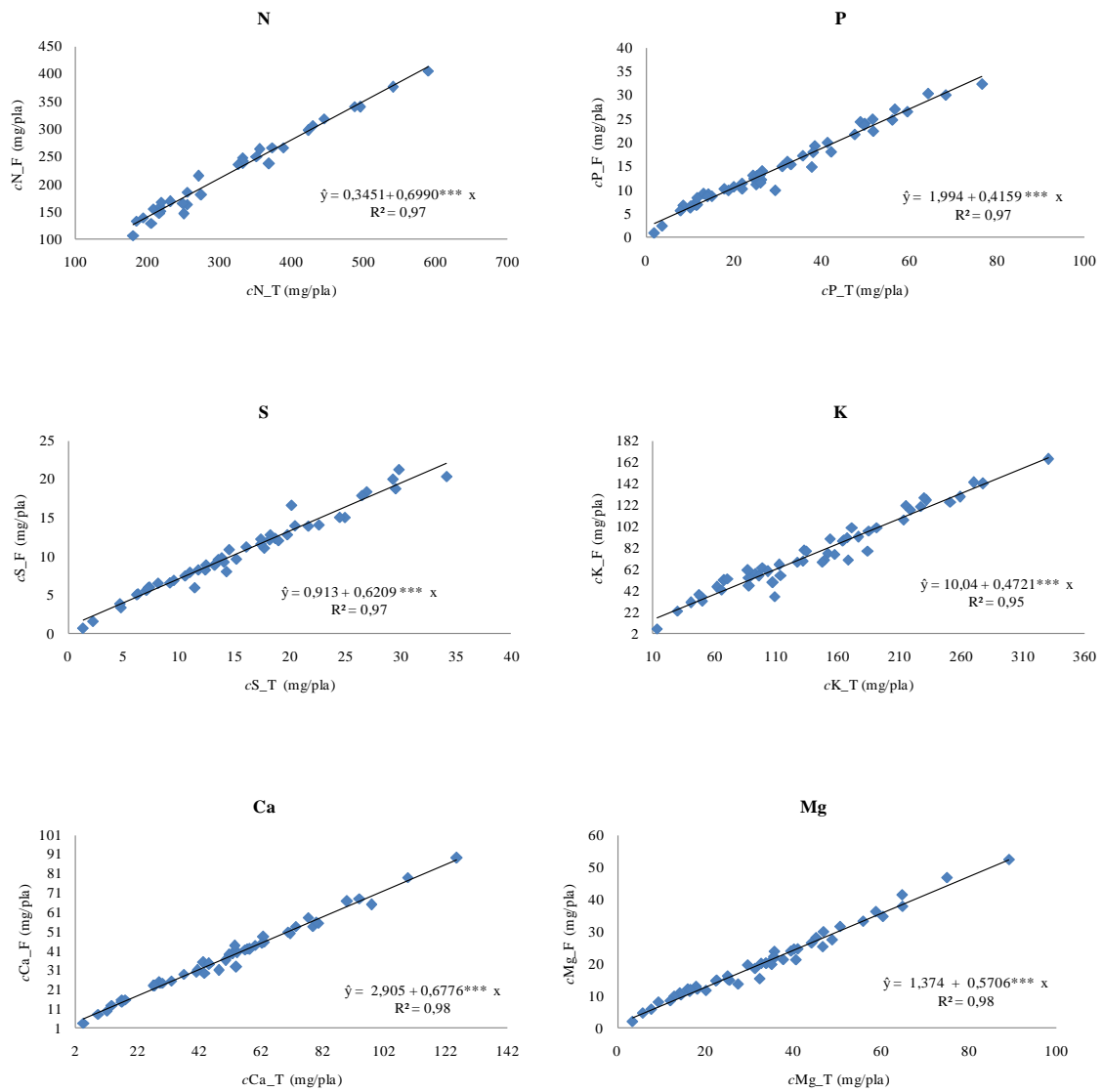


Figura 6 - Equações do conteúdo de macronutrientes (cMN_F) na folha em função do conteúdo de macronutrientes total na planta (cMN_T) do clone AM-21

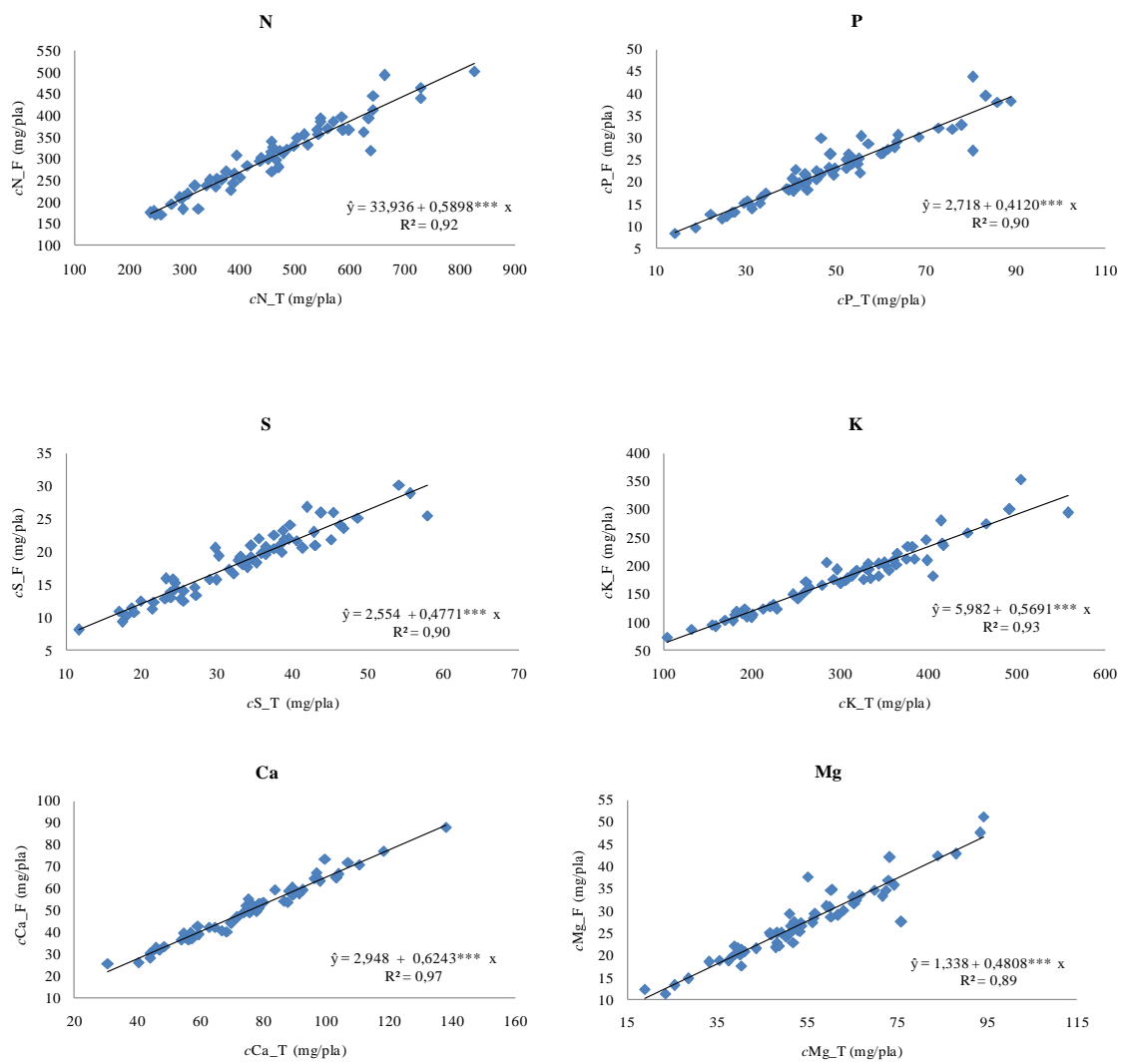


Figura 7 - Equações do conteúdo de macronutrientes (cMN_F) na folha em função do conteúdo de macronutrientes total na planta (cMN_T) do clone AM-23

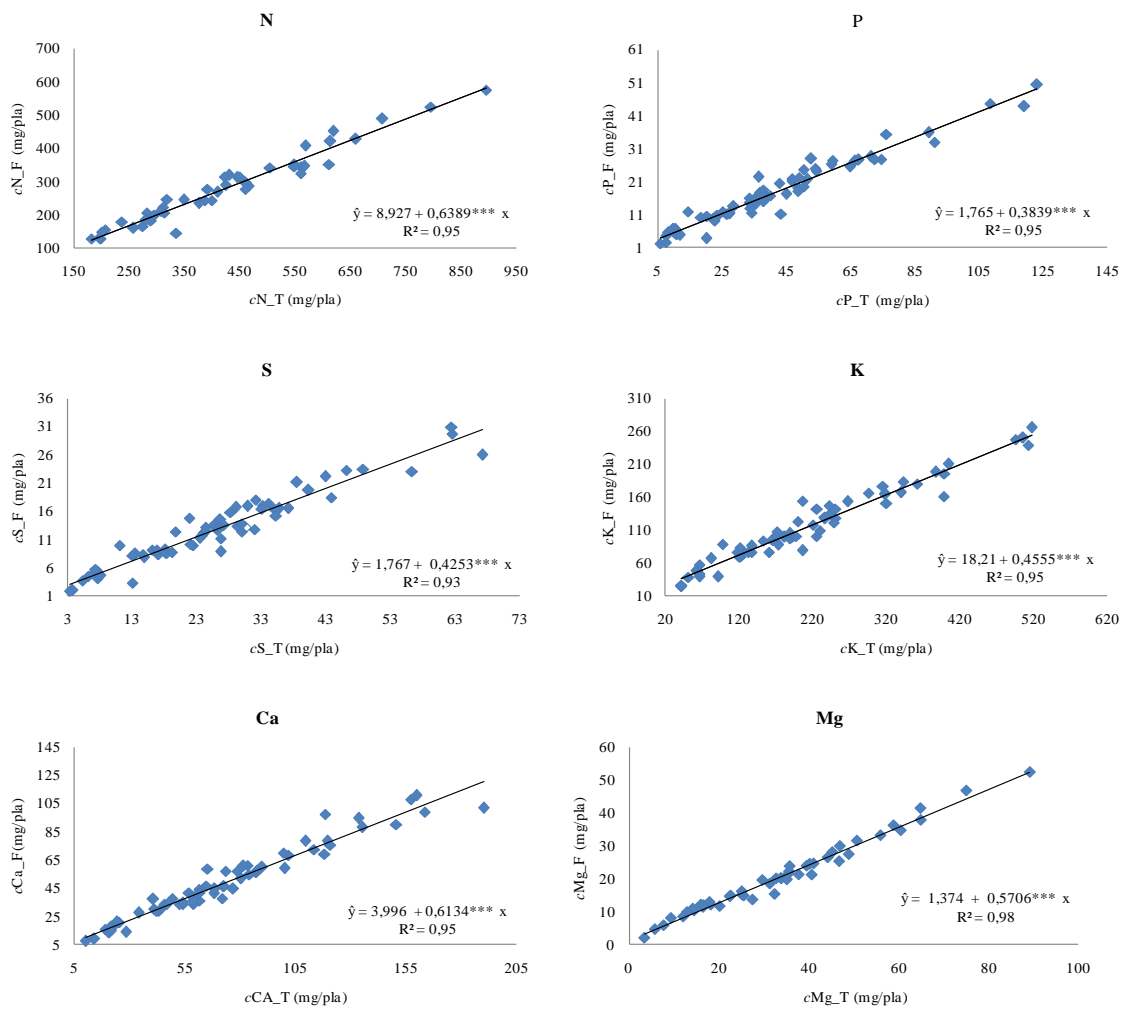


Figura 8 - Equações do conteúdo de macronutrientes (cMN_F) na folha em função do conteúdo de macronutrientes total na planta (cMN_T) do clone PL-10

Quadro 6 - Alocação de macronutrientes no compartimento folha e intervalo de confiança de três clones de palma de óleo

Compartimento: Folha				
Clones	Nutriente	Alocação ¹	Intervalo de Confiança	
			Ls ²	Li ³
		%	-----mg/pla-----	
AM-21	N	69,90 a	0,7386	0,6599
AM-23		58,98 b	0,6351	0,5445
PL-10		63,89 a	0,6827	0,59552
AM-21	P	41,59 a	0,4352	0,3965
AM-23		41,20 a	0,4469	0,3772
PL-10		38,39 a	0,4071	0,3606
AM-21	S	62,09 a	0,6545	0,5872
AM-23		47,71 b	0,5172	0,4369
PL-10		42,53 b	0,4564	0,3941
AM-21	K	47,21 b	0,5031	0,4412
AM-23		56,91 a	0,6106	0,5277
PL-10		45,55 b	0,4826	0,4283
AM-21	Ca	67,76 a	0,7012	0,6540
AM-23		62,43 b	0,6548	0,5938
PL-10		61,34 b	0,6505	0,5764
AM-21	Mg	57,06 a	0,5945	0,5466
AM-23		48,08 b	0,5226	0,4388
PL-10		46,14 b	0,4936	0,4292

Em que: ¹Alocação de macronutrientes no compartimento folha na coluna com a mesma letra não diferem entre si de acordo com intervalo de confiança a 95 % para declividade; ²corresponde ao limite superior; ³corresponde ao limite inferior.

Alguns dos macronutrientes são de maneira geral encontrado mais comumente nas folhas como nas raízes, devido à natureza das estruturas nas quais eles são geralmente utilizados. As folhas por estarem em ativo crescimento necessitam de grande quantidade de nutrientes para a manutenção da homeostase metabólica (SINCLAIR, 1990). Em se tratando de alocação de nutrientes, quando se observa o N e o Ca, é compreensível que eles tenham sofrido uma menor alocação, pois participam de maneira geral em todas as células da planta, até mesmo em tecidos com crescimento menos ativo (NÄSHOLM *et al.*, 2009; WHITE & BROADLEY, 2003).

Por outro lado, alguns nutrientes estão intimamente ligados aos tecidos com alto vigor metabólico. O P, por exemplo, está relacionado principalmente a lipídios de membrana, ao DNA-RNA, trioses e pentoses fosfatadas e ao ATP e ADP (SCHACHTMAN *et al.*, 1998). A resposta das plantas de palma de óleo à aplicação de P está relacionada com as características vegetativas (peso da folha, área foliar e produção de folhas) - fase jovem e características

generativas (rendimento de frutos, número de frutos e peso dos frutos)-fase adulta (FOSTER & PRABOWO, 1996).

O Mg é um componente chave da clorofila e com isso sua alocação tende a ser maior nas folhas (CAKMAK & YAZICI, 2010). O Mg está envolvido no transporte dos carboidratos nas folhas (fluente de CH_2O) e nos cachos (receptor de CH_2O). O equilíbrio entre Mg e K é muito importante para a manutenção das plantas de palma de óleo, pois uma quantidade excessiva de K pode causar uma redução da absorção de Mg e ainda pode cessar a formação completa das proteínas e portanto o comprometimento na produção de óleo (GOH *et al.*, 2003).

O K é um dos nutrientes mais requeridos pelas plantas de palma de óleo nos estágios iniciais, como é o caso das mudas em estudo (GOH *et al.*, 2003). O K está ligado ao transporte ativo de solutos para dentro das células, além do próprio carregamento e descarregamento do floema, além de estar relacionado com a abertura estomática, que não deixa de ser um reflexo do transporte ativo de solutos que ocorre nas células que formam o estômato (ARMENGAUD *et al.*, 2009).

O K é um nutriente cujo seu fornecimento está associado a atividade metabólica das plantas de palma de óleo, é um dos nutrientes mais alocado no compartimento folha. Esta maior alocação de K na folha da palma de óleo, como constata (GOH *et al.*, 2003), pode estar associada a suas funções no compartimento vegetal. O K desempenha um papel importante na conversão da luz em energia bioquímica durante o processo de fotossíntese e por isso é requerido para a fixação de CO_2 , além de ser requerido para o crescimento do tecido meristemático.

Já o S, em menor quantidade, está ligado principalmente à estrutura de algumas proteínas (aminoácido cisteína) e também está relacionado ao transporte de elétrons no fotossistema I (HELL, 1997). Há muito pouca informação sobre os efeitos do S no crescimento e rendimento da palma de óleo. O pouco que se sabe a respeito do efeito do nutriente à planta após sua aplicação e absorção é o aumento a produção de matéria seca das plantas (FORDE, 1968)

Associando estes resultados com a produção de matéria seca, verifica-se que o clone AM-23 e PL-10 apresentaram maior produção de matéria seca das folhas e um menor conteúdo de nutrientes neste compartimento, enquanto o clone AM-21 apresentou um menor produção de matéria seca das folhas e um maior acúmulo para grande parte dos macronutrientes, exceto para N e K. Portanto, os clones AM-23 e PL-10 podem ser mais

eficientes na alocação de certos nutrientes, já que apresentaram menor alocação para a maioria dos macronutrientes quando comparado com o clone AM-21.

Além disso, o clone AM-21 pode apresentar uma característica peculiar quando comparados aos demais clones. Este material está na fase jovem e apresentou maior acúmulo para a maioria dos nutrientes avaliados, assim na fase adulta, fase reprodutiva os nutrientes tende a ser translocados para os frutos, ou seja, este material pode ter um crescimento vegetativo menor, mas quando adulto pode apresentar uma alta produtividade de frutos, associada a translocação e uso de nutrientes.

4.3.2 Compartimento caule

Para determinação da alocação de macronutrientes no caule foram determinadas equações preditivas de modelo linear, assim como para o compartimento folha. As declividades das equações representam a alocação de macronutrientes no compartimento caule(Figura 9 a Figura 11).

Os três clones apresentaram variação quanto à alocação de macronutriente para ao caule (Quadro 7).O clone AM-23 foi superior aos outros clones quanto ao acúmulo de N, também apresentou comportamento semelhante ao clone PL-10 quanto à alocação de P, S, Ca e Mg, porém não houve diferenças significativas entre eles (Quadro 7).

Todos os materiais genéticos apresentaram maior acúmulo de P quando comparado aos outros macronutrientes, porém não se diferem. Enquanto para K, os clones AM-21 e PL-10 apresentaram alocações superiores e comportamento semelhante (Quadro 7). De maneira geral, os clones seguem uma ordem crescente quanto à alocação de macronutrientes no compartimento caule: AM-21: $N < S < Ca < K < Mg < P$; AM-23: $K < S < Ca < N < Mg < P$; PL10 : $N < S < Ca < K < Mg < P$ (Quadro 7).

