

**YARA PAOLA LÓPEZ GAMARRA**

**MODELO DE RECOMENDAÇÃO DE ADUBAÇÃO E CALAGEM PARA A  
CULTURA DE DENDÊ (*Elaeis guineensis* Jacq.) COM BASE EM BALANÇO  
NUTRICIONAL**

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**

**2013**

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

T

L864m  
2014

López Gamarra, Yara Paola, 1988-  
Modelo de recomendação de adubação e calagem para  
a cultura de dendê (*Elaeis guineensis* Jacq.) com base em  
balanço nutricional / Yara Paola López Gamarra. - Viçosa,  
MG, 2014.  
vii, 52f. ; 29 cm.

Inclui anexo.  
Orientador : Júlio Cesar Lima Neves.  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de  
Viçosa.  
Referências bibliográficas: f.49-52.

1. Dendê - Cultivo. 2. Dendê - Absorção e nutrientes.  
I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Solos e  
Nutrição de Plantas. Programa de Pós-graduação em Solos e  
Nutrição de Plantas. II. Título.

CDD 22. ed. 633.851

**YARA PAOLA LÓPEZ GAMARRA**

**MODELO DE RECOMENDAÇÃO DE ADUBAÇÃO E CALAGEM PARA A CULTURA DE DENDÊ (*Elaeis guineensis* Jacq.) COM BASE EM BALANÇO NUTRICIONAL**

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 em: 27 de fevereiro de 2014**

---

Víctor Hugo Álvarez V.  
(Co-orientador)

---

Luiz Antônio dos Santos Dias

---

Genelício Crusoé Rocha

---

Júlio Cesar Lima Neves  
(Orientador)

## ÍNDICE

	<b>PÁGINA</b>
RESUMO	iv
ABSTRACT	vi
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1. ASPECTOS GERAIS	4
2.2. Morfologia do dendê	4
2.2.1. Folhas	4
2.2.2. Estipe	5
2.2.3. Raízes	5
2.2.4. Fruto	6
2.3. Requerimentos edafo-climaticos	6
2.4. ASPECTOS NUTRICIONAIS	7
2.4.1. Balanço nutricional: Demanda e exportação de nutrientes	7
2.4.2. Adubação	11
3. O MODELO FERTICALC	13
4. DESENVOLVIMENTO DO MODELO	14
4.1. Módulo requerimento	14
4.1.1. Requerimento total de nutrientes pela planta	21
4.1.2. Produção de óleo	23
4.2. Módulo suprimento	26
4.2.1. Recomendação de calagem	26
4.2.2. Método da neutralização do $Al^{3+}$ e elevação dos teores de $Ca^{2+}$ e de $Mg^{2+}$	26
4.2.3. Método da saturação por bases	28
4.2.4. Cálculo da quantidade de calcário a ser aplicado	30

<b>4.3.</b>	<b>Nutrientes supridos pelo solo</b>	<b>30</b>
<b>4.3.1.</b>	<b>Componente Nut<sub>solo</sub></b>	<b>32</b>
<b>4.3.2.</b>	<b>Nutrientes supridos pelos resíduos vegetais (spNu<sub>i</sub>_res)</b>	<b>35</b>
<b>4.3.3.</b>	<b>N suprido pela matéria orgânica do solo (spN_MOS)</b>	<b>36</b>
<b>5.</b>	<b>SIMULAÇÕES DE USO DO SISTEMA FERTICAL-DENDE</b>	<b>38</b>
<b>5.1.</b>	<b>Recomendação de calagem</b>	<b>38</b>
<b>5.1.1.</b>	<b>Quantidade de calcário a ser aplicado e suprimento de Ca e Mg</b>	<b>39</b>
<b>5.2.</b>	<b>Recomendação de adubação para uma plantação de dendê com oito anos de idade</b>	<b>40</b>
<b>5.2.1.</b>	<b>Estimativa do incremento anual de matéria seca Vegetativa</b>	<b>40</b>
<b>5.2.2.</b>	<b>Produção de matéria seca de fruto</b>	<b>41</b>
<b>5.2.3.</b>	<b>Demanda total de nutrientes</b>	<b>41</b>
<b>5.2.4.</b>	<b>Taxas de recuperação de nutrientes pela planta</b>	<b>41</b>
<b>5.2.5.</b>	<b>Requerimento de nutrientes</b>	<b>42</b>
<b>5.2.6.</b>	<b>Suprimento de nutrientes</b>	<b>42</b>
<b>6.</b>	<b>CONCLUSÕES</b>	<b>44</b>
<b>7.</b>	<b>ANEXOS</b>	<b>45</b>
<b>8.</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>47</b>

## RESUMO

LÓPEZ GAMARRA, Yara Paola, M.Sc, Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2014. **Modelo de recomendação de adubação e calagem para a cultura de dendê (*Elaeis guineensis* Jacq.) com base em balanço nutricional.** Orientador: Júlio César Lima Neves. Co-orientadores: Víctor Hugo Alvarez Venegas e Nairam Felix de Barros.

A importância do cultivo do dendezeiro está associada com vários aspectos, incluindo a alta produção de óleo vegetal que é utilizado nas indústrias de cosméticos, de sabões, de alimentos e como combustível alternativo e alta capacidade de fixação de carbono e de proteção do solo contra erosão. A cultura de dendê tem elevadas exigências nutricionais, dessa forma a obtenção de elevadas produtividades, com sustentabilidade, requer, com frequência, uma suplementação nutricional adequada. Esta que pode ser fundamentada essencialmente no conhecimento das exigências nutricionais da cultura e na identificação da capacidade dos solos em fornecer nutrientes às plantas, por meio do balanço nutricional, com eventuais ajustes com base em monitoramento do estado nutricional da cultura via análise foliar. O objetivo deste trabalho foi desenvolver um modelo de recomendação de calagem e adubação para a cultura do dendê baseado em balanço nutricional (FERTICALC - Dendê). Para desenvolver o modelo foram utilizados dados e informações sobre conteúdo de massa e nutrientes nas diferentes partes da planta de dendê, nas fases de formação e produção da cultura. Para tanto foram consultadas literaturas referentes a plantios de dendê estabelecidos na Amazônia brasileira, mais especificamente no município de Tailândia, estado do Pará e em outras regiões produtoras na Ásia e na África. O FERTICALC-Dendê foi subdividido em dois módulos: Módulo Requerimento, que contempla a demanda pela planta, considerando a eficiência de recuperação dos nutrientes aplicados, além de uma dose que atende ao critério de “sustentabilidade”, e o Módulo Suprimento, que corresponde à oferta de nutrientes pela calagem, solo, matéria orgânica e pelos resíduos vegetais ou outros resíduos orgânicos. Para determinar a demanda da planta foram ajustadas equações para a produção de

massa de matéria seca total e da parte aérea, nos seus componentes e nos cachos, em função da idade das plantas; além disso, também foram ajustadas equações para os conteúdos de macro e micronutrientes na parte aérea e nos cachos em função da idade das plantas. Na escolha das equações foi considerado o significado biológico e os valores de  $R^2$ . Assim como nas diferentes culturas que já são contempladas por modelos FERTICALC, o modelo FERTICALC–Dendê utilizou uma “dose de segurança” que se refere à dose de sustentabilidade, que tem como intuito evitar o esgotamento das reservas dos nutrientes no solo ao longo do tempo e garantir uma dada produtividade de frutos em cultivos subsequentes. Portanto, ao somar a demanda nutricional da planta e a demanda de sustentabilidade, foi obtida a demanda total pelo dendezeiro para cada nutriente no intuito de alcançar a produtividade esperada. Porém, antes de obter o requerimento total de cada nutriente pela planta, foi considerada a taxa de recuperação do nutriente aplicado ao solo como fertilizante, pois a planta não absorve 100 % do nutriente aplicado, devido a fatores como perdas e competição da planta com o solo. O suprimento total de nutrientes pelo solo, para a cultura do dendezeiro foi calculado pela somatória do suprimento de nutrientes pela matéria orgânica do solo (apenas para N), o suprimento de nutrientes pelo solo e o suprimento de nutrientes pelos resíduos orgânicos. Com base no balanço nutricional realizado com o auxílio do Ferticalc-dendê é possível estabelecer os nutrientes em déficit e excesso em plantios da cultura. As simulações feitas com o modelo Ferticalc-dendê permitiram estabelecer uma nova alternativa para realizar a reposição nutricional nesta cultura.

## ABSTRACT

LOPEZ GAMARRA, Yara Paola, M.Sc, Universidade Federal de Viçosa, february 2014. **Model of liming and fertilization recommendation for growing oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) based on nutrient balance.** Advisor: Julio Cesar Lima Neves. Co-advisors: Víctor Hugo Alvarez Venegas and Nairam Felix de Barros.