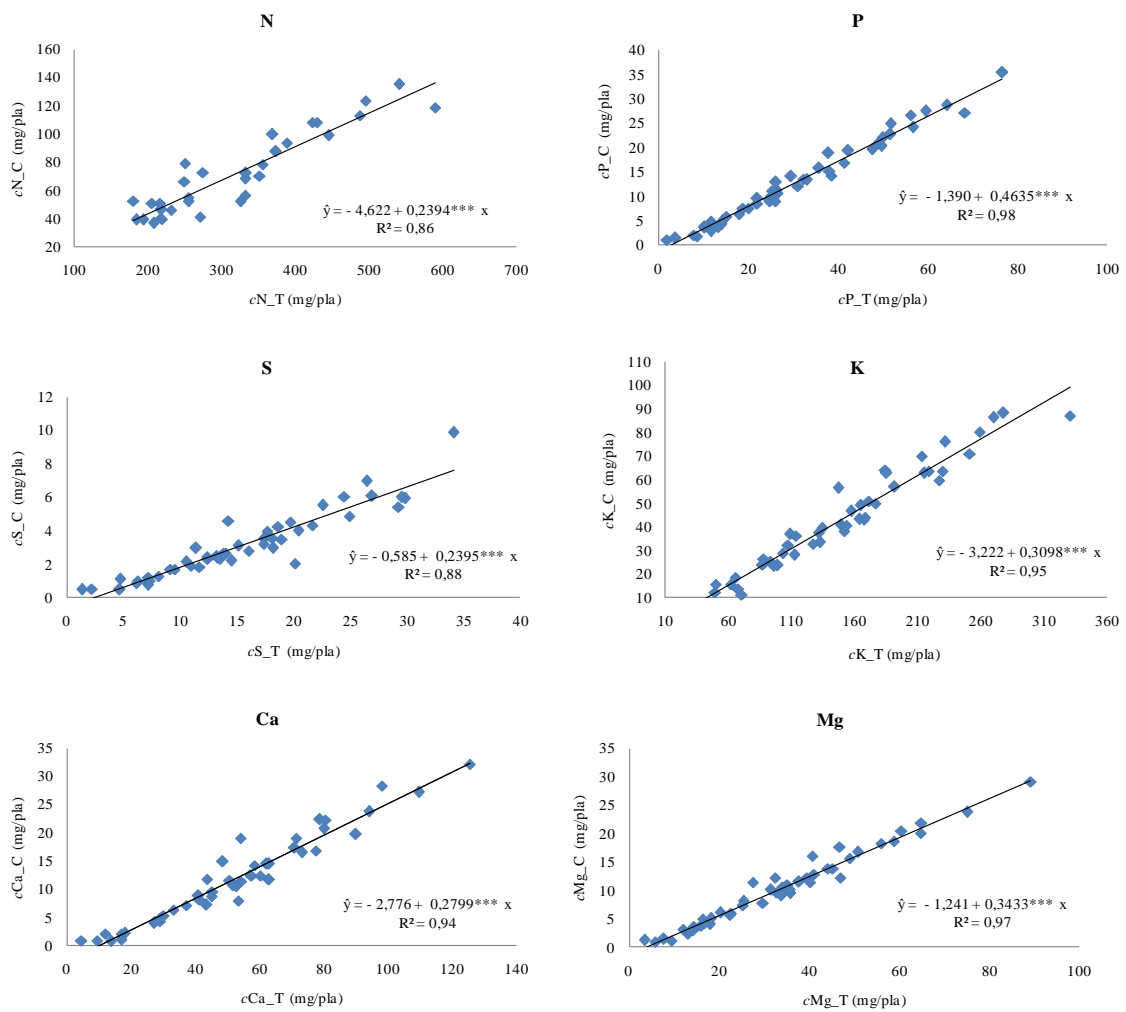


Figura 9 - Equações do conteúdo de macronutrientes no caule (cMN_C) em função do conteúdo de macronutrientes total na planta (cMN_T) do clone AM-21

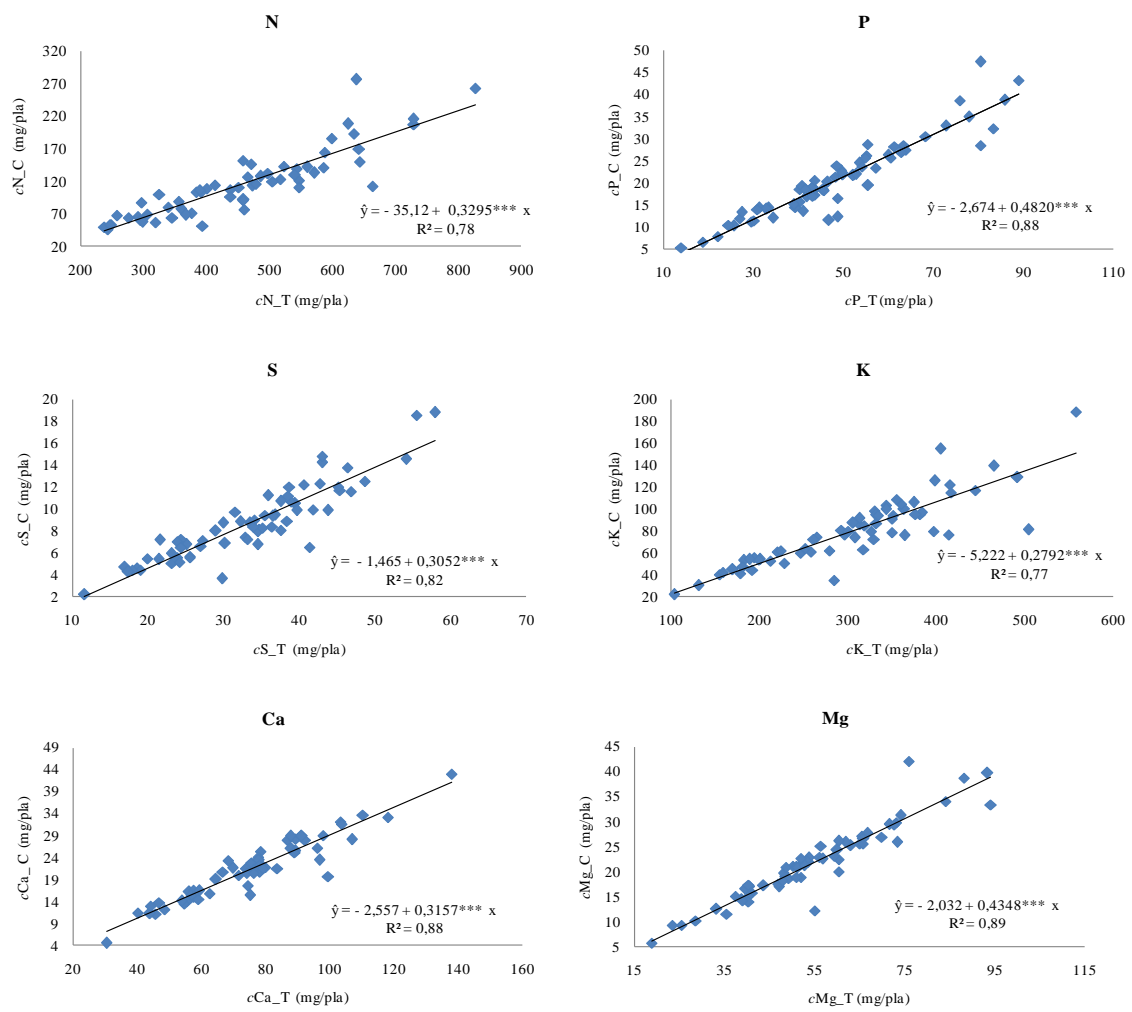


Figura 10 - Equações do conteúdo de macronutrientes no caule (cMN_C) em função do conteúdo de macronutrientes total na planta (cMN_T) do clone AM-23

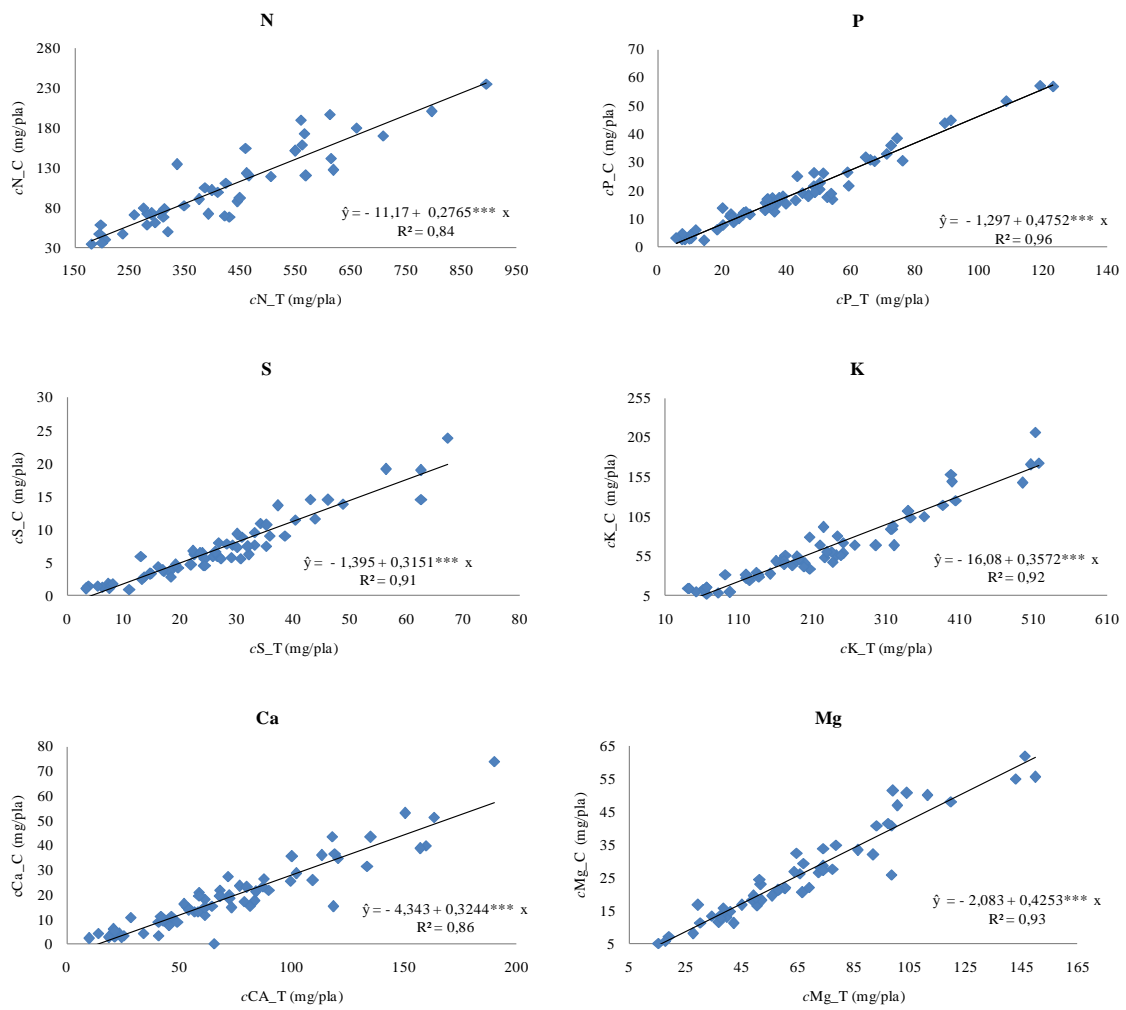


Figura 11 - Equações do conteúdo de macronutrientes no caule (cMN_C) em função do conteúdo de macronutrientes total na planta (cMN_T) do clone PL-10

Quadro 7 - Alocação de macronutrientes no compartimento caule e intervalo de confiança de três clones de palma de óleo

Compartimento: Caule				
Clones	Nutriente	Alocação ¹	Intervalo de Confiança	
			LS ²	LI ³
		%	mg/pla	
AM-21	N	23,94 b	0,2755	0,2032
AM-23		32,95 a	0,3752	0,28374
PL-10		27,65 b	0,313	0,2399
AM-21	P	46,35 a	0,4822	0,4447
AM-23		48,20 a	0,5264	0,4376
PL-10		47,52 a	0,5006	0,4497
AM-21	S	23,95 b	0,2658	0,2133
AM-23		30,52 a	0,3412	0,2692
PL-10		31,51 a	0,3412	0,2889
AM-21	K	30,98 a	0,3297	0,2899
AM-23		27,92 b	0,3185	0,2398
PL-10		35,72 a	0,3848	0,3296
AM-21	Ca	27,99 b	0,3016	0,2581
AM-23		31,57 a	0,3459	0,2854
PL-10		32,44 a	0,3589	0,2898
AM-21	Mg	34,33 b	0,3614	0,3252
AM-23		43,48 a	0,3955	0,4741
PL-10		42,53 a	0,4548	0,3959

Em que: ¹Alocação de macro nutrientes no compartimento caule na coluna com a mesma letra não diferem entre si de acordo com intervalo de confiança a 95 % para declividade; ²corresponde ao limite superior; ³corresponde ao limite inferior.

Os três materiais genéticos não apresentaram um padrão para alocação de nutrientes no caule. Esta particularidade pode estar associada a uma característica do compartimento vegetal. Segundo os autores White *et al.*(1981), por se tratar de mudas, a maioria da alocação dos nutrientes deve ser ainda influenciada pelos elementos de vaso do xilema e da seiva presente. Com isso é difícil perceber com exatidão algum padrão na alocação de nutrientes, pois o conteúdo xilemático é amplamente variável de uma planta para outra.

O caule é um compartimento vegetal formado principalmente por lignina, suberina e celulose, conforme a idade das plantas, mas de forma geral não é um tecido com atividade metabólica vigorosa a não ser em algumas regiões limitadas do floema (KRAMER, 2012; WHITE *et al.*, 1981). Ao correlacionar a literatura com os resultados de alocação de macronutrientes no caule para os três materiais genéticos de palma de óleo, se justifica

encontrar resultados maiores de alocação de macronutrientes para o caule, já que este compartimento apresenta atividade vigorosa e a alocação dos nutrientes é essencial.

Além disso, há necessidade dos nutrientes para o desenvolvimento e crescimento do caule, pois é na fase de pré-viveiro que este compartimento inicia um crescimento vigoroso e seu alongamento vertical. De acordo com Jacquermad (1979) e Zimmermann & Tomlinson (1965), durante o crescimento das mudas de palma de óleo ocorre a formação de uma base de haste sem alongamento internodal. Somente a partir do terceiro ano da cultura que a palma de óleo atinge seu ápice do diâmetro local, obtendo a forma de um cone invertido.

Além disso, a alocação de macronutrientes no caule na fase jovem, pode servir como reserva futura para a fase adulta (reprodutiva). Segundo Goh *et al.* (2003), as plantas de palma de óleo podem remobilizar uma proporção dos nutrientes alocados no caule durante o período de maior exigência nutricional pela planta. Caso não tenha disponibilidade no solo ou dose recomendada abaixo do que a planta necessita, parte dos nutrientes do compartimento caule é remobilizado para outros órgãos para atender as exigências na cultura no momento.

4.3.3 Compartimento parte aérea

A alocação de macronutrientes na parte aérea representa a eficiência de translocação das plantas. Assim para os três materiais genéticos foram ajustadas equações preditivas de modelo linear, cuja as declividades representam a eficiência de translocação ou a alocação dos macronutrientes na parte aérea de cada material genético (Figura 12a Figura 14).

Os três clones apresentaram comportamento diferenciado quanto à alocação de macronutrientes na parte aérea, entretanto apresentaram comportamento semelhante e não houve diferença significativa quanto à alocação de N, P e Mg. Já para a alocação de S e Ca, o clone AM-21 foi superior aos outros clones. E os clones AM-23 e PL-10 apresentaram maior alocação de K na parte aérea, porém não diferem entre (Quadro 8).

Dentre os compartimentos avaliados, a folha é responsável por alocar a maior parte dos macronutrientes. A alocação de macronutrientes na parte aérea praticamente seguiu um padrão de distribuição como se observa na ordem crescente a seguir, exceto para os nutrientes K, Mg e N: AM-21: $K < S < P < Mg < N < Ca$; AM-23: $S < K < P < Mg < N < Ca$ e PL-10: $S < K < P < Mg < N < Ca$ (Quadro 8). Um dos nutrientes mais acumulados pelos três clones foi o N enquanto o K foi o menor nutriente acumulado na parte aérea em comparação com os outros (Quadro 8). Apesar do menor acúmulo nos compartimentos vegetais, o K é um dos elementos mais exigidos pela cultura da palma e apresenta interação com o N.

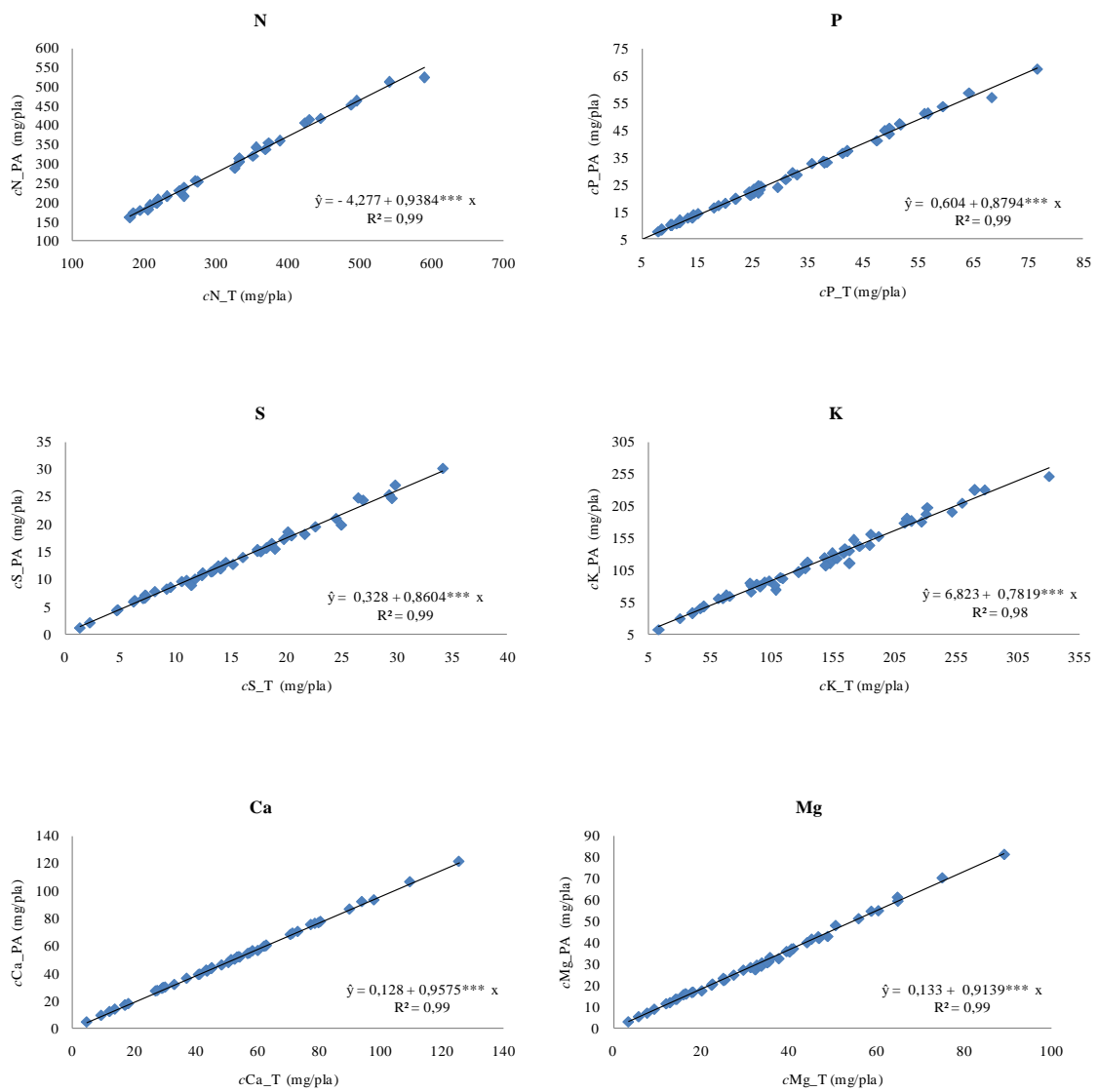


Figura 12 - Equações do conteúdo de macronutrientes na parte aérea (cMN_PA) em função do conteúdo de macronutrientes total na planta (cMN_T) do clone AM-21

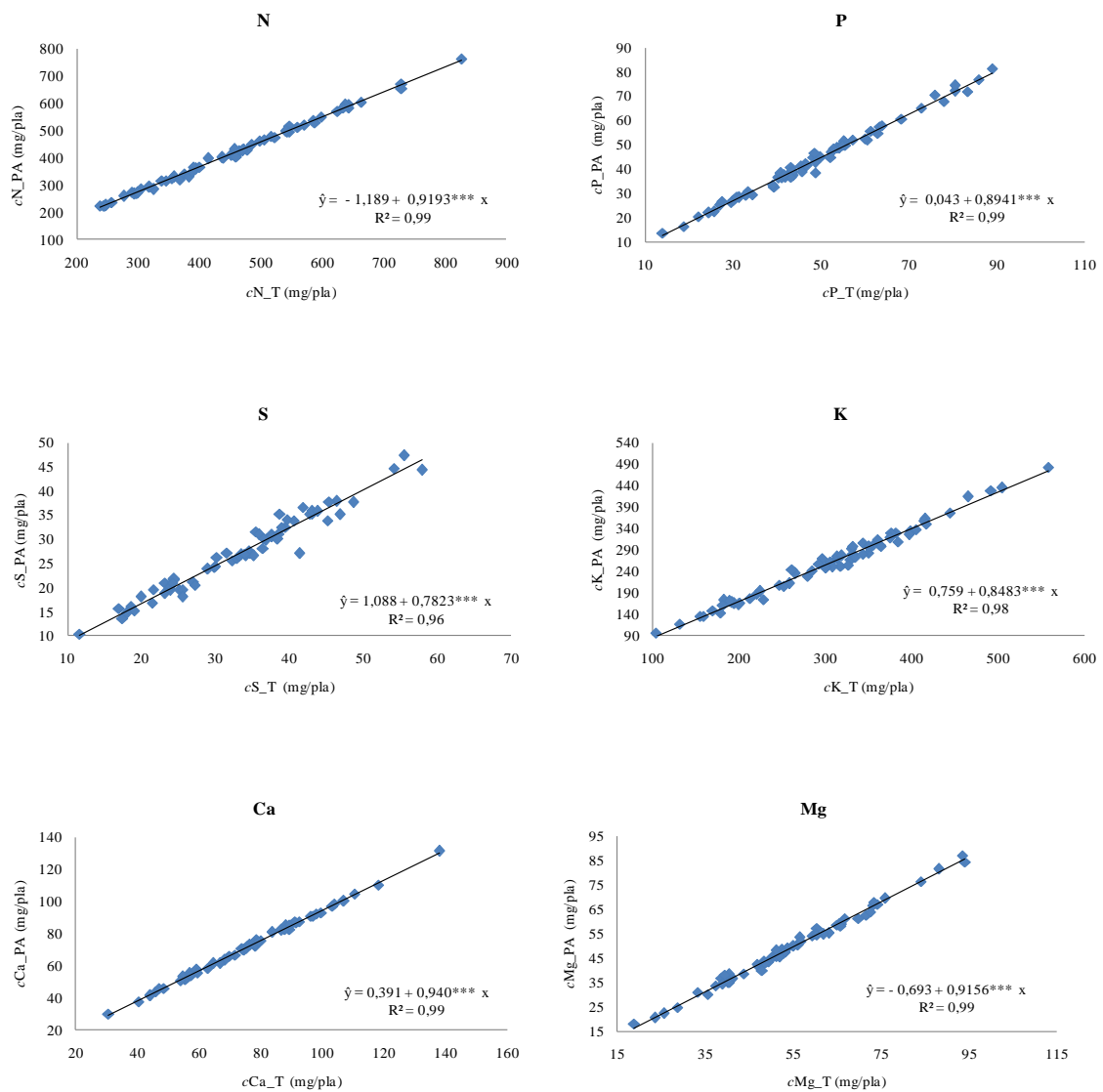


Figura 13 - Equações do conteúdo de macronutrientes na parte aérea (cMN_PA) em função do conteúdo de macronutrientes total na planta (cMN_T) do clone AM-23

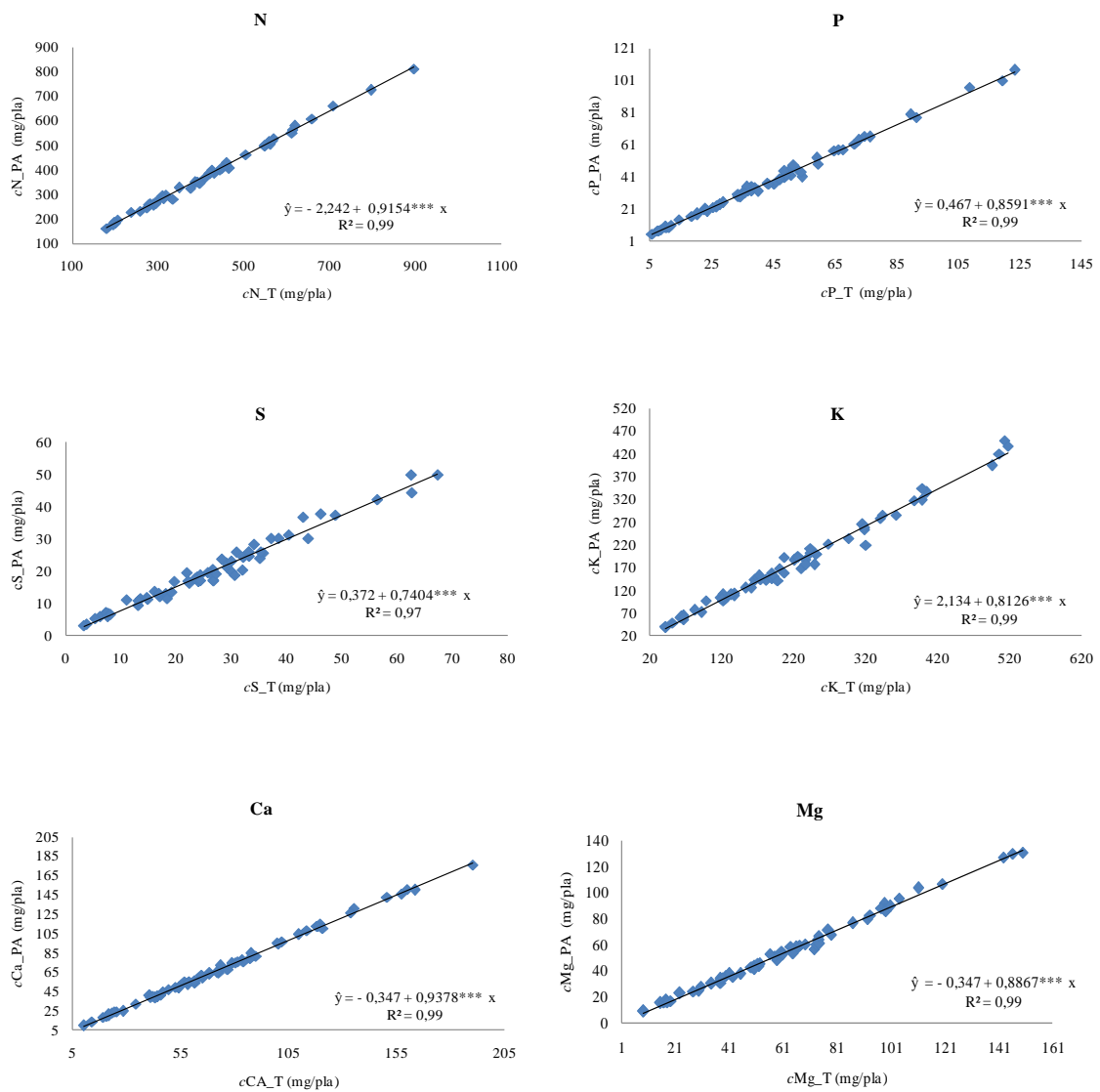


Figura 14 - Equações do conteúdo de macronutrientes na parte aérea (cMN_PA) em função do conteúdo de macronutrientes total na planta (cMN_T) do clone PL-10

Quadro 8 - Alocação de macronutrientes na parte aérea e intervalo de confiança de três clones de palma de óleo

Compartimento: Parte Aérea				
Clones	Nutriente	Alocação ¹	Intervalo de Confiança	
		%	LS ²	LI ³
		mg/pla		
AM-21	N	93,84 a	0,9671	0,9096
AM-23		91,93 a	0,9338	0,9046
PL-10		91,54 a	0,9317	0,899
AM-21	P	87,94 a	0,8954	0,8634
AM-23		89,41 a	0,9155	0,8726
PL-10		85,91 a	0,874	0,8441
AM-21	S	86,04 a	0,8834	0,8374
AM-23		78,23 b	0,8234	0,7412
PL-10		74,04 b	0,7722	0,7084
AM-21	K	78,19 b	0,8118	0,7519
AM-23		84,83 a	0,8747	0,8219
PL-10		81,26 a	0,8374	0,7879
AM-21	Ca	95,75 a	0,9646	0,9503
AM-23		94,00 b	0,9523	0,9277
PL-10		93,78 b	0,9494	0,9261
AM-21	Mg	91,39 a	0,9282	0,8995
AM-23		91,56 a	0,9362	0,8949
PL-10		88,67 a	0,9038	0,8697

Em que: ¹Alocação de macronutrientes na coluna com a mesma letra não diferem entre si de acordo com intervalo de confiança a 95 % para declividade; ²corresponde ao limite superior; ³corresponde ao limite inferior.

A alocação de N e K são essenciais para o desenvolvimento da palma de óleo, principalmente o N na fase jovem, o qual é responsável pela produção das folhas, aumento da área foliar e taxa de assimilação de CO₂. O crescimento vegetativo e o índice de área foliar são maiores quando as plantas recebem a aplicação de fertilizantes nitrogenados (BREURE, 2003). Já o K é um dos elementos mais requeridos pela palma de óleo, assim como nas outras plantas é responsável pela abertura e fechamento dos estômatos. O N e K apresentam interação positiva, o sinergismo entre os dois nutrientes na palma de óleo aumenta a produção de matéria seca vegetativa e índice de área foliar.

Nas plantas jovens, a adição de fertilizantes com N e K é mais efetiva, portanto, o aumento em produção de matéria seca e interceptação por luz é maior em plantas jovens do que nas adultas (CORLEY & MOK, 1972).

Os materiais genéticos em estudo são originários de propagação vegetativa, ou seja, são plantas clonais. Segundo Woo *et al.* (1994) as plantas clonais apresentam requerimento

nutricional maior dos que as plantas seminíferas. A maior ou menor demanda por nutrientes depende, portanto, das características genéticas do material vegetal, que podem ser potencializadas pela seleção *vs* melhoramento.

As palmeiras clonais de palma de óleo são mais exigentes em nutrientes na fase inicial quando comparada com as palmeiras seminíferas, isso se deve ao fato de que os materiais clonais apresentam maior produção de cachos e óleo durante a fase reprodutiva (Ng *et al.*, 2003). Sendo uma forte indicação de que é necessária uma maior atenção para a recomendação de nutrientes, no que se refere à manutenção de balanços corretos e suas proporções e ao uso de fontes adequadas de fertilizantes associado ao material genético (Ng *et al.*, 2003).

A alocação de macronutrientes na parte aérea representa a eficiência de absorção das plantas. Segundo a literatura, o índice de translocação refere-se ao movimento ou à transferência do íon da raiz para a parte aérea da planta, sendo representado pela porcentagem da quantidade total absorvida que foi transferida para a parte aérea (ABICHEQUER & BOHMEN, 1998).

Assim, de acordo com os valores de alocação obtidos na parte aérea, os três clones de palma de óleo AM-21, AM-23 e PL-10 apresentaram maior translocação de N e Ca, já que a maior parte da quantidade absorvida destes nutrientes se encontram na parte aérea. Portanto, os clones apresentaram o mesmo índice de translocação para N quando comparados entre si. E para Ca o clone AM-21 foi superior aos outros, já os clones AM-23 e PL-10 não difere entre si, quanto a proporção de Ca na parte aérea, portanto apresentaram índice de translocação semelhante.

4.3.4 Compartimento raiz

Para alocação de macronutrientes na raiz dos três materiais genéticos foram ajustadas equações preditivas de modelo linear cuja as declividades representa a alocação de macronutrientes (Figura 15 a Figura 17).

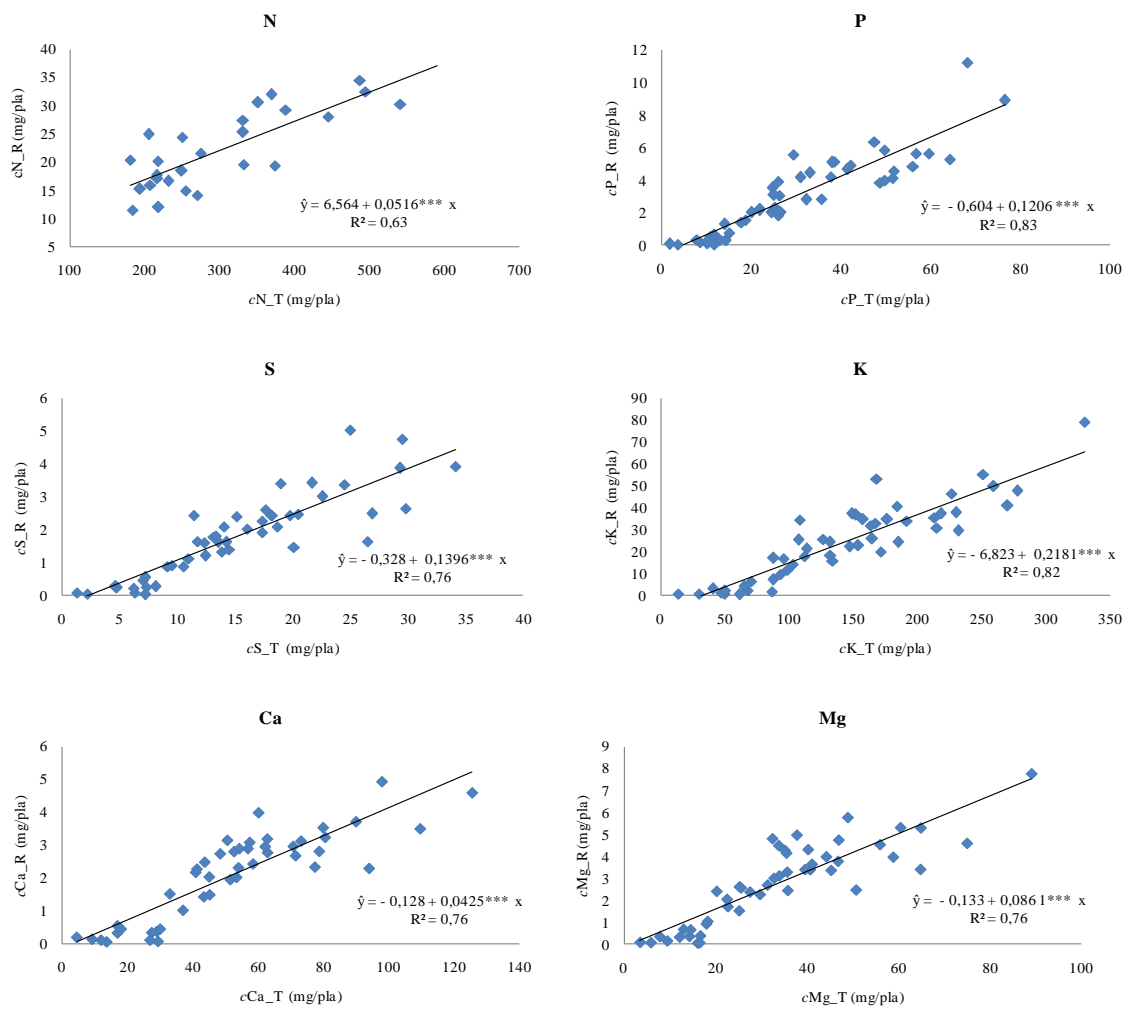


Figura 15 - Equações do conteúdo de macronutrientes na raiz (cMN_R) em função do conteúdo de macronutrientes total (cMN_T) na planta do clone AM-21