The importance of oil palm crop is associated with several aspects such as, the production of vegetable oil used in cosmetics soap industries, food and as a fuel alternative, high capacity carbon retention and soil protection against erosion. The culture of oil palm has high nutritional requirements, thus obtaining a high yield of oil palm plantations, with sustainability often requires, proper nutritional supplementation. This can be primarily based on the knowledge of the nutritional requirements of the culture and identification of soil capacity to provide nutrients to plants through of nutritional balance the philosophy, with possible adjustments based on monitoring the nutritional status of crop foliar analysis. The aim of this study was to develop a model of liming and fertilization for the culture of oil palm based on nutrient balance (FERTICALC – Oil palm). To develop the model we used data from accumulation of mass nutrients and information in different parts of the palm plant, phases of training and splitting of crop production. We consulted literatures related to oil palm plantations established in the Brazilian Amazon, more specifically in the town of Thailand, in the state of Pará and other producing regions of Asia and Africa. The FERTICALC – oil palm was divided into two module: request module, which included the demand of the plant considering recovery efficiency of the nutrients applied, plus a dose that comply with the criteria of "sustainability" and the module supply, which corresponds to the supply of nutrients by liming, soil and organic matter from plant residues and other organic wastes. In order to determine the demand of the plant were adjusted equations for the production of total dry mass and air parts with its each and clusters accordance with plant age, and were adjusted equations for content of macro and micronutrients in shoots and clusters in the air part

dependent on the age of the plant. In choosing of the equations, we considered the biological meaning and  $R^2$  values. As well as the different cultures found in the FERTICALC system, the FERTICALC - oil palm also uses a "safe dose", which refers to the dose of sustainability, which is intended to avoid the depletion of nutrients in the soil through the time and ensure a minimum of crop clusters subsequents. Therefore, adding the demand of nutrients plants and sustainability demand, the total demand of oil palm for each nutrient in order to achieve the expected productivity will be obtained. Before obtaining the full requirement of each of nutrients per plant, we considered the recovery rate of the nutrient applied to the soil as fertilizer, since the plant does not absorb 100% of the fertilizer applied due to factors such as, the losses and competition between plant and soil. The total offer of soil nutrients for oil palm plantation is calculated by adding the contribution of nutrients from soil organic matter (for N), the supply of nutrients from the soil and supply of organic waste. Based on the nutrient balance was possible to establish the deficit and excess nutrients in the plant. The simulations with the model FERTICALC - oil palm allowed establishing a new alternative to achieve nutritional supplementation in this culture.

## 1. INTRODUÇÃO

O Dendezeiro é a mais produtiva de todas as oleaginosas, com um rendimento médio de cerca de 3 - 5 t/ha/ano de óleo. A sua produtividade é de pelo menos três - oito vezes maior do que a maioria das outras oleaginosas. Além disso, o dendê também produz 0,5 t/ha/ano de óleo de palmiste contido na amêndoa. Os óleos extraídos da amêndoa e do mesocarpo diferem na composição de ácidos graxos e, portanto, têm usos diferentes, incluindo alimentos e produtos não alimentícios (Murphy, 2003).

Atualmente o Brasil possui cerca de 70 milhões de hectares adequados para a cultura de dendê, estas áreas encontram-se na região norte, com predomínio de 50 milhões no Estado do Amazonas e 20 milhões no Pará (Embrapa, 2000), e em concentrações menores nos estados do Amapá, Rondônia e Roraima.

As exigências nutricionais do dendê podem variar amplamente. Elas dependem do rendimento esperado, do tipo do genótipo usado, do espaçamento do plantio, da idade da palma, do tipo de solo, das condições da vegetação permanente e do clima. (Bernard, 1950)

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

Segundo Tinker (1976), existem três fontes de demanda de nutrientes no dendezeiro: Os nutrientes removidos na colheita de cachos de fruto, os nutrientes reciclados que voltam ao solo nas folhas podadas, inflorescências masculinas e por lavagem das folhas e os nutrientes imobilizados na biomassa de palma. Os nutrientes removidos na colheita podem ser supridos pela

reciclagem de resíduos da cultura como cachos de frutos vazios, efluentes da fábrica de óleo e pela adição de fertilizantes minerais, para evitar esgotar os estoques de nutrientes do solo. Os nutrientes contidos nas folhas podadas e inflorescências masculinas são devolvidos ao solo quando são removidos da palma e deixados no campo. Além disso, os nutrientes imobilizados no estipe da palma são devolvidos ao solo no replantio.

O alto custo dos fertilizantes tem estimulado o desenvolvimento de práticas para aperfeiçoar o uso de fertilizantes e minimizar as perdas de nutrientes. A definição de doses adequadas de nutrientes pode ser fundamentada primordialmente no conhecimento das exigências da cultura e na identificação da capacidade dos solos em fornecer nutrientes às plantas, por intermédio do balanço nutricional, com ajustes baseados em análise foliar e de solo.

Atualmente a fertilização na cultura de dendê é feita com base nas quantidades de nutrientes exportadas com ajustes dependendo dos resultados de análises foliar, mas a fertilização deve ser feita considerando não apenas as quantidades de nutrientes exportadas, como também as quantidades de nutrientes contidas nos diferentes componentes da planta.

O desenvolvimento de um sistema de balanço nutricional pode ser feito, no que tange ao módulo planta, com base na sistematização de dados e informações de literatura sobre conteúdo e acúmulo de massa de matéria seca e de nutrientes dos compartimentos das plantas de dendê ao longo de seu crescimento e desenvolvimento, nas fases de implantação e formação, e de produção da cultura, de modo a se estimar a demanda e o requerimento nutricional; e quanto ao módulo solo com base no desenvolvimento de funções que permitam estimar o suprimento dos nutrientes pelo solo e pelos resíduos aportados a cultura.

Em síntese, o conhecimento das necessidades nutricionais nos diferentes estágios de crescimento e desenvolvimento da cultura permitirá o desenvolvimento de planos de manejo, a partir do qual podem ser feitas

recomendações mais confiáveis para alcançar os objetivos agronômicos, econômicos e ambientais em base ao melhor conhecimento de taxas de recuperação de nutrientes pelas plantas e pelos extratores, fontes, tempo e métodos de aplicação.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. Aspectos Gerais

O dendê (*Elaeis guineensis*, Jacq.), ou Palma Africana como conhecida mundialmente, é uma planta nativa do Golfo de Guiné onde crescia de forma silvestre no bosque tropical úmido ao longo da franja costeira entre Senegal, Angola e o Rio Congo, e estima-se que ela foi introduzida no continente Americano pelo tráfego de escravos desde o século XVI. O dendê chegou ao Brasil pelo litoral da Bahia e Salvador, ponto importante da trata de escravos no País.

O dendê é uma planta monocotiledônea pertencente à família Aracaceae. Os frutos desta palmácea produzem dois tipos de óleo, o óleo de palma que é extraído do mesocarpo e o óleo de palmiste que é extraído da amêndoa. Existem quatro variedades de palma de óleo classificadas de acordo com a espessura do endocarpo (Conceição & Muller, 2000):

- **Macrocaria:** Produz frutos com uma espessura de endocarpo maior que 6 mm.
- **Dura:** Produz frutos com uma espessura de endocarpo entre 2 e 4 mm.
- **Pisifera:** Seus frutos não apresentam endocarpo.
- **Tenera:** É um híbrido originado pelo cruzamento entre as variedades Dura x Pisifera, seus frutos possuem o endocarpo com uma espessura menor que 2 mm.

### 2.2. MORFOLOGIA DO DENDÊ

#### 2.2.1. Folhas

O estipe de uma palmeira adulta é coroado por um penacho de 30 a 50 folhas. A folha do dendê é penada, podendo medir de 5 a 7 m e podendo pesar de 5 a 8 kg cada uma. A folha é dividida em três partes: pecíolo, raquis e folíolos. Existem de 100 a 160 pares de folíolos dispostos nos dois lados do

raquis em distintos ângulos de inserção, sendo os folíolos da parte media central os que têm maior comprimento (> 1,20 m). O pecíolo apresenta uma parte inferior arredondada e uma parte superior lisa (Surre e Ziller, 1969).

### **2.2.2. Estipe**

O estipe do dendê requer de 3 a 4 anos para seu desenvolvimento depois do crescimento transversal do bulbo sobre o qual se prolonga e descansa firmemente, e pode crescer de 25 a 30 cm por ano (Surre e Ziller, 1969). O estipe é cilíndrico e o seu diâmetro oscila entre 45 e 68 cm, podendo alcançar ate 40 m de altura, dependendo da espécie e condições climáticas (Raygada, 2005).

### **2.2.3. Raízes**

O sistema radicular do dendê esta distribuído principalmente nos primeiros 50 cm do solo, formando uma massa de raízes que partem do bulbo. O bulbo é um órgão voluminoso de aproximada 80 cm de diâmetro e de 40 a 50 cm de profundidade (Surre e Ziller, 1969). As raízes podem ser primarias, secundarias, terciárias e quaternárias (Hartley, 1983).