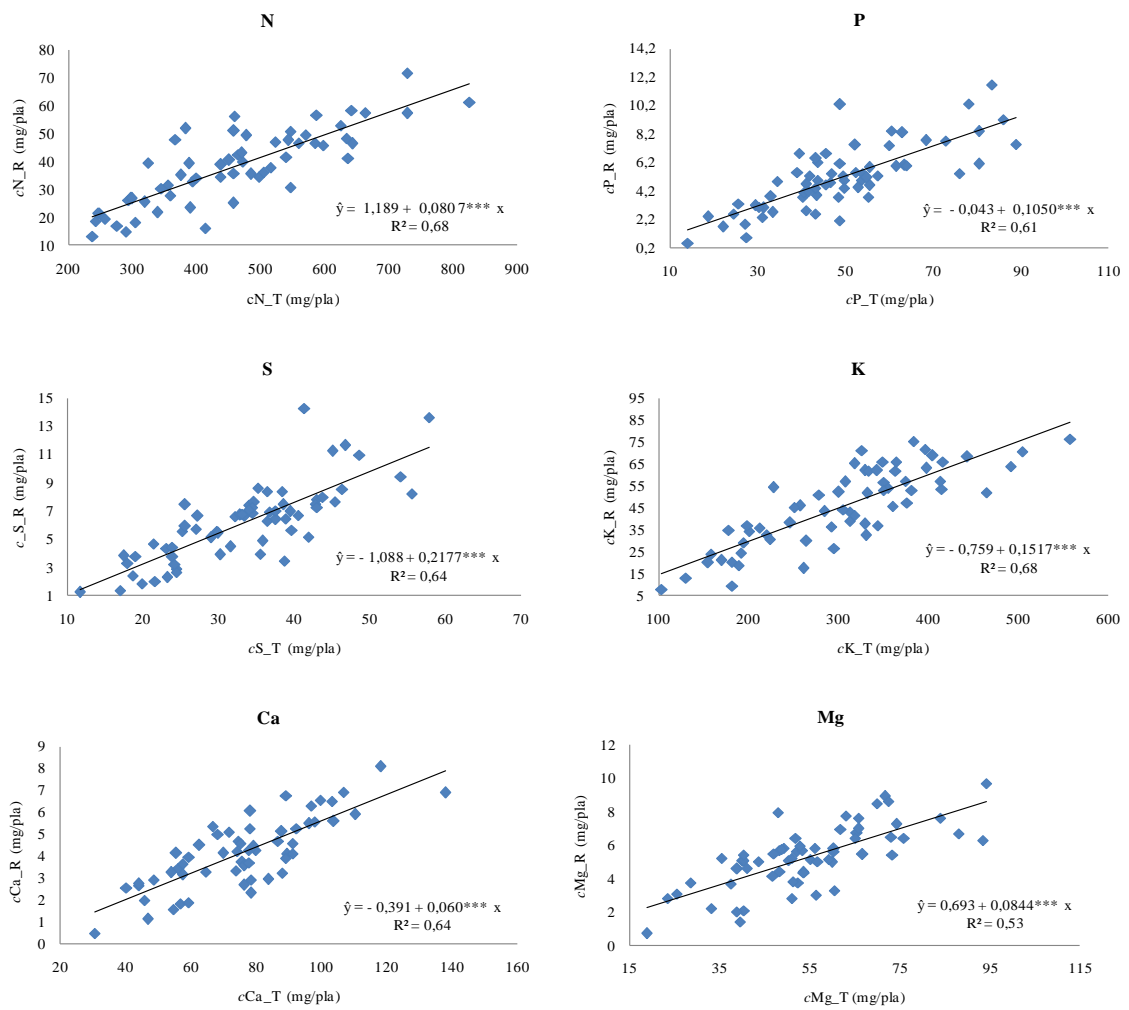


Figura 16 - Equações do conteúdo de macronutrientes na raiz (cMN_R) em função do conteúdo de macronutrientes total (cMN_T) na planta do clone AM-23

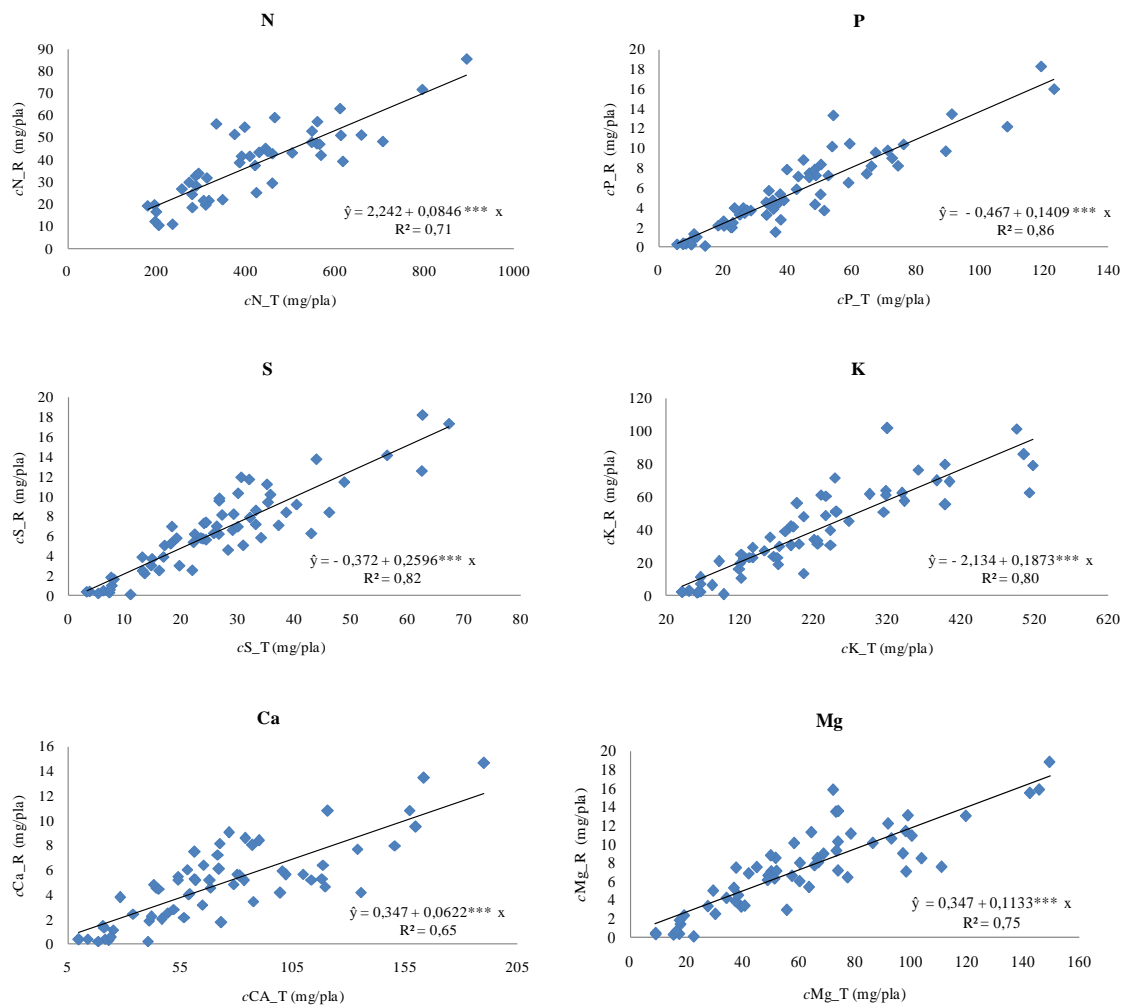


Figura 17 - Equações do conteúdo de macronutrientes na raiz (cMN_R) em função do conteúdo de macronutrientes total (cMN_T) na planta do clone PL-10

O clone PL-10 apresentou 6,22 % do Ca, 11,33 % do Mg alocados na raiz e foi superior a alocação destes nutrientes quando comparados com os outros clones. E o clone AM-21 foi superior quanto à alocação de K na raiz (Quadro 9).

Para a alocação de P e S na raiz, os três clones de palma de óleo não apresentaram diferença significativa entre eles. Enquanto para a alocação de N, os clones AM-23 e PL-10 apresentaram comportamento semelhante, porém não diferem entre si (Quadro 9).

Os clones apresentaram semelhança quanto á ordem crescente da alocação de macronutrientes na raiz, exceto para os nutrientes K e S (Quadro 9): AM-21: Ca < N < Mg < P < S < K; AM-23: Ca < N < Mg < P < K < S; PL-10: Ca < N < Mg < P < K < S.

Quadro 9 - Alocação de macronutrientes no compartimento raiz e intervalo de confiança de três clones de palma de óleo

Compartimento: Raiz				
Clones	Nutriente	Alocação ¹	Intervalo de Confiança	
			Ls ²	Li ³
		%	-----mg/pla-----	
AM-21	N	5,16 b	0,0903	0,0329
AM-23		8,07 a	0,0953	0,0661
PL-10		8,46 a	0,1001	0,06823
AM-21	P	12,06 a	0,1366	0,1046
AM-23		10,50 a	0,1273	0,0844
PL-10		14,09 a	0,1558	0,1259
AM-21	S	13,96 a	0,1625	0,1166
AM-23		21,77 a	0,2587	0,1766
PL-10		25,96 a	0,2915	0,2277
AM-21	K	21,81 a	0,2481	0,1881
AM-23		15,17 b	0,178	0,1253
PL-10		18,73 b	0,212	0,1626
AM-21	Ca	4,25 b	0,0496	0,0354
AM-23		6,00 b	0,0722	0,047
PL-10		6,22 a	0,0738	0,0505
AM-21	Mg	8,61 b	0,1004	0,0716
AM-23		8,44 b	0,105	0,0637
PL-10		11,33 a	0,1303	0,0962

Em que: ¹Alocação de macronutrientes no compartimento raiz na coluna com a mesma letra não diferem entre si de acordo com intervalo de confiança a 95 % para declividade; ²corresponde ao limite superior; ³corresponde ao limite inferior.

Ao relacionar os dados de alocação de macronutrientes na raiz das mudas dos três clones de palma de óleo com a literatura fica claro a importância e a necessidade dos macronutrientes para o compartimento vegetal. Conforme relata o autor Larcher (2006), o sistema radicular desempenha um papel fundamental na aquisição de nutrientes na fase de pré viveiro, o maior investimento em raízes pelas mudas ocorre quando há menor disponibilidade de nutrientes nos estágios iniciais de crescimento das plantas, depois que as reservas da semente se esgotam. Nessa fase, a planta precisa de pleno abastecimento de nutrientes e água para manter seu crescimento e diferenciação.

Quanto á alocação de Ca e Mg, o clone PL-10 foi superior na alocação dos nutrientes quando comparado com os outros clones, enquanto o clone AM-21 apresentou maior alocação

para K. Esta variabilidade na alocação de nutrientes pode estar associada ao material genético como afirma (OLLIVIER *et al.*, 2016).

De acordo com os autores Ollivier *et al.*(2016), é provável que a variabilidade genética no tamanho e no conteúdo de nutrientes nos diferentes compartimentos vegetais da palma de óleo esteja ligada a diferenças na captação de nutrientes e à eficiência de uso entre os materiais genéticos de palma de óleo, mas apesar de todos os esforços feitos nessa área de pesquisa, essa variabilidade genética ainda é relativamente desconhecida.

Portanto, é necessário avaliarmos com cuidado a alocação dos nutrientes nos diferentes compartimentos vegetais, principalmente na raiz. O entendimento sobre a arquitetura do sistema radicular das palmeiras e absorção de nutrientes ainda é pouco pesquisado, pela dificuldade da amostragem e coleta do material. O sistema radicular e sua relação com absorção e alocação de nutrientes nas diferentes fases da palma de óleo é muito importante e fundamental para se aperfeiçoar estratégias de manejo da adubação, que atualmente se baseiam no conhecimento gerado pelas variedades africanas (GLÓRIA, 2016).

4.4 Eficiência de aquisição

Para Eficiência de aquisição foram ajustadas equações preditivas de modelo linear cuja as declividades expressam a eficiência de aquisição ou absorção dos macronutrientes de cada um dos clones (Figura 18 a Figura 20).

Os três materiais genéticos de palma de óleo apresentaram comportamento diferenciado quanto á eficiência de aquisição ou absorção dos macronutrientes. O clone AM-21 foi mais eficiente em absorver P e o clone AM-23 em absorver K quando comparado com os outros clones.

Para os nutrientes N e S, os clones AM-21 e AM-23 apresentaram a mesma eficiência de aquisição. Os clones AM-21 e PL-10 apresentam comportamento semelhante e não diferem entre si na eficiência de absorção para K e Ca. Já para a absorção de Mg, os três clones de palma de óleo apresentaram a mesma eficiência de absorção (Quadro 10).

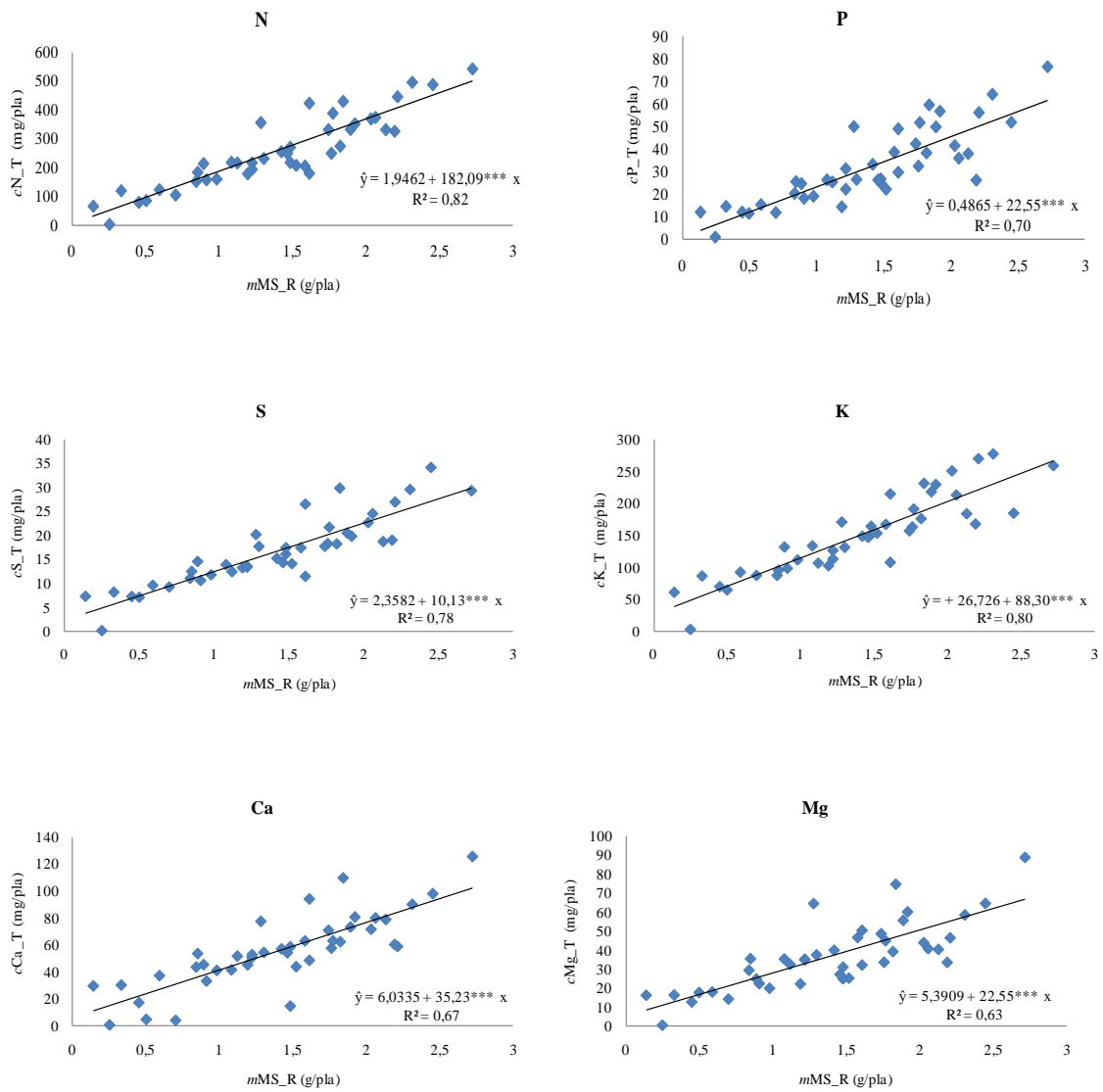


Figura 18 - Equações do conteúdo total de macronutrientes (cMN_T) em função da massa de matéria seca das raízes do clone (mMS_R) de palma de óleo AM-21

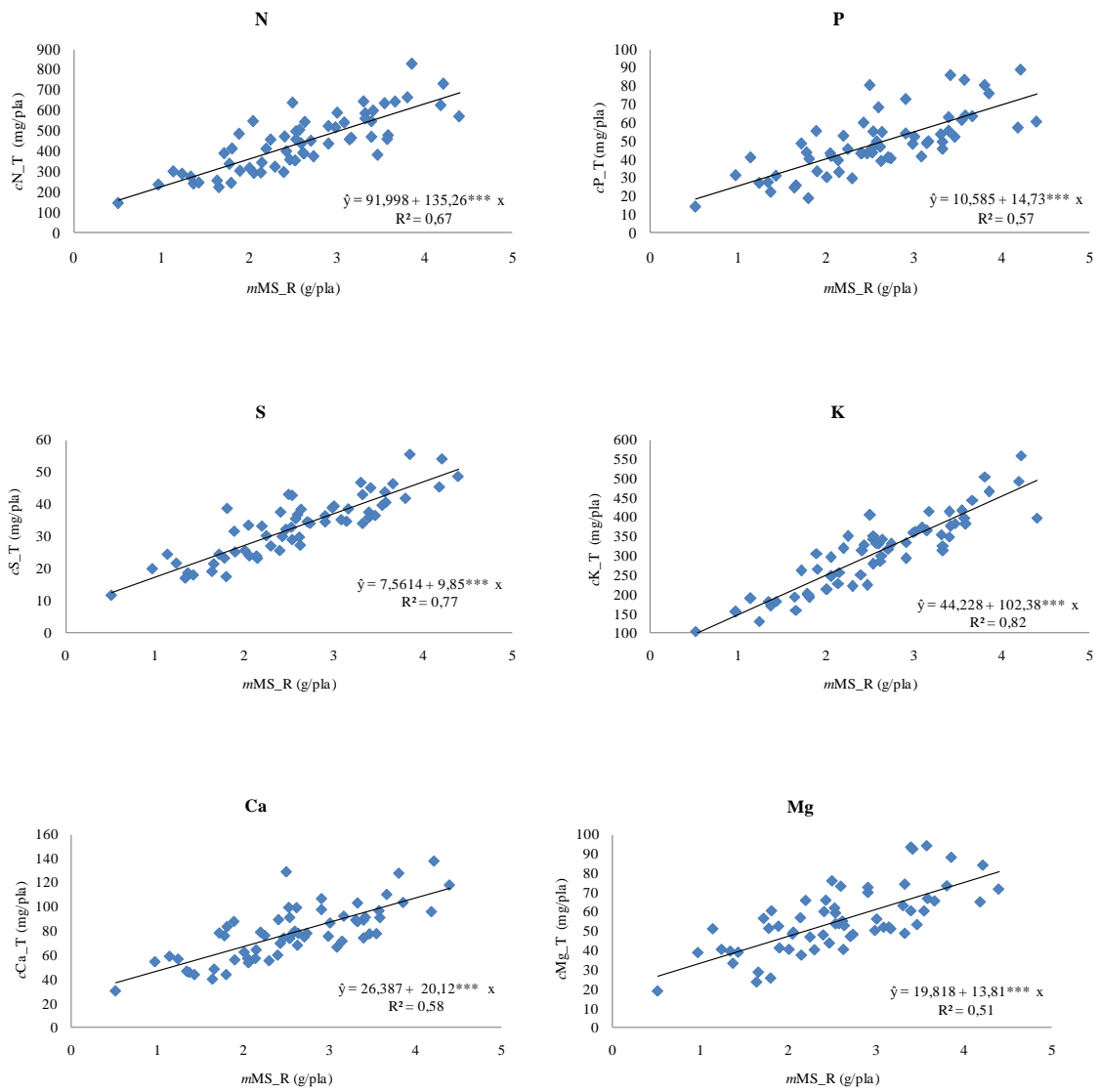


Figura 19 - Equações do conteúdo total de macronutrientes (cMN_T) em função da massa de matéria seca das raízes do clone (mMS_R) de palma de óleo AM-23

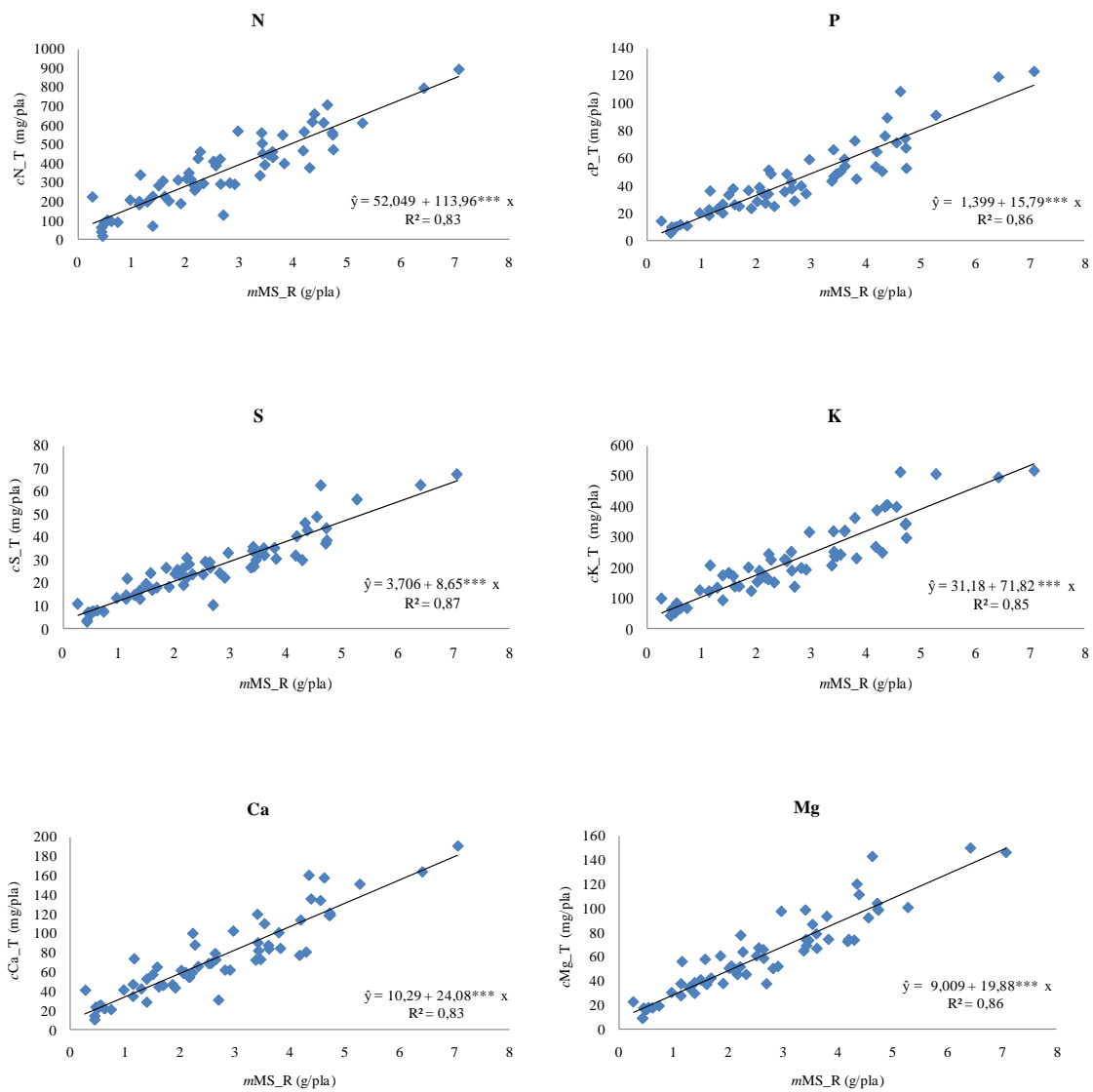


Figura 20 - Equações do conteúdo total de macronutrientes (cMN_T) em função da massa de matéria seca das raízes do clone (mMS_R) de palma de óleo PL-10

Quadro 10- Coeficientes das equações do conteúdo de nutrientes total na planta (mg/pla) em função da massa de matéria seca das raízes (g/pla) de três clones de palma de óleo

Material Genético	Nutriente	$ea_Nui_Pla^1$	Intervalo de confiança	
			Ls^2	Ls^3
		g/mg	g/pla	
AM-21	N	182,09 a	209,01	155,16
AM-23		135,26 a	159,76	110,75
PL-10		113,96 b	127,44	100,47
AM-21	P	22,55 a	27,19	17,92
AM-23		14,73 b	18,07	11,38
PL-10		15,79 b	17,45	14,13
AM-21	S	10,13 a	11,83	8,42
AM-23		9,85 a	11,26	8,43
PL-10		8,65 b	9,51	7,78
AM-21	K	88,30 b	102,48	74,13
AM-23		102,38 a	114,82	89,93
PL-10		71,83 b	79,67	63,97
AM-21	Ca	35,23 a	43,18	27,26
AM-23		20,12 b	24,57	15,66
PL-10		24,08 a	26,88	21,28
AM-21	Mg	22,55 a	28,08	17,02
AM-23		13,81 a	17,35	10,27
PL-10		19,88 a	21,99	17,78

Em que: ¹Coeficientes (ea_Nui_Pla) com a mesma letra na coluna não diferem entre si de acordo com o intervalo de confiança a 95 % para declividade; ²corresponde ao limite superior; ³corresponde ao limite inferior.

Para que um clone seja eficiente em absorver nutrientes é necessário que apresente menor produção de massa de matéria seca para as raízes, acumulando maior conteúdo do nutriente no compartimento vegetal. Assim, o clone que mais se encaixa nesta descrição é o clone AM-21. O material genético AM-21 apresentou a menor produção de matéria seca de raiz quando comparado com os clones AM-23 e PL-10. Entretanto observa-se que clone AM-21 foi mais eficiente significativamente somente para o nutriente P.

A eficiência de aquisição pode variar entre plantas mesmo que esteja em um ambiente comum, o que foi comprovado neste estudo. Portanto, assim como nas palmeiras adultas, as palmeiras jovens podem apresentar diferentes mecanismos e comportamentos morfológicos capazes de aumentar a sua eficiência de absorção, assim como a sua adaptação ao meio onde se encontram. Segundo Taiz *et al.*(2017), as plantas são capazes de modificar e controlar os tipos de raízes que produzem, os ângulos das raízes, as velocidades de crescimento e o grau de ramificação das raízes. As variações inter e interespecíficas na arquitetura do sistema

radicular podem variar amplamente entre as espécies mesmo aquelas vivendo no mesmo hábitat.

De acordo com Rodrigues *et al.*(2007) e Bachy(1964), as palmas adultas podem investir em carbono no sistema radicular de acordo com a demanda e necessidade de nutrientes. Estudos comprovaram que palmeiras adultas apresentaram extensos comprimentos radiculares à procura de nutrientes como o P, além disso, foi encontrado um grande volume de raízes próximos aos empilhamentos onde se localizam restos orgânicos (folhas podadas e frutos em decomposição) material rico em N e K. Assim como as outras plantas, a palma de óleo, também apresenta modificações morfológicas para captação e absorção de água e nutrientes.

4.5 Eficiência de utilização dos macronutrientes

4.5.1 Compartimento parte aérea

Os coeficientes das equações preditivas expressam a eficiência de utilização dos macronutrientes na parte aérea. Este índice nutricional foi representado pelo o coeficiente de utilização biológica dos nutrientes na parte aérea (*cub_Nui_PA*). Para cada material genético foram ajustadas equações preditivas de modelo linear (Figura 21 a Figura 23).

Os três clones de palma de óleo apresentaram variação na eficiência de utilização dos macronutrientes na parte aérea. O clone PL-10 apresentou eficiência de utilização dos nutrientes N, P e S superiores aos observados para os outros clones. Para os outros nutrientes os três clones apresentaram comportamento semelhante e não houve diferença significativa entre eles (Quadro 11).

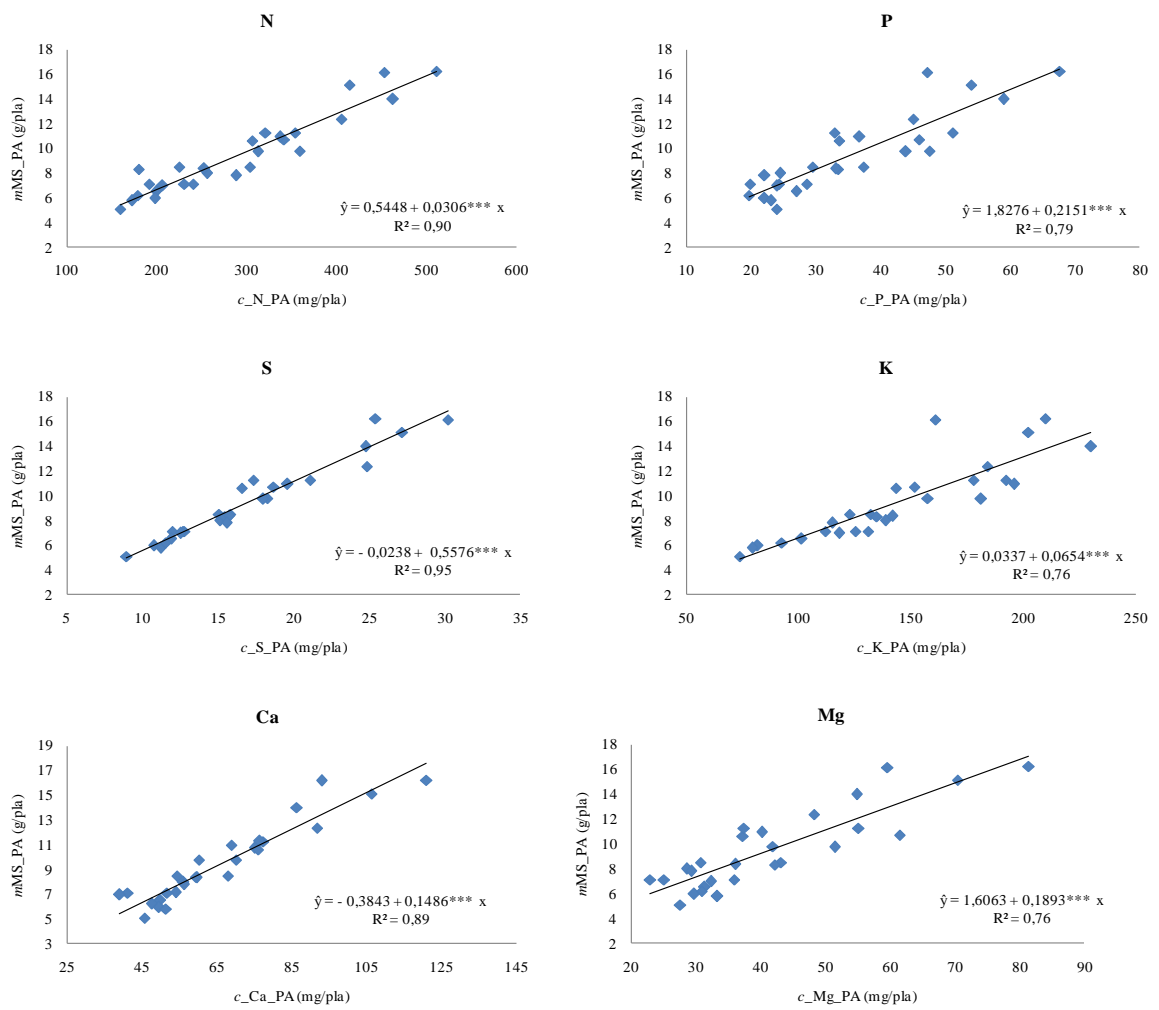


Figura 21 - Equações da massa de matéria seca da parte aérea (mMS_PA) em função do conteúdo de macronutrientes na parte aérea (cMN_PA) do clone AM-21

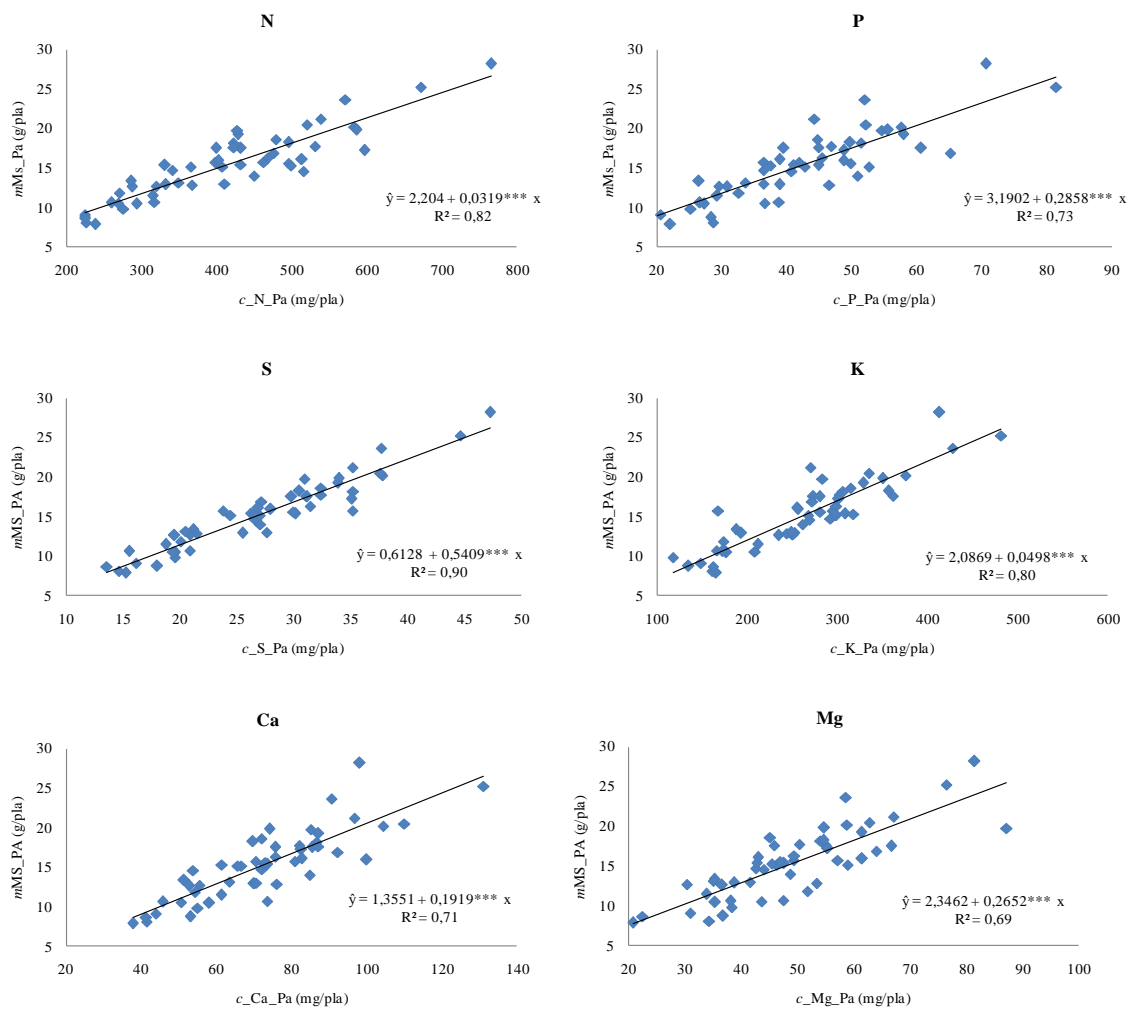


Figura 22 - Equações da massa de matéria seca da parte aérea (mMS_PA) em função do conteúdo de macronutrientes na parte aérea (cMN_PA) do clone AM-23