As raízes primárias são lignificadas e somente possuem poder de absorção nos extremos, a sua principal função é fornecer suporte á planta. As raízes secundárias emergem das primarias em direção ascendente ou descendente, estas raízes tem um diâmetro entre 2 e 4 mm e podem cumprir a função de absorção ao redor dos primeiros 5 ou 6 mm de solo, mas a sua função principal é manter as raízes terciárias as quais tem pouco comprimento (10 cm) que junto com as raízes quaternárias tem a função de absorção de água e nutrientes (Surre e Ziller, 1969). As raízes do dendê podem alcançar vários metros de comprimento, mas a sua maior concentração se da em torno dos primeiros 40 cm de profundidade.

#### **2.2.4. Fruto**

O fruto do dendê é uma drupa séssil que consta das seguintes partes: pericarpo ou casca, mesocarpo ou polpa de onde se extrai o óleo de palma e o endocarpo que junto com o endosperma ou amêndoa constituem a semente de onde se extrai o óleo de palmiste. O endocarpo é negro e tem uma consistência muito dura e esta envolvido por fibras. A espessura do endocarpo é uma característica usada para classificar as diferentes variedades de dendê que mais se planta atualmente. Os frutos se agrupam em cachos, o qual pode apresentar um peso médio de 25 kg, agrupando de 1 000 a 3 000 frutos por cacho (Raygada, 2005).

### **2.3. REQUERIMENTOS EDAFO-CLIMATICOS**

O dendê é uma planta cujo ciclo vegetativo tem uma duração média de 25 anos. A cultura é muito sensível a mudanças drásticas de clima, mais especificamente à deficiência hídrica, temperaturas baixas e pouca insolação. No entanto a produtividade da cultura depende da interação de todos os fatores que incidem diretamente na cultura como clima, fertilidade do solo e doenças.

Os fatores climáticos de maior relevância para o desenvolvimento do dendê são (Furlan *et al.*, 2006):

- Temperatura média adequada entre 24 e 28 °C, com uma temperatura mínima absoluta não menor de 18 °C, temperaturas menores a esta podem ocasionar uma forte diminuição na taxa de crescimento em plantas jovens e redução acentuada na produção de plantas adultas.
- Insolação de 2 000 h de luz bem distribuídas ao longo do ano. Este é um fator muito relevante devido á alta intensidade fotossintética do dendê. Locais com insolação menor que 1 500 horas/ano ocasionam diminuição do teor de óleo nos frutos.
- Precipitação em torno de 2 500 mm/ano bem distribuídos ao longo do ano. Meses com precipitação abaixo de 100 mm devem ser

complementados com irrigação, já que a planta é muito susceptível a falta de água podendo assim influenciar no crescimento da planta, emissão de folhas, número e peso de cachos.

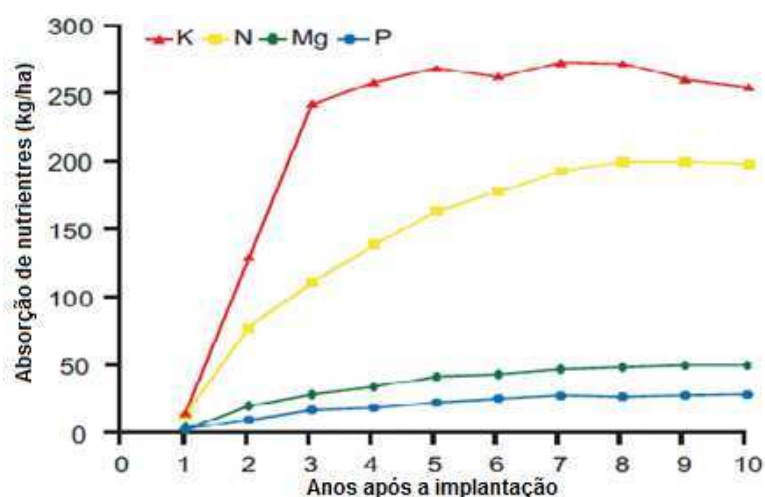
- Umidade relativa em torno de 75 a 90 %.

No Brasil a cultura do dendê esta implantada em áreas onde a maioria dos solos são Latossolos e Argissolos de textura média a muito argilosa, com soma de bases diminuindo acentuadamente em profundidade, com pH entre 4 e 6. As características mais importantes no que respeita ao solo para implantação da cultura são: solos profundos (até 1,50 m), sem camadas compactadas e bem drenados. Além disso, recomendam-se terrenos com declividade menor que 10 % para facilitar a colheita dos frutos.

## **2.4. ASPECTOS NUTRICIONAIS**

### **2.4.1. Balanço Nutricional: Demanda e exportação de nutrientes**

Um dos trabalhos mais completos sobre a demanda e rendimento do dendê foi feito pelo Dr. Ng Siew-kee e os seus colaboradores (Ng & Thamboo, 1967; Ng *et al.*, 1968). Estes trabalhos foram feitos com a variedade Dura a qual tinha um rendimento em torno de 25 t/ha de cachos de frutos frescos (CFF). A figura 1 mostra a dinâmica de absorção de N, P, K e Mg durante 10 anos após o plantio. A demanda dos nutrientes no primeiro ano é baixa devido a que as palmas foram recém-transplantadas ao campo e o seu sistema radicular ainda não está desenvolvido totalmente. Logo se tem um rápido incremento da absorção especialmente do K e N (Mg e P aumentam com menor intensidade) seguido da estabilização a partir do quinto ano.



**Figura 1.** Absorção de nutrientes no dendê (Fonte: Ng, 1977).

No mesmo trabalho foi avaliada a distribuição dos nutrientes absorvidos nas diferentes partes da planta (Quadro 1). Observa-se que 78 kg de K são imobilizados anualmente na planta e são exportados na colheita de 25 t/ha de cachos de frutos frescos.

**Quadro 1.** Estimativa da absorção de nutrientes em palmas adultas.

COMPONENTE	Nutrientes				
	N	P	K	Mg	Ca
	kg/ha				
Material vegetativo	41	1,4	46	7	10
Folhas podadas	67	3,9	72	13	44
Cachos de frutos (25 t)	73	5,1	78	12	14
Inflorescências masculinas	11	1,0	13	4	3
<b>TOTAL</b>	<b>192</b>	<b>11,4</b>	<b>209</b>	<b>36</b>	<b>71</b>

Fonte: Ng (1977)

No quadro 2 se tem um exemplo de balanço nutricional na cultura de dendê. Para o cálculo deste balanço a meta de rendimento foi de 30 t/ha de CFF. Dentre as perdas de nutrientes na cultura foram considerados os nutrientes removidos do campo com os CFF, os nutrientes fixados nas partes vegetativas e os nutrientes perdidos por lixiviação ou erosão. Por outro lado para os ganhos de nutrientes foram considerados aqueles que retornam ao

campo nas folhas podadas, cachos vazios, efluentes da extratora e a contribuição da chuva.

Este modelo assume que as plantas são adultas e que o tamanho da copa permanece constante, além disso, assume-se que parte da demanda de nutrientes é suprida pelas folhas podadas que são deixadas no campo e que o sistema radicular está desenvolvido completamente. Contudo, só fica faltando à demanda de nutrientes necessária para o crescimento do estipe. Para o cálculo do balanço é usado o solo da série Munchong, solo de baixa fertilidade típico da Malásia. Para o balanço os nutrientes contidos no solo não são considerados.

**Quadro 2.** Balanço nutricional e nutrientes necessários para o rendimento de 30 t/ha de CFF de dendê.

Componente do Balanço Nutricional	Nutriente			
	N	P	K	Mg
	kg/ha			
<b>Requerimento</b>				
Armazenamento no estipe	42,4	4,1	121,6	10,2
Remoção nos CFF	99,1	15,6	129,6	33,3
Perdas por Lixiviação, Erosão	21,0	1,9	27,9	5,7
Demanda Total	162,5	21,6	279,2	49,1
<b>Suprimento</b>				
Cachos vazios (retorno ao campo)	17,2	2,1	62,6	2,8
Efluentes da extratora (Retorno ao campo)	6,6	1,4	31,3	5,8
Contribuição da chuva	17,0	2,4	31,6	4,8
Suprimento Total	40,8	5,9	125,3	13,4
Diferença	-127,7	-15,7	-154	-35,8

(Fonte: Adaptado de Ng et al., 1999)

No que respeita à extração de nutrientes pelo dendê, esta foi realizada pela primeira vez no Brasil por Viégas (1993), em palmeiras com dois a oito anos de idade, cultivadas em Latossolo Amarelo, no município de Tailândia, nordeste do estado do Pará (Quadro 3). Neste trabalho Viégas avaliou o crescimento do Dendzeiro (*Elaeis guineensis* Jacq.), concentração, conteúdo e exportação de nutrientes nas diferentes partes da planta. Ele constatou que as quantidades demandas de nutrientes aumentam com o decorrer dos anos.

O macronutriente mais acumulado foi o K seguido pelo N, Ca, Mg, S e P. Já dos micronutrientes o maior acúmulo foi de Cl seguido de Fe, Mn, Zn, B e Cu.