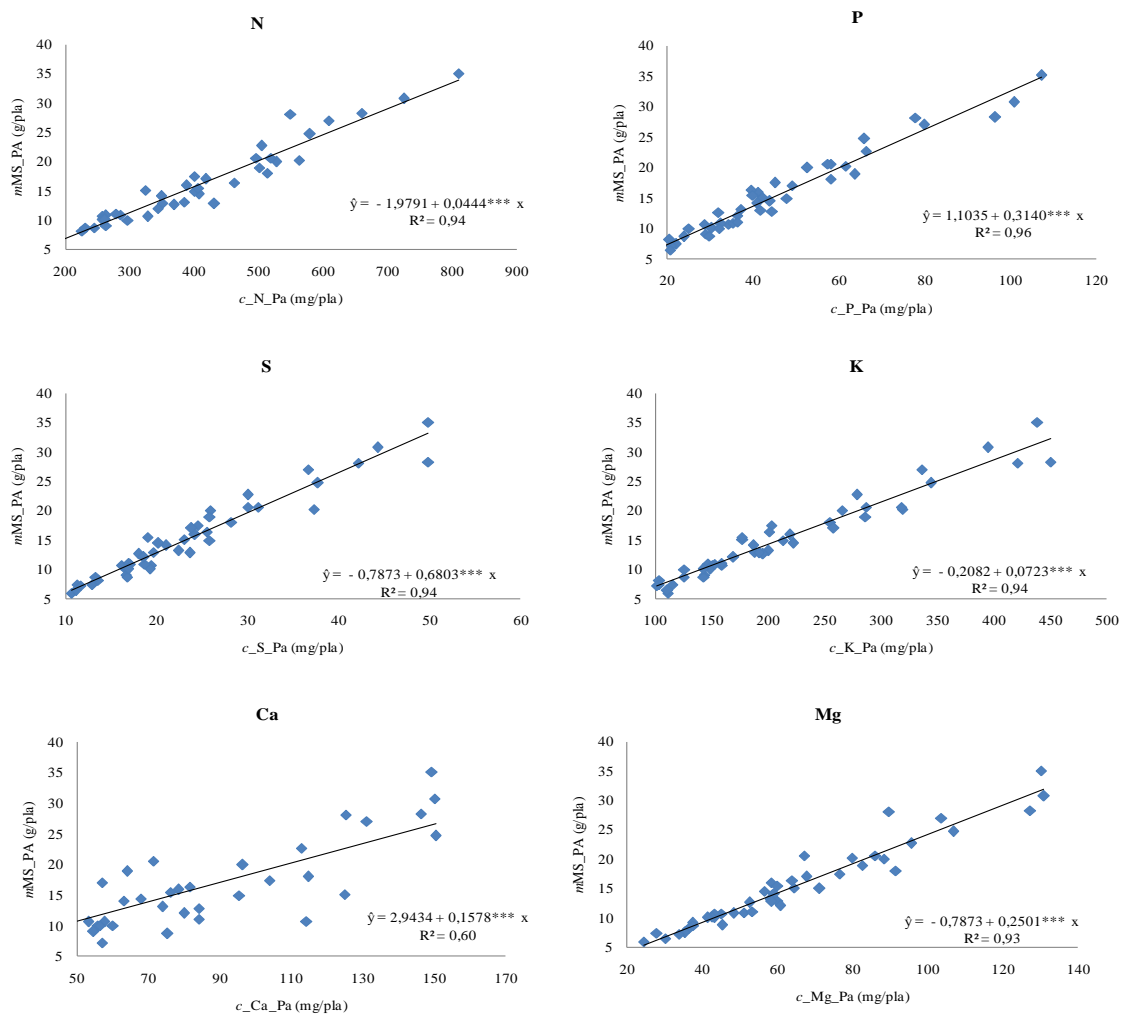


Figura 23 - Equações da massa de matéria seca da parte aérea (*mMS_PA*) em função do conteúdo de macronutrientes na parte aérea (*cMN_PA*) do clone PL-10

Quadro 11- Coeficientes das equações da massa de matéria seca parte aérea (g/pla) em função do conteúdo de nutrientes da parte aérea (mg/pla) de três clones de palma de óleo

Clones	Nutriente	cub_Nui_PA ¹	Intervalo de Confiança	
			Ls ²	Ls ³
		g/mg	-----mg/pla-----	
AM-21	N	0,0306 b	0,0347	0,0265
AM-23		0,0319 b	0,0362	0,0276
PL-10		0,0444 a	0,0478	0,0409
AM-21	P	0,2151 b	0,2609	0,1693
AM-23		0,2858 b	0,3353	0,2362
PL-10		0,3140 a	0,3349	0,2931
AM-21	S	0,5576 b	0,612	0,5031
AM-23		0,5409 b	0,5915	0,4902
PL-10		0,6803 a	0,7342	0,6263
AM-21	K	0,0654 a	0,0806	0,0502
AM-23		0,0498 a	0,0570	0,0443
PL-10		0,0723 a	0,0777	0,0667
AM-21	Ca	0,1486 a	0,1696	0,1275
AM-23		0,1919 a	0,2269	0,1569
PL-10		0,1578 a	0,198	0,1174
AM-21	Mg	0,1893 a	0,2332	0,1455
AM-23		0,2652 a	0,3167	0,2137
PL-10		0,2501 a	0,2708	0,2292

Em que: ¹Coeficientes (*cub_Nui_PA*) na coluna com as mesmas letras não diferem entre si de acordo com o intervalo de confiança a 95 % para declividade; ²corresponde ao limite superior; ³corresponde ao limite inferior.

4.5.2 Compartimento raiz

Assim como para a parte aérea ajustou os dados em equações preditivas de modelo linear. Os coeficientes das equações preditivas representam o coeficiente de utilização biológica dos nutrientes na raiz (*cub_Nui_R*) de cada material genético (Figura 24aFigura 26).

Os três clones de palma de óleo apresentaram diferentes eficiências de utilização para os macronutrientes na raiz. O clone PL-10 foi superior aos outros clones em utilizar os nutrientes N e P. Já os clones AM-21 e PL-10 foram mais eficientes na utilização do S, porém não diferem entre si. Para os nutrientes K e Mg, os clones AM-23 e PL-10 apresentam comportamento semelhante. Já para o Ca, os clones AM-21 e AM-23 foram superiores ao clone PL-10 e não diferem entre si (Quadro 12).

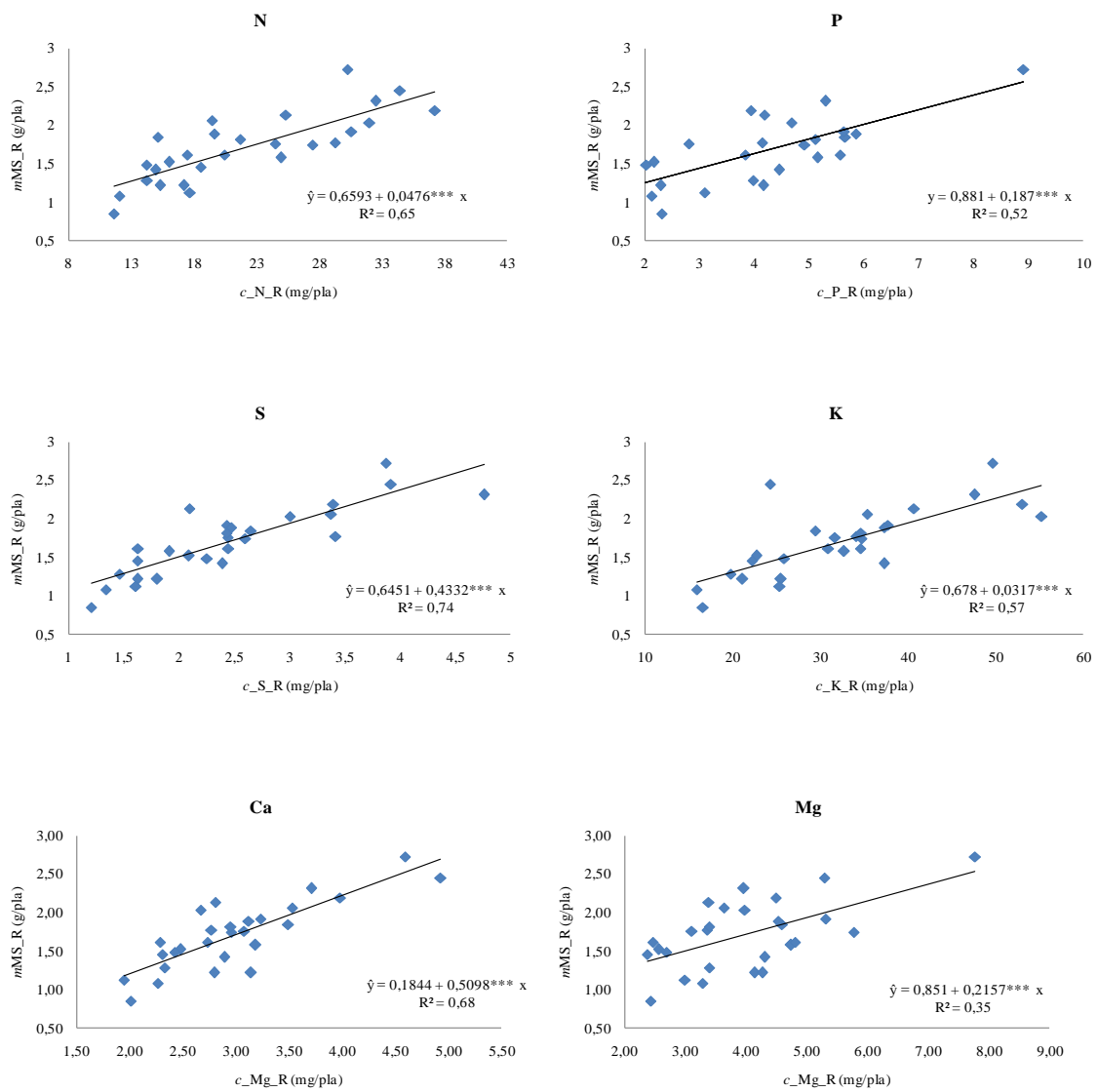


Figura 24 - Equações de massa de matéria seca de raiz (mMS_R) em função do conteúdo de macronutriente na raiz (cMN_R) do clone AM-21

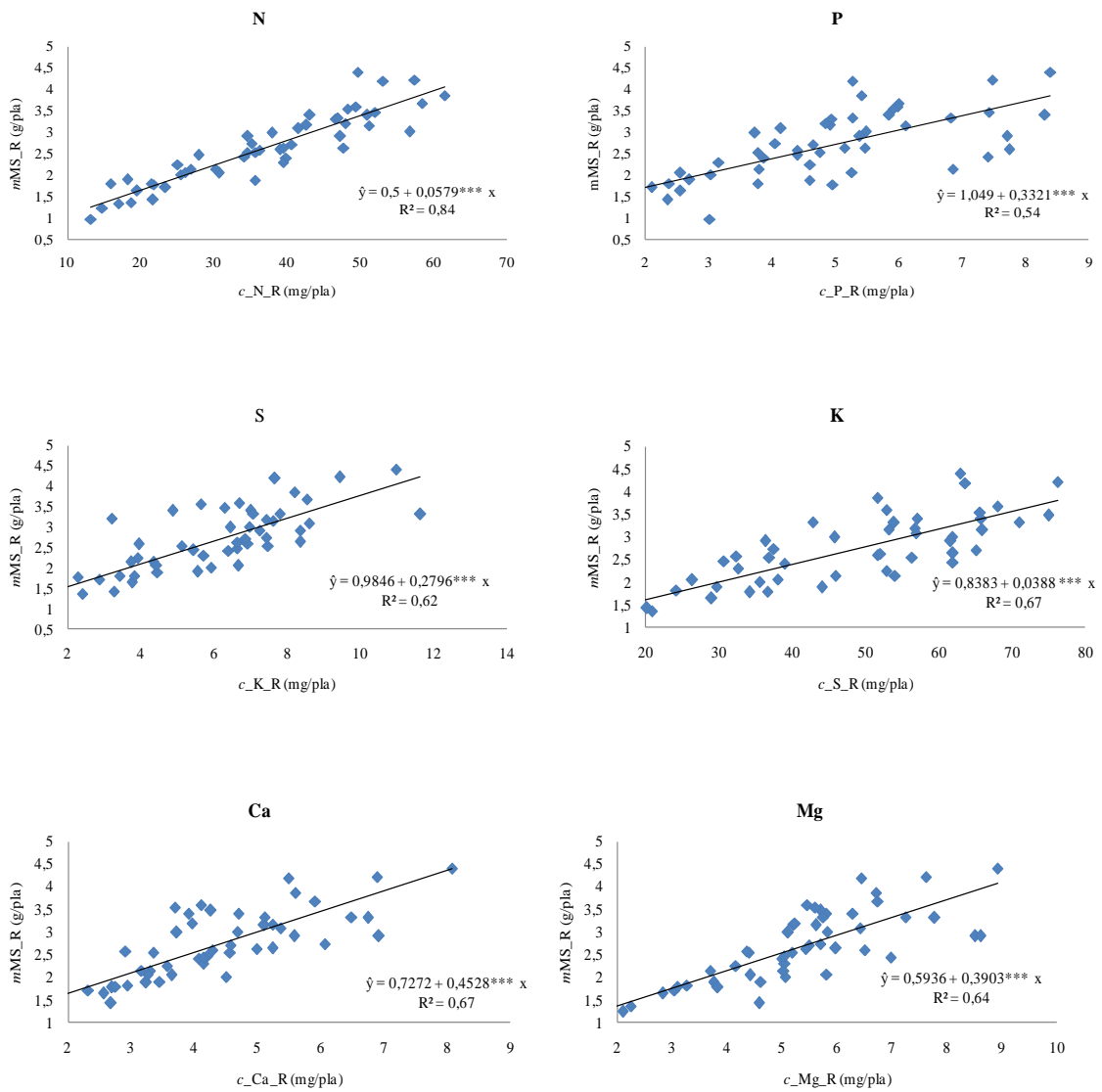


Figura 25 - Equações de massa de matéria seca de raiz (mMS_R) em função do conteúdo de macronutriente na raiz (cMN_R) do clone AM-23

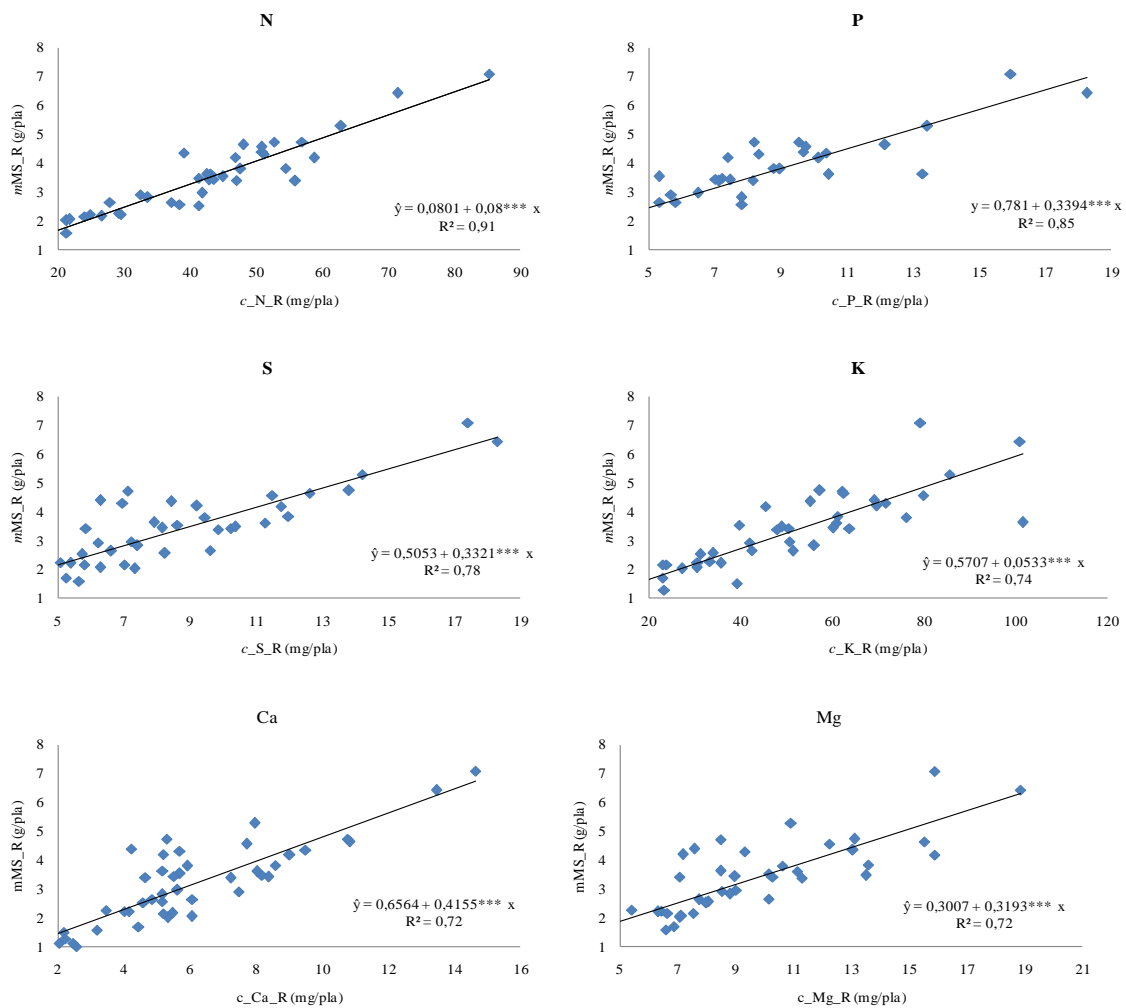


Figura 26 - Equações de massa de matéria seca de raiz (mMS_R) em função do conteúdo de macronutriente na raiz (cMN_R) do clone PL-10

Ao relacionar os resultados de eficiência de utilização da parte aérea e raiz com a eficiência de absorção, verifica-se que dentre os clones e nutrientes avaliados nenhum dos materiais genéticos foi superior tanto na eficiência de utilização como na eficiência de absorção de nutrientes. E que somente o clone PL-10 apresentou maior eficiência de utilização na parte aérea e raiz para os nutrientes N e S (Quadro 12).

Portanto, por meio deste estudo, foi possível confirma que há diferença no comportamento dos três materiais genéticos e que nenhum dos clones foram eficientes na absorção e utilização de todos os nutrientes.

Quanto à caracterização nutricional do clone PL-10 em relação aos nutrientes N, P e S, o clone de palma de óleo pode ser caracterizado como clone que apresenta menor eficiência de absorção para estes nutrientes, mas apresenta maior eficiência de utilização destes nutrientes na produção de matéria seca na parte aérea. O material genético, foi um dos que

mais apresentou produção de matéria seca para a parte aérea, o que foi confirmado por meio dos contrastes.

Esta particularidade do material genético PL-10 em apresentar maior eficiência de utilização para o N e maior produção de matéria seca para a parte aérea pode estar relacionada com a característica do seu progenitor (Deli × Lamé - Embrapa- BRS2501).

Quadro 12- Coeficientes das equações da massa de matéria seca da raiz (g/pla) em função do conteúdo de nutrientes da raiz (mg/pla) de três clones de palma de óleo

Clones	Nutriente	<i>cub_Nui_R</i> ¹	Intervalo de Confiança	
			Ls ²	Ls ³
		g/mg	mg/pla	
AM-21	N	0,0476 b	0,0622	0,0331
AM-23		0,0579 b	0,0651	0,0506
PL-10		0,0799 a	0,0878	0,0721
AM-21	P	0,1804 b	0,2674	0,2934
AM-23		0,3321 b	0,4205	0,2436
PL-10		0,3394 a	0,3828	0,2960
AM-21	S	0,4332 a	0,5388	0,3276
AM-23		0,2796 b	0,3421	0,2170
PL-10		0,3320 a	0,3875	0,2766
AM-21	K	0,0317 b	0,0431	0,0203
AM-23		0,0388 a	0,0467	0,0309
PL-10		0,0533 a	0,0632	0,0435
AM-21	Ca	0,5098 a	0,6535	0,3661
AM-23		0,4528 a	0,5448	0,3607
PL-10		0,4154 b	0,4958	0,3351
AM-21	Mg	0,2157 b	0,3368	0,0945
AM-23		0,3903 a	0,4739	0,3066
PL-10		0,3193 a	0,3817	0,2568

Em que: ¹Coeficientes (*cub_Nui_R*) na coluna com as mesmas letras não diferem entre si de acordo com o intervalo de confiança a 95 % para declividade; ²corresponde ao limite superior; ³corresponde ao limite inferior.

O progenitor do clone PL-10 apresenta folhas largas e este desenvolvimento do compartimento vegetal pode estar associado ao fornecimento e utilização do N. De acordo com (DECHEN & NATCHATIGALL, 2007) à medida que a planta absorve e incorpora o N na forma de aminoácidos, maior a síntese de proteínas, conseqüentemente maior é o crescimento e desenvolvimento das folhas.

Outra particularidade do estudo foi que o material genético AM-21 foi superior quanto a absorção de N e P, porém apresentou uma baixa eficiência de utilização para os nutrientes, o

que foi comprovado pelos resultados da produção de matéria seca da parte aérea. No entanto a maior capacidade de absorver N e P só é interessante, se o clone consegue transformar o N e P absorvidos em matéria seca, o que não acontece com o clone AM-21.

Com isso a identificação desta característica do clone AM-21 é importante para os estudos de melhoramento dos "clones elites". Portanto o desenvolvimento de um clone que apresente maior capacidade de absorver e utilizar N e P é fundamental para a cultura da palma de óleo. Portanto, quando uma planta não apresenta correspondência entre a maior eficiência de absorção de nutrientes com o incremento em massa de matéria seca na planta, este comportamento é caracterizado por um possível consumo de luxo, ou seja, maior absorção de nutrientes sem um consequente aumento na produção de matéria seca dos compartimentos vegetais (SANTANA *et al.*;2002).

Quanto à associação entre eficiência de uso e aquisição de nutrientes com a fertilização da palma de óleo, verifica-se que a capacidade em converter os nutrientes N,P e S em matéria seca do clone PL-10 pode ser uma justificativa para o maior investimento na fertilização destes nutrientes como forma de contornar a baixa eficiência de absorção apresentada por este clone. Já para o clone AM-21, necessita de menores investimentos na adubação de fosfatada, devido à alta taxa de recuperação do nutriente aplicado, embora apresentem uma menor conversão em produção de matéria seca. Enquanto para o clone AM-23 necessita de menor investimento na adubação nitrogenada, potássica e de enxofre, já que para estes nutrientes o clone possivelmente apresenta alta taxa de recuperação do nutriente aplicado.

Quando se associa a eficiência de utilização e a produção de massa de matéria seca dos três clones avaliados. Nota-se que os materiais genéticos receberam as mesmas doses de fertilizantes durante o tempo de estudo, porém apresentaram variação quando a produção de matéria seca. Observa-se que houve uma variação considerável na eficiência da captação e utilização de nutrientes assim como na quantidade de matéria seca produzida por massa nutriente absorvido.

De acordo com Ng *et al.* (2003) as palmas clonais são mais exigentes em nutrientes do que as palmas seminíferas na fase inicial de crescimento, isso se deve ao fato de que os materiais clonais apresentam maior produção de cachos e óleo durante a fase de produção. E quando se relaciona demanda de nutrientes com a eficiência de uso de nutrientes, observa-se que os clones apresentam maior taxa de crescimento quando comparados com as variedades

seminíferas, além disso apresentam eficiência muito maior no que se refere aos papéis bioquímicos dos diferentes nutrientes e suas interações em relação a síntese de óleo.

Outro autor ainda reforça, há diferença quanto ao uso de nutrientes entre as variedades seminíferas e clonais. De acordo com Donough *et al.* (1996), a aplicação de N em plantas clonais resulta em um aumento significativo da relação amêndoa/cacho e uma diminuição da relação aceite/cacho. Entretanto, o rendimento total de azeite aumenta significativamente, devido ao aumento do rendimento de cachos de frutos.

Neste sentido, o conhecimento da fisiologia dos materiais genéticos de palma de óleo assim como sua demanda nutricional nas diferentes fases (jovem e adulto), são essenciais para traçar estratégias que possibilitem o uso eficiente de fertilizantes para a cultura. A determinação das recomendações de nutrientes para a palma de óleo, principalmente na fase de pré- viveiro precisa de ajustes.

A recomendação de nutrientes na fase de muda ainda se baseiam em dados da literatura e referências estrangeiras. É necessário conhecer os requisitos nutricionais das plantas na fase de pré viveiro (GILAN, 2002). Geralmente na fase de muda da palma de óleo, os nutrientes N e P são os mais importantes para o rápido crescimento radicular. Por isso, o cuidado com a adubação nitrogenada e aplicação de fósforo são essenciais para não comprometer a produção de mudas no pré-viveiro (BOMERS, 1973).

O manejo nutricional para a palma de óleo deve ser elaborado em função da demanda de nutrientes que varia de acordo com o status e a absorção de nutrientes pelos diferentes materiais genéticos e as fases em que eles se encontram.

Assim a fertilização poderá otimizar a produção em plantios jovens e adultos, obtendo-se maiores produtividades e economia em fertilizantes (OLLIVIER *et al*, 2016; LOPES & GUILHERME, 2007).

4.6 Demanda e requerimento

A estimativa da demanda nutricional para mudas de clones na fase de pré-viveiro, foi calculada com base no conteúdo de nutrientes nos diferentes compartimentos vegetais de mudas com qualidade superior. As mudas de qualidade superior são classificadas como aquelas que apresentaram a maior produção de matéria seca na parte aérea. A partir dos dados de produção de matéria seca dos três clones de palma de óleo, realizou-se as escolhas das máximas produções de matéria seca da parte aérea para cada material genético, respectivamente: AM-21-16,22 g; AM-23-28,15 g e PL-10-35,11 g. Em seguida,

estes valores foram substituídos nas equações de eficiência de uso dos nutrientes na parte aérea de cada clone. E assim determinou-se as demandas de cada nutriente por clone. Por fim, foi calculado o requerimento de nutrientes para as mudas superiores conforme a equação 14. Neste ensaio, o valor da taxa de recuperação de nutriente pela muda superior ($trNui_M$) será utilizado àquele obtido por (STAHNINGER, 2013).

$$rNui_M = dNui_M / trNui_M \quad \text{Equação 14}$$

Em que: ($rNui_M$) é o requerimento de nutrientes pela muda de qualidade superior; ($dNui_Pla$) é a demanda dos nutrientes pelas mudas de qualidade superior ($dNui_M$) e ($trNui_M$) é a taxa de recuperação dos nutrientes pela muda de qualidade superior ($trNui_M$).

Conforme o Quadro 13 os três clones de palma de óleo apresentaram diferentes valores de requerimento e demanda para os macronutrientes. Confirmando assim que cada material genético apresenta uma demanda de nutrientes específica, o que já foi discutido anteriormente. Mas vale ressaltar que o requerimento de nutrientes pela palma de óleo varia amplamente e depende da produtividade, do material genético, espaçamento entre plantas, idade da planta, tipo de solo, das condições edafoclimáticas, assim como de outros fatores ambientais (GOH *et al.*, 2003).

Quadro 13 - Demanda e Requerimento de macronutrientes de mudas superiores de palma de óleo na fase de pré-viveiro

Material Genético	Variável	Macronutrientes					
		N	P	S	K	Ca	Mg
		-----mg/pla-----					
AM-21	$dNui_Pla^1$	545,89	76,09	33,86	316,53	116,70	84,47
	$tr_Nui_Pla^2$	0,59	0,52	0,61	0,77	0,67	0,67
	$rNui_Pla^3$	925,24	146,33	55,51	411,08	174,18	126,08
AM-23	$dNui_Pla$	884,75	97,68	65,08	616,95	148,54	106,27
	tr_Nui_Pla	0,59	0,52	0,61	0,77	0,67	0,67
	$rNui_Pla$	1499,58	187,84	106,68	801,23	221,70	158,61
PL-10	$dNui_Pla$	815,15	126,06	68,14	593,99	217,36	154,77
	tr_Nui_Pla	0,59	0,52	0,61	0,77	0,67	0,67
	$rNui_Pla$	1381,62	242,43	111,71	771,42	342,42	231,00

Em que: ¹ $dNui_Pla$ - corresponde a demanda dos nutrientes pelas mudas de qualidade superior; ² $trNui_Pla$ - corresponde a taxa de recuperação dos nutrientes pela muda de qualidade superior e ³ $rNui_Pla$ - corresponde ao requerimento de nutrientes das mudas de qualidade superior.

Portanto, a conhecimento da exigência nutricional dos materiais genéticos (clones ou variedades seminíferas), assim como os estudos que correlacione a eficiência nutricional dos materiais genéticos na fase juvenil-adulta, torna-se importante no emprego mais racional de fertilizantes para a palma de óleo.

5 CONCLUSÕES

- Os clones estudados apresentaram diferentes produções de matéria seca;
- Os materiais genéticos diferem entre si quanto à produção de matéria seca dos compartimentos vegetais e segue a ordem crescente AM-21 < PL-10 < AM-23;
- Os materiais genéticos não se diferenciam quanto à alocação de carbono para os componentes da planta, sendo, em média, de: 49,74 % para folhas, 34,00 % para caule e 16,26 % para raízes;
- Quanto à alocação de nutrientes nos compartimentos da muda, as folhas exibiram maiores acúmulos em comparação com o caule e as raízes;
- Em relação à eficiência de absorção, o clone AM-21 foi superior quanto à absorção de nutriente P, enquanto para K, o clone AM-23 foi superior;
- Para a eficiência de utilização, o PL-10 foi o material genético que mais se destacou, principalmente no compartimento de parte aérea, sendo superior a utilização dos nutrientes N, P e S;
- A estimativa de demanda nutricional para as mudas de qualidade superior foi variável para cada material genético e apresentou diferentes valores de requerimento e demanda para os macronutrientes avaliados.
- As diferenças entre os três clones identificadas neste trabalho são importantes para os estudos de melhoramento dos "clones elites" assim como para os estudos de recomendação e uso eficiente de nutrientes para palma de óleo nas diferentes fases de plantio.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABICHEQUER, A.D. & BOHNEN, H. Eficiência de absorção, translocação e utilização de fósforo por variedades de trigo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 22:21-26, 1998
- ADAM, H. *et al.* Determination of flower structure in *Elaeis guineensis*: do palms use the same homeotic genes as other species? **Annals of Botany**, v. 100, n. 1, p. 1-12, 2007.
- AGROCON, 1995. Technical Bulletin N° 2. Ipoh, Malaysia, Agrocom Enterprise SdnBhd.
- ALVARADO, A.; ESCOBAR, R. Seed production and oil palm breeding in asdcosta rica. **ASD Oil Palm Papers**, n. 47, p. 19–34, 2017.
- ALVES, S. A. O. *et al.* Caracterização dos recursos genéticos dos plantios de dendê no Estado do Pará. **Bioenergia em revista: diálogos**, v. 3, n. 1, p. 20–31, 2013.
- ARMENGAUD, P., SULPICE, R., MILLER, A. J., STITT, M., AMTMANN, A., & GIBON, Y. (2009). Multilevel analysis of primary metabolism provides new insights into the role of potassium nutrition for glycolysis and nitrogen assimilation in Arabidopsis roots. **Plant Physiology**, 150(2), 772-785.
- BACHY, A. Diagnosticfoliaire de palmier à huile:niveaux critiques chez les arbres jeunes. **Oléagineux**, v. 19, n.4, p. 253-256. 1964.
- BALIGAR, V.C., FAGERIA, N.K. **Plant nutrient efficiency**: towards the second paradigm. 1998.
- BARCELOS, E.RODRIGUE,M.R.L.; SANTOS, J.A.; CUNHA, R.N.V. Produção de Mudas de Dendzeiro na Amazônia. In: **Circular Técnico**. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2001. p. 1–12.
- BARROS, N. F. *et al.* NUTRICALC 2.0 - Sistema para calculo del balance nutricional y recomendación de fertilizantes para el cultivo de eucalipto. *Bosque*, n.16, p.129-131, 1995.
- BEHLING, M. *et al.* Eficiência de utilização de nutrientes para formação de raízes finas e médias em povoamentos de teca. **Revista Árvore**, v. 38, n. 5, p. 837–846, 2014.
- BEIRNAERT, A. D. F. **Introduction à la biologie florale du palmier à huile (*Elaeis guineensis* Jacquin)**. Publications. Brussels: l’Institut National pour l’Etude Agronomique du Congo Belge, 1935.
- BLAIR, G. 1993. Nutrient efficiency—what do we really mean. Genetic Aspects of Plant Mineral Nutrition. pp. 205–213. In: P. J. Randall, E. Delhaize, R. A. Richards, and R. Munns. (eds.), **Kluwer Academic Publishers**, Dordrecht, The Netherlands.
- BOARETTO, A. E.; MURAOKA, T.; BOARETTO, R. M. Absorção e translocação de micronutrientes, aplicados via foliar, pelo citrus. **Revista Laranja**, Cordeirópolis, v. 24, n. 1, p.177-197, 2003.
- BOMERS, G. F. 1973. Fertilization, weed control and irrigation of United Brands Company oil palm plantation in Central America. **Tropical Agriculture research services (SIATSA)**, La Lima Honduras, C. A. Bulletin n°3. 176p.
- BREURE, C. J. 2003. Preliminary results-of ASD's genetic material planted at Bina Sawit Makmur (BSM) in South Sumatra. In: **International Oil Palm Conference and Exhibition**. IOPRI, Bali. Indonesia, 8-12, July 2002, 10 p.

CALIMAN, J. P.; CARCASSES, R.; PEREL, N.; WOHLFAHRT, J.; GIRARDIN, P.; WAHYU, A.; PUJANTO, D., B.; VERWILGHEN, A. Agri-environmental indicators for sustainable palm oil production. **Palmas**, v. 28, p. 434-445, 2007.

CAKMAK, I., & YAZICI, A. M. (2010). Magnesium: a forgotten element in crop production. **Better Crops**, 94(2), 23-25.

CARVALHO, M. Embriogênese somática a partir de folhas imaturas e flores desenvolvidas in vitro de dendezeiro (*Elaeis guineensis* Jacq.). **Tese** (Doutorado em Fitotecnia) –Universidade Federal de Viçosa, Viçosa- MG, 2009.

CEPLAC, Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira. Dendê – **Potencial para produção de energia renovável**, 2011. Disponível em: <http://www.ceplac.gov.br/radar/Artigos/artigo9.htm>. Acesso em: 05 fev. 2020.

CLARK, R.B.; DUNCAM RR. 1991. Improvement of plant mineral nutrition through breeding. **Field Crop Res.** 27: 219-246.

COCHARD, B.; DURAND-GASSELIN, T.; AMBLARD, P.; KONAN, E.K.; GOGOR, S. Performance of adult oil palm clones. In: ARIFFIN, D.; CHAN, K.W.; SHARIFAH, S. S. A. (Ed) **Proceedings of the 1999 PORIM International Palm Oil Congress: emerging technologies and opportunities in the next millennium.** Palm Oil Institute of Malaysia. p.53-64, 1999.

CONCEIÇÃO, H. E. O.; MÜLLER, A. A. Botânica e morfologia do dendezeiro. In: VIÉGAS, I. J. M.; MÜLLER, A. A. (Ed.). **A cultura do dendezeiro na Amazônia brasileira.** Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2000, p. 31-44.

CORLEY, R. H. V.; TINKER, P. B. **The Oil Palm.** 4. ed. Oxford: Blackwell Science Ltd, 2003.

CORLEY, R. H. V.; TINKER, P. B. 2009. **La palma de aceite.** 4th ed. Fedepalma, Bogota.

CORLEY, R. H. V.; MOK, C. K. Effects of Nitrogen, Phosphorus, Potassium and Magnesium on Growth of the Oil Palm. **Experimental Agriculture**, Cambridge, v.8, n. 4, p. 347-353. 1972.

CORRÊA, T. R.; MOTOIKE, S. Y.; ANDRADE, A. P. S; COSER, S. M.; QUEIROZ, V.; GRANJA, M. M. C. G, CAETANO, D. D. N.; PEÑA, C. N. M.; PICOLI, E. A. T. Accelerated *in vitro* propagation of elite oil palm genotypes (*Elaeis guineensis* Jacq.) by substituting cytokinin with putrescine. **African Journal of Biotechnology**, v.15, n.50, 2016.

CORRÊA, T. R. Clonagem e controle genético da embriogênese somática em Palma de Óleo (*Elaeis guineensis* Jacq.). Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - MG, 2014; p.59.

CUNHA, R.N.V. LOPES, R.; JUNIOR, R.A.G.; RODRIGUES, M.R.L.; TEIXEIRA, P.C.; ROCHA, R.N.C.; LIMA, W.A.A.; Material genético utilizado para a produção sustentável da cultura da palma de óleo na Amazônia. In RAMALHO FILHO, A. et al. (Ed). **Zoneamento, Agroecológico Produção e Manejo para a Cultura da Palma de Óleo na Amazônia.** Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2010. 93-100p.

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

CUNHA, R. N. V.; LOPES, R.; DANTAS, J. C. R.; ROCHA, R. N. C. **Procedimentos para produção de sementes comerciais de dendezeiro na Embrapa Amazônia Ocidental**. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental (Documentos 54), 2007. 34 p.

DECHEN, A.R.; NACHTIGALL, G.R. Elementos requeridos à nutrição de plantas. **Fertilidade do solo**. SBCS. 2007.

DONOUGH, C. R.; CHEW, K. W.; LAW, I. H. 1996. Effect of fruit set on OER and KER: Result from studies at Pamol Estates (Sabah) Sdn Bhd. **The Planter**, 72:203-219.