**Quadro 3.** Quantidade de macro e micronutrientes extraídos pelo dendê em função da idade, Tailândia, PA.

Idade	N	P	K	Ca	Mg	S	Cl	Cu	B	Fe	Mn	Zn
Anos	-----kg/ha-----						-----g/ha-----					
2	18,62	1,33	27,64	9,24	3,71	0,82	8,64	20,53	31,73	343,14	101,65	38,31
3	61,06	3,94	93,8	26,62	10,56	4,58	24,65	74,01	65,7	505,31	353,54	195,09
4	152,27	13,23	203,82	79,22	40,78	11,08	63,79	121,18	173,74	1.340,78	719,6	459,76
5	224,38	16,43	311,81	118,97	49,87	18,4	114,27	171,27	289,9	2.312,92	1.328,86	874,84
6	344,99	27,45	460,67	171,61	57,92	36,14	217,82	320,32	464,89	7.286,02	1.872,17	991,12
7	475,07	42,56	711,58	228,62	95,83	43,85	265,51	474,88	654,2	7.862,02	2.577,52	1.323,44
8	586,08	58,71	606,96	286,52	103,1	52,79	320,33	481,43	953,04	17.028,83	3.393,99	1.753,98

(Fonte: Viégas, 1993)

Considerando-se 143 plantas/ha.

Viégas (1993) comparou as estimativas das quantidades de nutrientes exportadas pelo dendzeiro obtidas no seu trabalho com as de outros países (Quadro 4) e constatou que as quantidades exportadas de N são compatíveis com as de Sumatra, Zaire e Costa de Marfim. As quantidades exportadas de P são análogas com as de Zaire e Costa de Marfim e as de K com as de Sumatra. No que respeita ao Ca e ao Mg as quantidades exportadas obtidas por Viégas são mais elevadas quando comparadas com as dos outros países, ele assume que os valores mais elevados são devido aos seguintes fatores: Variedades utilizadas, condições edafoclimáticas, idade fisiológica dos cachos, adubação, produção e método de amostragem.

**Quadro 4.** Quantidades exportadas de macronutrientes pelo dendezeiro (kg/t de cacho fresco).

Fonte	País	Variedade	N	P	K	Ca	Mg	S
Georgi	Malásia	Dura	2,60	0,41	5,90			
Blommendal	Sumatra	Dura	6,00	1,10	7,50	1,90		
Wilbaux	Zaire	Dura	4,50	0,68	4,20	0,54	0,40	
		Tenera	4,50	0,76	4,50	0,70	0,65	
Ferwerda	Zaire		2,90	0,46	3,00	0,46	0,38	
Tinker & Smilde	Nigéria	Dura	2,80	0,58	3,30	0,50	0,43	
IRHO	C. Marfim		4,70	0,67	4,70	0,67	0,67	
Ng & Thamboo	Malásia	Tenera	2,90	0,46	3,70	0,77	0,82	
Maas	Sumatra	Dura	4,40	1,1 - 1,9	7,4 - 10,4			
<b>Viegas (1993)</b>	<b>Brasil</b>	<b>Tenera</b>	<b>4,00</b>	<b>0,67</b>	<b>7,00</b>	<b>2,40</b>	<b>1,00</b>	<b>0,47</b>

(Fonte: Viégas, 1993)

#### 2.4.2. ADUBAÇÃO

Levando em consideração informações de ensaios de adubação e de manejo foi proposto o programa de nutrição mineral e adubação de dendê pela Embrapa Amazônia Ocidental (Quadro 5).

**Quadro 5:** Recomendação de adubação anual para o dendê no Estado do Amazonas em função da idade

Idade (Anos)	Nutrientes						
	N	P	K	Mg	B	Cu	Zn
1	180	150	150	21	2	1,5	1,5
2	225	250	200	32	4	3	3
3	270	300	400	43	7	6	6

(Fonte: Adaptado de Rodrigues et al., 2002)

Para plantas com idade superior a quatro anos a adubação proposta pelo mesmo autor é a seguinte:

- **Nitrogênio:** 405 g/pl se o teor foliar de N é menor do que 25 g/kg
- **Fósforo:** 300 g/pl se o teor foliar de N encontra-se entre 25 e 26 g/kg (a relação foliar deve ficar em torno de 16); se a relação N/P é maior que 17, aplicar 50 % a mais; e se N/P menor a 15, aplicar metade da dose.

- **Potássio:** 250 g/pl se o teor foliar de K é maior a 10 g/kg; 500 g/pl se o teor foliar de K é 9-10 g/kg; 750 g/pl se o teor foliar de K é 8-9 g/kg ou 1000 a 2000 g/pl se o teor foliar de K é menor a 8 g/kg.
- **Magnésio:** 30 g/pl se o teor de Mg foliar é maior a 2,4 g/kg; 60 g/pl se o teor foliar encontra-se entre 2-2,4 g/kg; 80 g/pl se o teor foliar encontra-se entre 1,8-2,0 g/kg ou 100 a 150 g/pl se o teor foliar de Mg é menor a 1,8 g/kg.
- **Boro:** 8 g/pl se o teor foliar de B é maior que 20 mg/kg e as plantas não apresentarem nenhum sintoma de deficiência; aplicar 10 a 13 g/pl se o teor foliar de boro encontra-se entre 12 e 20 mg/kg e todas (ou a maioria) as plantas apresentarem sintomas de deficiência; aplicar 14 a 20 g/pl o teor foliar de boro é menor que 12 mg/kg e as plantas (ou a maioria delas) apresentarem sintomatologia típica e acentuada de deficiência.
- **Cobre:** 6 a 8 g/pl se o teor foliar de Cu é igual a 10 mg/kg; 10 a 12 g/pl se o teor encontra-se entre 5 e 10 mg/kg, ou 15 g/pl se o teor foliar de Cu é menor a 4 mg/kg.
- **Zinco:** 6 g/pl se o teor foliar de Zn é igual a 16 mg/kg; 10 g/pl se o teor foliar de Zn encontra-se entre 8 e 16 mg/kg ou 12 a 15 g/pl se o teor foliar de Zn é menor a 8 mg/kg.

O P deve ser aplicado na cova, parte no fundo e parte misturada à terra de enchimento das covas. Os demais adubos são distribuídos ao redor das plantas, sob a projeção da copa.

As doses de N são parceladas em três vezes (janeiro/fevereiro (plantio), maio e novembro) e as de K em duas vezes (maio e novembro). A partir do segundo ano os adubos são parcelados em duas vezes (maio e novembro), principalmente N e K.

### 3. O MODELO FERTICALC

Combinando modelos mecanísticos e empíricos o FERTICALC permite fazer a modelagem para recomendação de adubação e calagem para a cultura de dendê (FERTICALC-Dendê).

O modelo permite determinar as doses de nutrientes a serem aplicadas à cultura do dendezeiro com base no balanço nutricional, ou seja, a diferença entre o requerimento de nutrientes necessários para a produção de biomassa vegetativa (matéria seca da parte vegetativa) e de frutos (matéria seca de frutos) e o suprimento de nutrientes disponíveis no solo.

Para desenvolver o FERTICALC-Dendê foram utilizados dados e informações sobre acúmulo e partição de massa e nutrientes nas diferentes partes da planta de dendê, nas fases de formação e produção da cultura. Portanto foram consultadas literaturas referentes a plantios de dendê estabelecidos na Amazônia brasileira, mais especificamente no município de Tailândia, estado do Pará (Viégas, 1993) e em outras regiões produtoras na Ásia (Malásia e Ilha de Sumatra) e na África (Nigéria, Costa do Marfim e Zaire).