DOTTO, M. C. Balanço de carbono e nutrientes solo/planta em plantios de Palma de Oléo (*Elaeis guineenses*), na Amazônia Oriental. Tese (Doutorado em Produção Vegetal), Universidade Federal do Tocantins - Campus Universitário de Gurupi, 2017.

FAGERIA, N. K. Optimizing Nutrient Use Efficiency in Crop Production. **R Bras Eng Agríc Ambiental**, v. 2, n. 62, p. 6–16, 1998.

FAQUIN, V. **Nutrição Mineral de Plantas**. Lavras: UFLA/FAEPE, 1995. 186 p.

FEROLDI, M.; CREMONEZ, P. A.; ESTEVAM, A. Dendê: Do cultivo da palma à produção de biodiesel. **Revista Monografias Ambientais (REMOA)**, v. 13, n. 5, p. 3800–3808, 2014.

FERWERDA, J. D. Ecophysiology of the african oil palm. In: ALVIM, P. de. (Coord.). **Ecophysiology of tropical crops**. Ilhéus: Ceplac, v. 2. 1975. p. 1-49.

FITTER, A.H. 1986. Acquisition and utilization of resources, pp. 375-406. Em: **Plant ecology** (M.J. Crawley, ed.). Blackwell Scientific Publications, Austrália.

FÖHSE, D.; CLAASEEN, N. & JUNGK, A. Phosphorus efficiency of plants. **Plant Soil**, v.110, p.101-109, 1988.

FORDE, C. M. S. 1968. The trace element nutrition of oil palm seedlings. **Journal of the Nigerian Institute for oil Palm Research**. 5:77-88.

FOSTER, H. L., and E. PRABOWO NOTO. 1996. Variation in potassium fertiliser requirements in oil palm in North Sumatra. In: **Proceedings of Porim International Palm Oil Congress**, pp. 143–152.

GAMARRA, Y. P. L. **Modelo de recomendação de adubação e calagem para a cultura de dendê (*Elaeis guineensis* Jacq.) com base em balanço nutricional**. 2013. 52 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2013.

GERLOFF, G.C. & GABELMAN, W.H. Genetic basis of inorganic plant nutrition. In: Laüchli, A.; Bielecki, R.L. (Eds.). Inorganic plant nutrition. **Encyclopedia of Plant Physiology**. Berlin, New York, Tokyo: Springer-Verlag, v.15B, p.453-486, 1983

GILAN, S. 2002. Oil Palm Nursery Under drip fertigation technology. In: **2002 International Oil Palm Conference and Exhibition: Agriculture**. IOPRI. 8-12 July, Nusa Dua, Bali.

GLÓRIA, G. C. P. **Biomassa de raízes em plantio de híbrido interespecífico de palma de óleo no leste da Amazônia**. 2016. 56 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) –Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2016.

GOH, K. J.; HÄRDTER, R. General Oil Palm Nutrition. In: FAIRHURST, T.; HÄRDTER, R. (Ed.). **Oil palm: management for large and sustainable yields**. Singapore: PPI/PPIC and IPI, 2003. 384 p.

GOH, K. J.; HÄRDTER, R.; FAIRHURST, T. Fertilizing for maximum return. In: FAIRHURST, T.; HÄRDTER, R. (Eds.), **The Oil Palm - Management for Large and Sustainable Yields**. Singapore: Potash & Phosphate Institute of Canada, Potash & Phosphate Institute, International Potash Institute, 2003, 382 p.

GOH, K. J.; WONG, C. K.; NG, P. H. C. Oil Palm. **Encyclopedia of Applied Plant Sciences**, v. 3, n. 2, p. 382–390, 2016.

GOMES JUNIOR, R. A. Características botânicas, morfológicas, fisiológicas e agronômicas 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, 2010a. p. 21-30.

GRAHAM, R.D. Breeding for nutrition characteristics in cereals. In: TINKER, P.B.; LAUCHLI, A. (Eds.). **Advances in plant nutrition**. New York: Praeger, p. 57-102, 1984.

HARTLEY, C. W. S. La palma de aceite. México: Compañía Editorial Continental, 1986. 2. ed. 933 p.

Hell, R. (1997). Molecular physiology of plant sulfur metabolism. **Planta**, 202(2), 138-148.

HONG, L. A. 1992. Some aspects of large-scale nursery management in Sabah. **The Planter** 68 (790):1-9.

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

KEE, S. K.; VON UEXKÜLL, H.; HÄRDTER, R. Botanical aspects of the oil palm relevant to crop management. In: FAIRHURST, T.; HÄRDTER, R. (Ed.). **Oil palm management for large and sustainable yields**. Singapore: PPI/PPIC and IPI, 2003. p. 13-26.

KHAW C.H.; NG S.K.; DREW R.A. Performance of commercial scale clonal oil palm (*Elaeisguineensis* Jacq.) plantings in Malaysia. In: **International Symposium on Biotechnology of Tropical and Subtropical Species Part 2 461**. 1998. p. 251-258.

KRAMER, P. (2012). Physiology of woody plants. **Elsevier**.

LAMBERS, H.; F.S. CHAPIN & T.L. Pons. 2008. Plant physiological ecology. **Springer**, New York.

LARCHER, W. 2006. **Ecofisiologia vegetal**. Editora Rima, São Carlos.

LAUCHLI, A. Soil science in the next twenty five years: does a biotechnology play a role? **Soil Science Society of American Journal, Madison**, v.51, p.1405-1409, 1987.

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.

LI, B.; McKEAND, S.E. & ALLEN, H.L. Genetic variation in nitrogen use efficiency of loblolly pine seedlings. **For. Sci.**, v.37, p.613-626, 1991.

- LOPES, A. .; GUILHERME, L. R. G. Fertilidade do solo e produtividade agrícola. In: NOVAIS, R. F. *et al.* (Eds.). . **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 2–61.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C. & OLIVEIRA, S.A. Avaliação do estado nutricional das plantas: **Princípios e aplicações**. 2.ed. Piracicaba, POTAFOS, 1997. 319p.
- MARTINEZ, H.E.P.; NOVAIS, R.F.; SACRAMENTO, L.V.S. & RODRIGUES, L.A. Comportamento de variedades de soja cultivadas sob diferentes níveis de fósforo: II. Translocação do fósforo absorvido e eficiência nutricional. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, 17:239-244, 1993.
- MCCONNAUGHAY, K.D.M. & COLEMAN J.S. 1999. Biomass allocation in plants: ontogeny optimality? A test along three resource gradients. **Ecology**, 80:2581–2593.
- MELO, A. M.; OLIVEIRA, A. B. R. Dendeicultura da Bahia. **Superintendência Regional da Bahia e Sergipe, Brasil**, p. 10, 2006.
- MULLER, A.A; ANDRADE, E.B; Aspectos Gerais sobre a Fenologia da cultura da Palma de Óleo. In: FREITAS, P.L, TEIXEIRA, W.G.(eds). **Zoneamento agroecológico, produção e manejo da cultura de palma de óleo na Amazônia**, Rio de Janeiro: Embrapa Solos, Rio de Janeiro-RJ, 2010,83-92p.
- MULLER, I.; B. SCHMID & J. WEINER. 2000. The effect of nutrient availability on biomass allocation patterns in 27 species of herbaceous plants. **Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics**, 3:115–127.
- NÄSHOLM, T., KIELLAND, K., & GANETEG, U. (2009). Uptake of organic nitrogen by plants. **New Phytologist**, 182(1), 31-48.
- NG, S. K., H. VON UEXKULL, and R. HARDTER. 2003. Botanical aspects of the oil palm relevant to crop management. In: **OilPalm: Management for Large and Sustainable Yields**. (T. Fairhurst and R. Hardter, Eds.), pp. 13–26. Singapore: Potash & Phosphate Institute/Potash Institute of Canada and International Potash Institute.
- NG, P. H. C.; CHEW, P.S; GOH, K. J.; KEE, K. K. 1999. Nutrient requirements and sustainability in mature oil palms - an assessment. **The Planter**, Kuala Lumpur 75(880):331-345.
- NUGROHO, Y. A.; SUMERTAJAYA, I. M.; WIENDI, N. M. A.; TORUAN-MATHIUS, N. 2014. Estimation of genetic parameters for *in vitro* culture traits and selection best progenies for Tenera oil palm tissue culture. **Energy Procedia**. 4, 316- 322.
- OCHS, R.; OLIVIN, J. Le diagnostic foliaire pour le contrôle de la nutrition des échantillons foliaires. **Oléagineux**, Paris, v. 32, n. 5, p. 211-213, 1977.
- OLLIVIER, J.; FLORI, A.; COCHARD, B.; AMBLARD, P.; TURNBULL, N.; SYAHPUTRA, I.; SURYANA, E.; LUBIS, Z.; SURYA, E.; SIHOMBING, E.; GASSELIN. D. T. (2016) Genetic variation in nutrient uptake and nutrient use efficiency of oil palm, *Journal of Plant Nutrition*, 40:4, 558-573
- OLIVIN, J. Etude pour la localisation d'une plantation industrielle de palmiers à huile. **Oléagineux**, Paris, v. 41, n. 3, p. 103-118, 1986.
- PACHECO, A. R.; TAILLIEZ, B. J. **Formação de mudas de dendê**. Manaus: EMBRAPACNPSD, 1985

POZZA, A.A.A. Silício em mudas de cafeeiro: efeito na nutrição mineral e na suscetibilidade à cercosporiose em três variedades. Lavras, **Universidade Federal de Lavras**, 2004. 89p. (Tese de Doutorado).

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.

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.

RODRIGUES, M. R. L.; TEIXEIRA, P. C.; MACÊDO, J. L. V. de; CUNHA, R. N. V.; LOPES, R.; ROCHA, R. N. C.; TEIXEIRA, W. G. Avaliação do estado nutricional e manejo da fertilidade do solo para a produção sustentável da cultura da palma de óleo na Amazônia. In: RAMALHO FILHO, A.; MOTTA, P. E. F. da; FREITAS, P. L. de; TEIXEIRA, W. G. (Ed.). **Zoneamento agroecológico, produção e manejo para a cultura da palma de óleo na Amazônia**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2010. p.115-126. il. color. Acomapanha1 CD-ROM e 1 DVD.

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

RODRIGUES, M. D. R. L. et al. Avaliação do estado nutricional do dendezeiro: análise foliar (reformulada). **Embrapa Amazônia Ocidental-Comunicado Técnico (INFOTECA-E)**, 2006.

SANTANA, R. C.; BARROS, N. F.; NEVES, J. C. L. Eficiência de utilização de nutrientes e sustentabilidade da produção em procedências de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* em sítios florestais do Estado de São Paulo. **Revista Árvore**, Viçosa, 26: 447-457, 2002.

SANTOS, R.R.S. Caracterização morfológica e fenológica de clones de palma de óleo (*Elaeis guineenses* Jacq.). Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2018; p.50.

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

STAHRRINGER, N.I. **Sistema de recomendação de corretivos e fertilizantes para a cultura da laranjeira com base no balanço nutricional (ferticalc-laranja)**. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2013. 121p. (Dissertação de Mestrado)

SCHACHTMAN, D. P., REID, R. J., & AYLING, S. M. (1998). Phosphorus uptake by plants: from soil to cell. **Plant physiology**, 116(2), 447-453.

SIDDIQI, M.Y.; GLASS, A.D.M. Utilisation index: a modified approach to the estimation and comparison of nutrient utilisation efficiency in plants. **Journal of Plant Nutrition**, v.4, p.289-302, 1981.

SILVA, J. S. D. O. **Produtividade de óleo de palma na cultura do dendê na Amazônia oriental: influência do clima e do material genético**. .2006.81 p. Dissertação. (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Departamento de Solos e Nutrição de plantas, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006.

SINCLAIR T R . 1990. Nitrogen influence on the physiology of crop yield. In: RABBINGE R, GOUDRIAAN J, VAN ICEULEN H, PENNING de VRIES FWT, Van LEAR H H , eds. **Theoretical production ecology: Hindsight and perspectives**. Wageningen, The Netherlands: PUDOC, 41-55.

SOH, A. C., G. WING, T. Y. HOR, C. C. TAN, AND P. S. CHEW. 2003. Oil palm genetic improvement. **Plant Breeding Reviews** 22: 165–219.

STEWART, W. M. Consideraciones en el uso eficiente de nutrientes. **Infomaciones Agronomicas**-International plant nutrition institute - IPNI, n. 67, p. 1–16, 2007

SUN, C., CAO, H., SHAO, H., LEI, X., &XIAO, Y. (2011). Growth and physiological responses to water and nutrient stress in oil palm. **African Journal of Biotechnology**, 10(51), 10465-10471

SWIADER, J.M.; CHYAN, Y. & FREIJI, F.G. Genotypic differences in nitrate uptake and utilization efficiency in pumpkin hybrids.**J. PlantNut.**, 17:1687-1699, 1994.

TAIZ, L. et al.; **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**.6. ed. 2017.

TINKER, P.B. (1976) **Soil requirements of the oil palm**. In: Corley, R.H.V., Hardon, J.J. and Wood, B.J. (eds.) Oil Palm Research. [Developments in Crop Science (1)], Elsevier, Amsterdam, pp.165–181.

USDA. Oilseeds: World Markets and Trade. **United States Departmet of Agriculture**, 2018.

VIEGAS, I. de J. M. **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 Amarelos distrófico, Tailândia, Pará**. 1993. 217 f. Tese – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo

VIÉGAS, I. de J. M.; BOTELHO, S. M. Nutrição e adubação do dendezeiro. In: VIÉGAS,I. de J. M.; MÜLLER, A. A. (Ed.). **A cultura do dendezeiro na Amazônia brasileira**. Belém,PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2000, p. 229-273.

VIÉGAS I. J. M.; MÜLLER, A. A. **A cultura do dendezeiro na Amazônia brasileira**.Embrapa. 2010. 374p.

VIÉGAS, I. J.; MÜLLER, A. A. **A cultura do dendezeiro na Amazônia brasileira**. 1. ed. Belém: Embrapa, 2000.

ZIMMERMANN, M. H.; TOMLINSON, P. B. Anatomy of the palm *Rhapisexcelsa*. I. Mature vegetative axis. **Journal of Arnold Arboretum**, Cambridge, v. 46, n. 2, p. 160-180, 1965.

WAHID, B. M.; ABDULLAH, S.; HENSON, I.E. Oil palm -achievements and potential.**Plant prodution Science**, Tokyo, v.8, p. 288-297, 2005.

WHITE, M. C., DECKER, A. M., & CHANEY, R. L. (1981). Metal complexation in xylem fluid: I. Chemical composition of tomato and soybean stem exudate. **Plant Physiology**, 67(2), 292-300.

WHITE, P. J., & BROADLEY, M. R. (2003). Calcium in plants. **Annals of botany**, 92(4), 487-511.

WONG, C.; BERNARDO, R. 2008. Genome wide selection in oil palm: increasing selection gain per unit time and cost with small population. **Theoretical and Applied Genetics**. 116,815-824.

WOITTIEZ, L. S.; VAN WIJK, M. T.; SLINGERLAND, M.; VAN NOORDWIJK, M.; GILLER, K. E. Yield gaps in oil palm: A quantitative review of contributing factors. *European Journal of Agronomy*, v. 83, p. 57–77, 2017.

WOO, Y.C., OOI, S.H. and HARDTER, R. (1994) Potassium for clonal oil palm in the 21st century. In: **IFA-FADINAP Regional Conference for Asia and the Pacific**. IFA-FADINAP, Kuala Lumpur, Malaysia, 12-15 December 1994

YUI, S.; YEH, S. Land use change emissions from oil palm expansion in Pará, Brazil depend on proper policy enforcement on deforested lands. **Environmental Research Letters**, v. 8, n. 4, 2013.

ANEXO

Quadro 14 - Resumo do Quadro da ANOVA geral das variáveis *mMS_F*; *mMS_C*; *mMS_R*; *mMS_PA* e *mMS_T* de três clones de palma de óleo

Fonte de Variação	GL	Quadrado médio (QM)				
		<i>mMS_F</i> ¹	<i>mMS_C</i> ²	<i>mMS_R</i> ³	<i>mMS_PA</i> ⁴	<i>mMS_T</i> ⁵
		g/pla				
Bloco	3	-	-	-	-	-
Tratamento	2	459,6473 ***	204,66115 ***	46,0055 ***	1267,9444 ***	1786,7741 ****
Resíduo	186	10,5251	5,7785	1,5048	30,4097	43,8374
Total	191	-	-	-	-	-

Em que: *** significativo a 0,1 % ;¹corresponde a massa de matéria seca no compartimento folha; ²corresponde a massa de matéria seca no compartimento caule; ³corresponde a massa de matéria seca no compartimento raiz; ⁴corresponde a massa de matéria seca no compartimento parte aérea e ⁵corresponde a massa de matéria seca total da planta.

Quadro 15- Resumo do Quadro da ANOVA desdobramento das *mMS_F*; *mMS_C*; *mMS_R*; *mMS_PA* e *mMS_T* de três clones de palma de óleo

Fonte de Variação	GL	Quadrado médio (QM)				
		<i>mMS_F</i> ¹	<i>mMS_C</i> ²	<i>mMS_R</i> ³	<i>mMS_PA</i> ⁴	<i>mMS_T</i> ⁵
		g/pla				
Bloco	3	-	-	-	-	-
C1-i: AM-23 vs AM-21+ PL-10 ⁶	1	536,6185 ***	166,1108 ***	28,6453 ***	1299,8496 ***	1714,4206 ***
C2-i: PL-10 vs AM-21 ⁷	1	382,6761 ***	243,2115 ***	63,3656 ***	1236,0392 ***	1859,1277 ***
C3-i: AM-23 vs AM-21 ⁸	1	890,5782 ***	359,4551 ***	74,2218 ***	2381,6214 ***	3296,7200 ***
Resíduo	186	10,5251	5,7785	1,5048	30,4097	43,8374
Total	191	-	-	-	-	-

Em que: *** significativo a 0,1 % ;¹ corresponde a massa de matéria seca no compartimento folha; ² corresponde a massa de matéria seca no compartimento caule; ³ corresponde a massa de matéria seca no compartimento raiz; ⁴ corresponde a massa de matéria seca no compartimento parte aérea; ⁵ corresponde a massa de matéria seca total da planta; ⁶ C1-i- corresponde ao contraste ortogonal 1 entre os clones AM-23 vs AM-21 + PL-10 para as médias dos diferentes compartimentos; ⁷C2-i- corresponde ao contraste ortogonal 2 entre os clones PL-10vs AM-21 para as médias dos diferentes compartimentos e ⁸ C3-i- corresponde ao contraste adicional entre os clones AM-23vs AM-21 para as médias dos diferentes compartimentos.