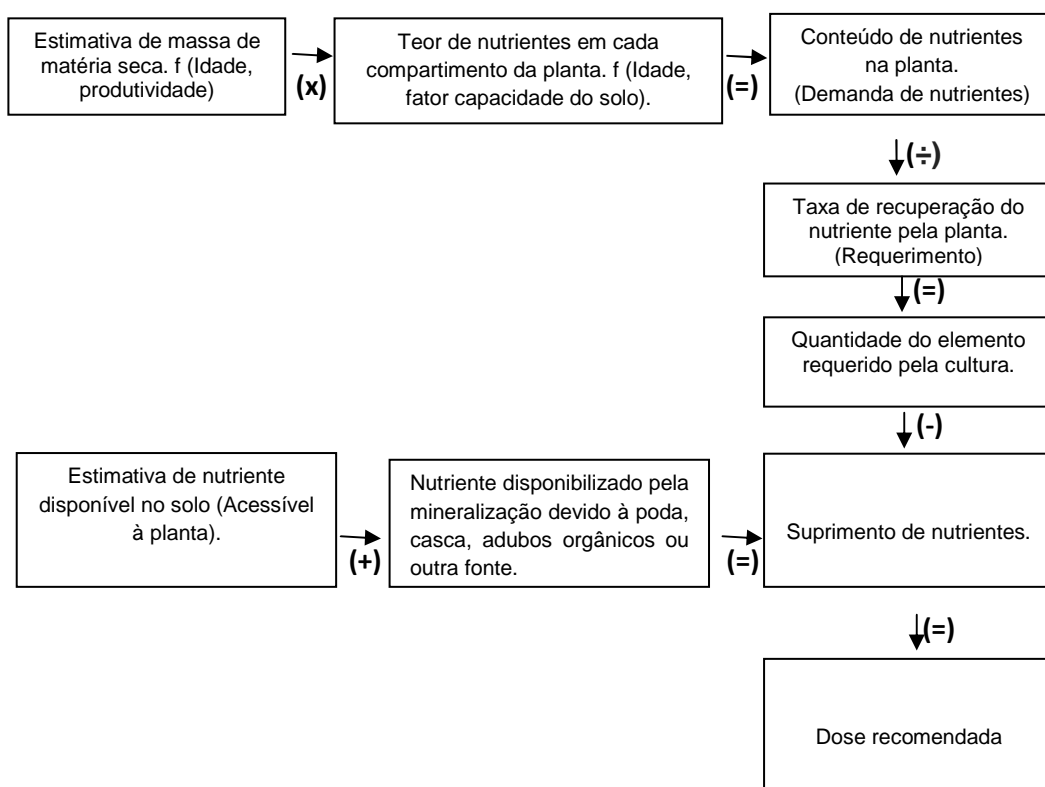
O material genético usado é o híbrido comercial Tenera, e os plantios abrangiam as idades de 2 a 8 anos, envolvendo assim as fases de formação e de produção.

O FERTICALC-Dendê foi subdividido em dois módulos: Módulo Requerimento, que contempla a demanda pela planta, considerando a eficiência de recuperação pela planta dos nutrientes aplicados, além do requerimento para atender o critério de “sustentabilidade”, e o Módulo Suprimento, que corresponderá à oferta de nutrientes pela calagem, solo, matéria orgânica e pelos resíduos vegetais ou outros resíduos orgânicos.

## 4. DESENVOLVIMENTO DO MODELO

### 4.1. MÓDULO REQUERIMENTO

O requerimento de nutriente pelo dendezeiro foi determinado conforme apresentado na figura 2. Para calcular a demanda da planta foram ajustadas equações para o acúmulo de massa de matéria seca total e da parte aérea nos seus diferentes componentes (copa, estipe, inflorescência masculina, pedúnculos e espiguetas) e nos cachos em função da idade das plantas; além disso, também foram ajustadas equações para os conteúdos de macro e micronutrientes na parte aérea e nos cachos em função da idade das plantas.

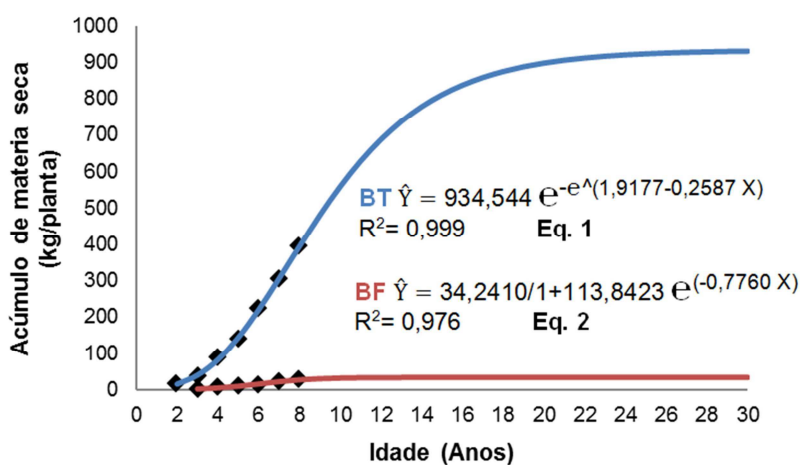


**Figura 2.** Fluxograma das etapas da modelagem do FERTICALC-Dendê.

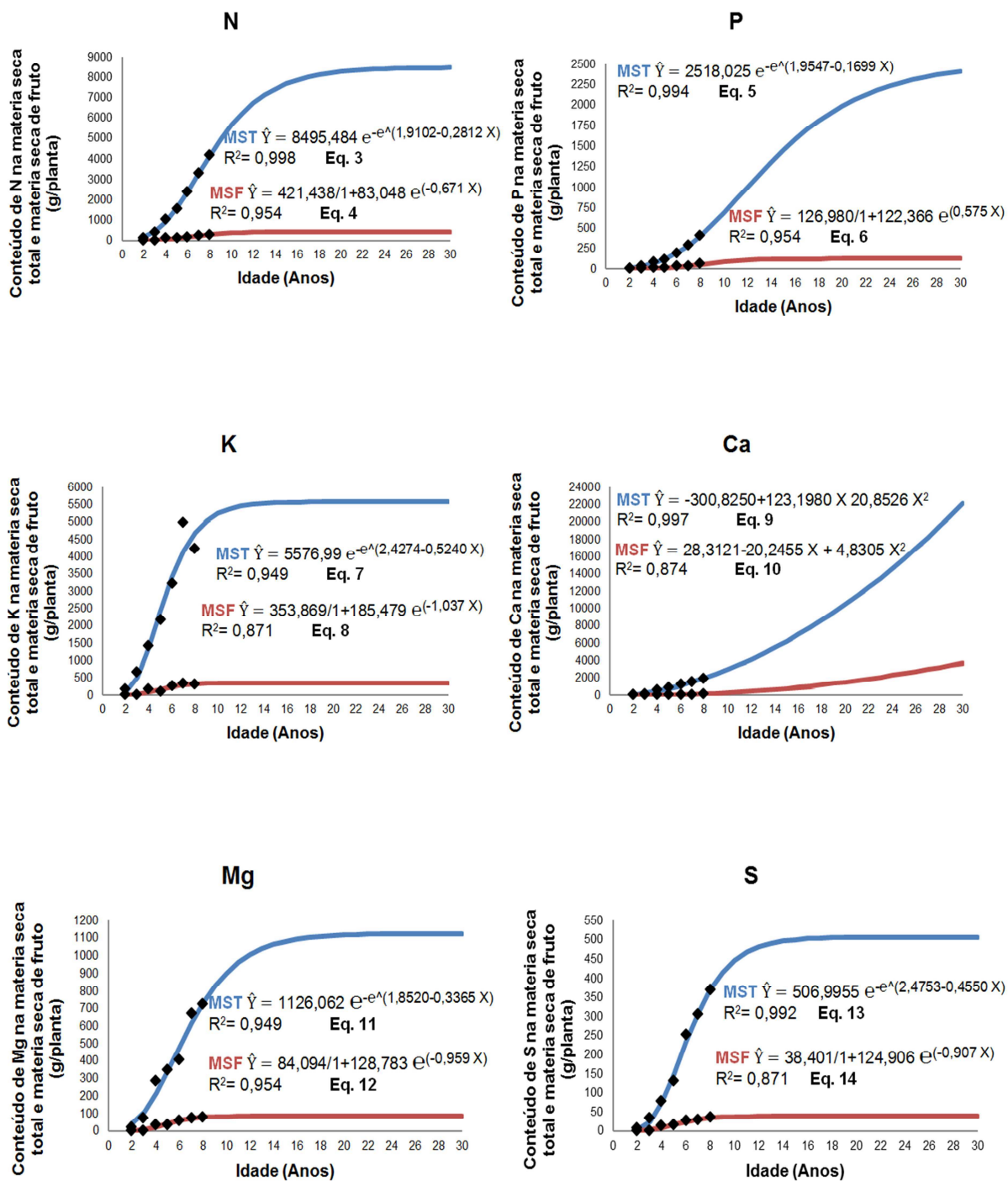
Na escolha das equações se levou em consideração o significado biológico e os valores de  $R^2$ . A base de dados usada para obter as equações deriva do trabalho feito por Viégas (1993), neste trabalho ele estimou a produção de matéria seca total e o acúmulo de nutrientes em cada componente da planta (excetuando as raízes) até oito anos de idade.

No presente trabalho todas as estimativas foram feitas levando em consideração uma densidade de plantio de 143 plantas por hectare (plantio disposto em triângulo equilátero de 9 m de lado, ou seja, um espaçamento de 7,8 m entre linhas de plantio e 9 m entre as plantas na linha). As estimativas de produção de matéria seca e acúmulo de nutrientes iniciam a partir do segundo ano de idade, as plantas são transplantadas ao campo; já a estimativa de produção de matéria seca de fruto começa no terceiro ano, sendo que todas as estimativas são projetadas até 30 anos de idade, a qual se estima que é a vida comercial de uma palmeira de dendê (Figuras 4 e 5).

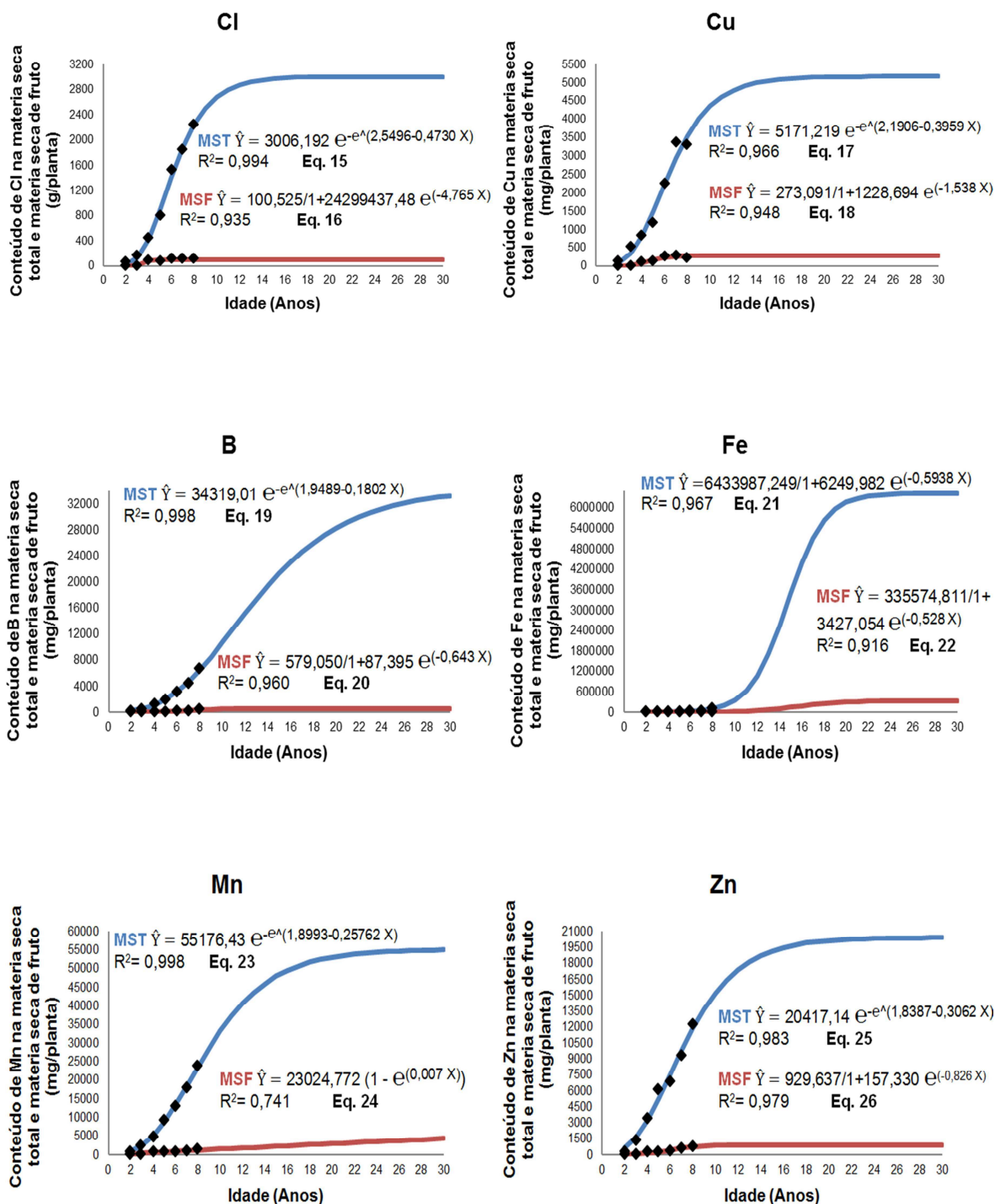
Na determinação do acúmulo de matéria seca total e matéria seca de fruto (Figura 3), se ajustaram bem as equações dos modelos de Gompertz e Logístico respectivamente, estes modelos refletem a curva de crescimento e comportamento biológico dos organismos vivos.



**Figura 3.** Massa de matéria seca total (MST) e massa de matéria seca de fruto (MSF) em função da idade.



**Figura 4.** Estimativas do conteúdo de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg, e S) na massa de matéria seca total (MST, g/planta) e massa de matéria seca de fruto (MSF, g/planta) em função da Idade, equações ajustadas das estimativas de acúmulo e respectivos coeficientes de determinação.



**Figura 5.** Estimativas do conteúdo de micronutrientes (Cl em g/planta; Cu, B, Fe, Mn e Zn em mg/planta) na massa de matéria seca total e massa de matéria seca de fruto em função da Idade, equações ajustadas das estimativas de acúmulo e respectivos coeficientes de determinação.

Assim como usada em todas as culturas que adotaram o sistema FERTICALC, na modelagem do FERTICALC-Dendê utilizou uma dose de segurança ou componente de sustentabilidade.

No final ao se somar a demanda nutricional da planta de dendê e a dose de segurança se obteve a demanda total da planta. No entanto também deve ser considerada a taxa de recuperação de nutrientes aplicada ao solo em forma de fertilizante ( $trNu_i_{pl}$ ), devido a que a planta por fatores de perdas como adsorção de nutrientes pelo solo não consegue absorver 100% desse nutriente que é aplicado em forma de fertilizante. A taxa de recuperação de nutrientes é definida pela equação 27 abaixo:

$$trNu_i_{pl} = [(dNu_i_{plF_j} - dNu_i_{plF_0}) / qNu_i_{Ap}] \cdot 100 \quad \text{Eq. 27}$$

Em que,

$trNu_i_{pl}$  = taxa de recuperação do nutriente pela planta, em %;

$dNu_i_{plF_j}$  = demanda de nutrientes pela cultura fertilizada, em kg/ha

$dNu_i_{plF_0}$  = demanda de nutrientes pela cultura não fertilizada, em kg/ha

$qNu_i_{Ap}$  = quantidade do nutriente aplicado, em kg/ha

Neste trabalho foram adotados os valores de TRpl implementados por Stahringer (2013) no FERTICALC- Laranja, onde para N, K, Ca, Mg, Cu e Zn foram ajustadas equações relacionando TRpl e dose do nutriente aplicado ao solo via fertilizante, e como as variáveis para o cálculo das doses a serem recomendadas não são conhecidas foi adotado o conteúdo de nutrientes na planta (demanda da planta) como se esse valor fosse a dose a ser recomendada.

**Quadro 6.** Taxa de recuperação pela planta do nutriente aplicado ao solo via fertilizante (TRpl), em percentagem, para macronutrientes

Nutriente	Equação	R <sup>2</sup>	
<b>N</b>	<b>TR<sub>pl</sub>_N = 0,623955 e<sup>-0,0028 DN</sup> (Parc./100)</b> $\forall 30 \leq DN \leq 240$ kg/ha de N	-	Eq. 28
<b>P</b>	<b>TR<sub>pl</sub>_P = (0,04508*** e<sup>0,0347 (P-rem)</sup>) (4,2-0,004 P-rem)</b> $\forall 2,58 \leq P\text{-rem} \leq 40,18$	0,837	Eq. 29
<b>K</b>	<b>TR<sub>pl</sub>_K = 0,816955 e<sup>-0,0015 DK</sup> (Parc./100)</b> $\forall 30 \leq DK \leq 220$ kg/ha de K <sub>2</sub> O	-	Eq. 30
<b>Ca</b>	<b>TR<sub>pl</sub>_Ca = 0,48 – 0,0002**DCa</b> $\forall 30 \leq DCa \leq 1000$ kg/ha de Ca	0,886	Eq. 31
<b>Mg</b>	<b>TR<sub>pl</sub>_Mg = 0,68 – 0,0004**DMg</b> $\forall 21 \leq DMg \leq 700$ kg/ha de Mg	0,891	Eq. 32
<b>S</b>	<b>TR<sub>pl</sub>_S = 0,38508 e<sup>0,0101 P-rem</sup></b> $\forall 2 \leq P\text{-rem} \leq 55$	-	Eq.33

1/Boaretto et al., 2007; Mattos Jr et al., 2003b; Quiñones et al., 2003; Feigenbaum et. al., 1987.2/Adaptado de Santos et al., 2008. 3/Adaptado de Freire, 2001. DN = dose de N. DK = dose de K. DCa = dose de Ca. DMg = dose de Mg. Parc. = parcela em %. P-rem = teor de P da solução de equilíbrio, determinado após a agitação por uma hora de TFSA com CaCl<sub>2</sub> 10 mmol/L, contendo 60 mg/L de P, na relação solo: solução 1:10 (Alvarez V. et al., 2000).\*\*, \*\*\* Significativo a 1 e 0,1 % (Fonte: Stahringer, 2013)

**Quadro 7.** Taxa de recuperação pela planta do nutriente aplicado ao solo via fertilizante (TRpl), em percentagem, para micronutrientes.

Nutriente	Equação	R <sup>2</sup>	
<b>B</b>	<b>TR<sub>pl</sub>_B = 0,211</b>	-	Eq. 34
<b>Cu</b>	<b>TR<sub>pl</sub>_Cu = 0,1 – 0,1418**DCu</b> $\forall 0,009 \leq DCu \leq 0,35$ kg/ha de Cu	0,970	Eq. 35
<b>Fe</b>	<b>TR<sub>pl</sub>_Fe = 0,05</b>	-	Eq. 36
<b>Mn</b>	<b>TR<sub>pl</sub>_Mn = 0,05</b>	-	Eq. 37
<b>Zn</b>	<b>TR<sub>pl</sub>_Zn = 0,05 – 0,1136**DZn + 0,0618**DZn<sup>2</sup> + 0,002** P-rem – 0,00001** P-rem<sup>2</sup></b> $\forall 0,028 \leq DZn \leq 0,700$ kg/ha	0,987	Eq.38

1/Boaretto et al., 2011. 2/Adaptado de Freire, 2001.3/Santos et al., 2008. DCu = dose de Cu. DZn = dose de Zn. P-rem = teor de P da solução de equilíbrio, determinado após a agitação por uma hora de TFSA com CaCl<sub>2</sub> 10 mmol/L, contendo 60 mg/L de P, na relação solo: solução 1:10 (Alvarez V. et al., 2000).\*\*, Significativo a 1 % (Fonte: Stahringer, 2013)

Stahringer (2013) considerou alguns dos fatores que afetam a taxa de recuperação de nutrientes pela planta, com o intuito de obter valores que se aproximem o máximo possível da realidade.

Para N e K, contemplou um parcelamento da dose em três vezes no ano, com uma parcela inicial de 34 % e as outras duas de 33 % cada. A aplicação dos fertilizantes em formas parceladas permite a diminuição da quantidade a ser aplicada e conseqüentemente o aumento da taxa de recuperação dos nutrientes. A TRpl para N foi corrigida por um coeficiente que varia segundo o fertilizante nitrogenado a ser usado, por exemplo, o coeficiente recebe o valor de 1 se o fertilizante usado é nitrato de amônio ou sulfato de amônio, e no caso de se usar uréia o coeficiente recebe o valor de 1,5.

Para P, S e Zn as TRpl consideram o efeito que a capacidade tampão do solo exerce sobre a absorção destes nutrientes pela planta, para estimar dito efeito é usado o P-rem, já que este é uma característica que reflete o poder tampão do solo. No caso do P, a TRpl foi calculada por uma equação estabelecida por Santos *et al.* (2008), onde se considera a aplicação de uma fonte solúvel de fosfato. Inicialmente a equação foi feita para aplicação de P ao lanço, mas posteriormente foi ajustada por um fator de correção para ser usada na fertilização em sulco ( $FC = 4,2 - 0,04 \text{ P-rem}$ ). No caso do Zn a TRpl foi pela equação proposta por Freire (2001) no seu trabalho em cana de açúcar, onde se leva em consideração a dose e a capacidade tampão do solo, com valores que variam entre 5 e 10 %.

Para Ca e Mg, considerou-se que a aplicação de calcário é suficiente para atender a demanda destes nutrientes pelas plantas. Já para Fe, Cu e Mn foram adotados valores de TRpl usados em outras culturas que adotaram o modelo FERTICALC, por exemplo soja (Santos *et al.*, 2008), cana de açúcar (freire, 2001), laranjeira (Stahringer, 2013) .

#### 4.1.1. Requerimento total de nutrientes pela planta

O requerimento de cada nutriente pela planta é obtido pelo quociente entre a demanda total da planta para cada nutriente e a taxa de recuperação do respectivo nutriente, sendo determinado pela seguinte equação:

$$rqNu_i_{PI} = dmNu_i_{PI} / trNu_i_{PI} \quad \text{Eq. 39}$$

Em que,

$rqNu_i_{PI}$  = Requerimento total do nutriente, em kg/ha e g/ha para macro e micronutrientes respectivamente.

$dmNu_i_{PI}$  = Demanda total do nutriente, em kg/ha e g/ha para macro e micronutrientes respectivamente.

$trNu_i_{PI}$  = Taxa de recuperação pela planta do nutriente aplicado

O sistema FERTICALC tem a opção de acrescentar uma dose de sustentabilidade ao requerimento total do nutriente para os casos específicos de P e K. A dose de sustentabilidade ou requerimento de sustentabilidade ( $RSust\_Nut$ ) tem a finalidade de manter os teores mínimos de nutrientes no solo evitando o seu esgotamento e garantindo assim a produtividade mínima de frutos ao longo dos anos (CANTARUTTI *et al.*, 2007; SILVA *et al.*, 2009).

Por exemplo, no caso de K o requerimento de sustentabilidade é obtido por meio da relação entre a demanda de K para atingir a produtividade esperada de frutos e a taxa de recuperação pela planta para K (Equação 40)

$$rqK\_Fr = dmK\_Fr / trK\_PI \quad \text{Eq. 40}$$

Em que,

$rqK\_Fr$  = requerimento de sustentabilidade de K, em kg/ha

$dmK\_Fr$  = demanda de K nos frutos, em kg/ha

$trK_{PI}$  = taxa de recuperação pela planta para K.

Tendo calculado o requerimento de sustentabilidade, o requerimento total de K se obtém pela equação 41.

$$rqK_{PI} = rqK_{Cult} + rqK_{Fr} \quad \text{Eq. 41}$$

Em que,

$rqK_{PI}$  = requerimento total de K, em kg/ha

$rqK_{Cult}$  = requerimento de K para a cultura (produção do ano), em kg/ha

$rqK_{Fr}$  = requerimento de sustentabilidade de K, em kg/ha.

Para os demais nutrientes não é considerada o requerimento de sustentabilidade devido a que as perdas do nutriente suprido a mais para uma próxima colheita não justificam que sejam levados em consideração o requerimento de sustentabilidade.

As quantidades de N que possam ser aplicadas a mais como dose de sustentabilidade não serão aproveitados pela cultura no momento de maior demanda, devido à baixa eficiência e perda por volatilização e desnitrificação dos fertilizantes nitrogenados (GAMBOA, PEREZ, BLASCO, 1971; OSINAME *et al.*, 1983; COELHO *et al.*, 2007).

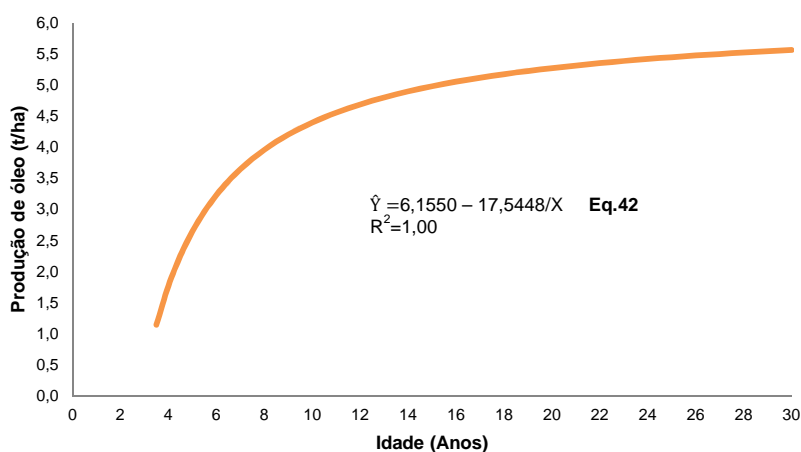
No caso de Ca e Mg, não se considera o requerimento de sustentabilidade porque estes nutrientes são supridos na prática da calagem. Para S também não se usa esta dose de sustentabilidade, mas a cultura recebera a quantidade necessária para suprir a demanda na planta com a aplicação de fertilizantes.

Já no que respeita aos micronutrientes, as quantidades demandadas pelas plantas são muito pequenas, além de estes apresentarem uma faixa estreita entre a deficiência e a toxidez.

#### 4.1.2. PRODUÇÃO DE ÓLEO

Silva (2006) determinou a produtividade de cachos de frutos frescos (mCFF, t/ha), taxa de extração (TeO) e produtividade de óleo (mO, t/ha) de parcelas comerciais de dendê do grupo Agropalma no estado do Pará, envolvendo dados de campo e laboratório referentes a seis genótipos: Avros, Lamé, Ghana, Lamé-Embrapa, Ekona e Kigoma. Para cada material foi avaliado o efeito da idade sobre cada uma das variáveis estudadas. Todas as TE foram divididas por 0,7, que é o fator de razão entre a taxa de extração industrial e a taxa de extração obtida em condições de laboratório (TE/0,7); com a finalidade de realizar estimativas iniciais e finais de produtividade de óleo mediante equações de regressão.

Neste trabalho foram usadas essas equações para determinar a produtividade de cachos de frutos frescos, correspondendo à média dos seis genótipos, e assim poder calcular a produtividade de óleo em função da idade (Figura 6 e Quadro 8).



**Figura 6.** Produção de óleo (t/ha) em função da idade

**Quadro 8.** Média da produtividade de seis materiais genéticos de cacho de fruto fresco (mCFF, t/ha), relação massa cacho seco e massa cacho fresco (mCFS/mCFF, t/t), taxa de extração (TeO,%) e produtividade de óleo (mO, t/ha) em função da idade.

Idade Anos	mCFF t/ha	mCFS/mCFF t/t	mCFS t/ha	TeO %	mO t/ha
4	8,4633	0,1776	1,5029	20,9	1,7688
5	12,6607	0,2074	2,6258	20,9	2,6461
6	15,4589	0,2625	4,0576	20,9	3,2309
7	17,4576	0,3428	5,9848	20,9	3,6486
8	18,9567	0,4484	8,5005	20,9	3,9619
9	20,1226	0,4484	9,0234	20,9	4,2056
10	21,0553	0,4484	9,4416	20,9	4,4006
11	21,8185	0,4484	9,7838	20,9	4,5601
12	22,4544	0,4484	10,0690	20,9	4,6930
13	22,9926	0,4484	10,3103	20,9	4,8054
14	23,4538	0,4484	10,5172	20,9	4,9018
15	23,8536	0,4484	10,6964	20,9	4,9854
16	24,2033	0,4484	10,8533	20,9	5,0585
17	24,5120	0,4484	10,9917	20,9	5,1230
18	24,7863	0,4484	11,1147	20,9	5,1803
19	25,0318	0,4484	11,2247	20,9	5,2316
20	25,2527	0,4484	11,3238	20,9	5,2778
21	25,4525	0,4484	11,4134	20,9	5,3196
22	25,6342	0,4484	11,4949	20,9	5,3576
23	25,8001	0,4484	11,5693	20,9	5,3922
24	25,9522	0,4484	11,6375	20,9	5,4240
25	26,0921	0,4484	11,7002	20,9	5,4533
26	26,2213	0,4484	11,7581	20,9	5,4802
27	26,3409	0,4484	11,8118	20,9	5,5052
28	26,4519	0,4484	11,8616	20,9	5,5284
29	26,5553	0,4484	11,9079	20,9	5,5501
30	26,6518	0,4484	11,9512	20,9	5,5702

Relacionando as informações extraídas do trabalho de Silva (2006) e o trabalho de Viégas (1993) foi possível ajustar equações para determinar o acúmulo de macro e micronutrientes na matéria seca total e matéria seca de fruto em função da produtividade de óleo (Quadros 9 e 10).

**Quadro 9.** Acúmulo de macronutrientes (g/planta) e micronutrientes (Cl em g/planta, Cu, B, Fe, Mn, Zn em mg/planta) na matéria seca total em função da produtividade de óleo (kg/planta).

Nutriente	Equação	R <sup>2</sup>	
<b>N</b>	$\hat{y} = 8593,73 / (1 + e^{22,28 - 0,64 X})^{1/6,63}$	0,999	Eq. 43
<b>P</b>	$\hat{y} = 2548,95 / (1 + e^{39,72 - 1,04 X})^{1/5,96}$	0,999	Eq. 44
<b>K</b>	$\hat{y} = 5865,38 / (1 + 34,11 e^{-0,17 X})$	0,994	Eq. 45
<b>Ca</b>	$\hat{y} = -5211,46 / (1 - 50,14 e^{-0,09 X})$	0,999	Eq. 46
<b>Mg</b>	$\hat{y} = 1136,87 / (1 + e^{17,45 - 0,53 X})^{1/6,50}$	0,999	Eq. 47
<b>S</b>	$\hat{y} = 538,01 / (1 + 120 e^{-0,20 X})$	0,996	Eq. 48
<b>Cl</b>	$\hat{y} = 3035,33 / (1 + e^{11,95 - 0,41 X})^{1/3,57}$	0,999	Eq. 49
<b>Cu</b>	$\hat{y} = 5659,97 / (1 + 82,58 e^{-0,18 X})$	0,995	Eq. 50
<b>B</b>	$\hat{y} = 34850,98 / (1 + e^{36,57 - 0,96 X})^{1/5,90}$	0,999	Eq. 51
<b>Fe</b>	$\hat{y} = -577\ 309\ 700 / (1 - 187\ 255 e^{-0,20 X})$	0,923	Eq. 52
<b>Mn</b>	$\hat{y} = 430675,3 e^{-e^{1,87 - 0,03 X}}$	0,986	Eq. 53
<b>Zn</b>	$\hat{y} = 20618,53 / (1 + e^{20,12 - 0,60 X})^{1/6,81}$	0,999	Eq. 54

Todos os dados e equações foram processados no programa CurveExpert. Todas as equações anteriores são válidas  $\forall 10 \leq X \leq 45$  kg/planta de óleo.

**Quadro 10.** Acúmulo de macronutrientes (g/planta) e micronutrientes (Cl em g/planta, Cu, B, Fe, Mn, Zn em mg/planta) na matéria seca de fruto em função da produtividade de óleo (kg/planta).

Nutriente	Equação	R <sup>2</sup>	
<b>N</b>	$\hat{y} = 442,40 / (1 + 294,50 e^{-0,24 X})$	0,989	Eq. 55
<b>P</b>	$\hat{y} = 134,28 / (1 + 7038,03 e^{-0,31 X})$	0,992	Eq. 56
<b>K</b>	$\hat{y} = 360,56 / (1 + 64,82 e^{-0,23 X})$	0,992	Eq. 57
<b>Ca</b>	$\hat{y} = -1121,29 / (1 - 323,49 e^{-0,14 X})$	0,998	Eq. 58
<b>Mg</b>	$\hat{y} = 86,07 / (1 + 51,16 e^{-0,21 X})$	0,990	Eq. 59
<b>S</b>	$\hat{y} = 39,41 / (1 + 74,80 e^{-0,22 X})$	0,990	Eq. 60
<b>Cl</b>	$\hat{y} = 100,55 / (1 + 31,57 e^{-0,44 X})$	0,998	Eq. 61
<b>Cu</b>	$\hat{y} = 274,85 / (1 + 100,87 e^{-0,28 X})$	0,996	Eq. 62
<b>B</b>	$\hat{y} = 609,41 / (1 + 520,52 e^{-0,25 X})$	0,990	Eq. 63
<b>Fe</b>	$\hat{y} = -3935146 / (1 - 31253,99 e^{-0,20 X})$	0,934	Eq. 64
<b>Mn</b>	$\hat{y} = -1538,84 / (1 - 8,61 e^{-0,04 X})$	0,992	Eq. 65
<b>Zn</b>	$\hat{y} = 956,39 / (1 + 356,75 e^{-0,26 X})$	0,992	Eq. 66

Todos os dados e equações foram processados no programa CurveExpert. Todas as equações anteriores são válidas  $\forall 10 \leq X \leq 45$  kg/planta de óleo.

## 4.2. MÓDULO SUPRIMENTO

O suprimento total de nutrientes estimados pelo FERTICALC para a cultura do dendezeiro é composto pelos nutrientes supridos pelo solo, pela matéria orgânica, pelos resíduos vegetais e para o suprimento de cálcio e magnésio pela calagem.

### 4.2.1. Recomendação de Calagem

No FERTICALC-Dendê a recomendação de calagem pode ser obtida pelo método da neutralização do  $Al^{3+}$  e elevação dos teores de  $Ca^{2+}$  e de  $Mg^{2+}$  (Alvarez V. & Ribeiro, 1999) ou pelo método da Saturação por Bases (Raij *et al.*, 1983).

### 4.2.2. Método da neutralização do $Al^{3+}$ e elevação dos teores de $Ca^{2+}$ e de $Mg^{2+}$

O método da neutralização do  $Al^{3+}$  e elevação dos teores de  $Ca^{2+}$  e de  $Mg^{2+}$  considera características do solo, como capacidade tampão do solo ( $\hat{Y}$ ), tolerância da cultura à acidez trocável (mt) e as exigências da cultura quanto a Ca e de Mg (X), conforme a seguinte equação.

$$NC = \hat{Y} [Al^{3+} - (mt \cdot t / 100)] + [X - [(Ca^{2+} + Mg^{2+})]] \quad \text{Eq. 67}$$

Em que,

NC = necessidade de calagem, em t/ha

$\hat{Y}$  = valor relacionado à capacidade tampão do solo

$Al^{3+}$  = acidez trocável, em  $cmol_c/dm^3$

mt = saturação por  $Al^{3+}$  tolerada pela cultura, em %

t = CTC efetiva, em  $cmol_c/dm^3$

X = valor relacionado à exigência da cultura em Ca + Mg, em cmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup>.

De acordo com ALVAREZ V. e RIBEIRO (1999) o valor de  $\hat{Y}$  varia em função da capacidade tampão da acidez do solo, podendo ser estimado em função do P-rem ou pelo teor de argila no caso da ausência de valores de P-rem na análise de solo.

$$\hat{Y} = 4,002 - 0,125901 \text{ P-rem} + 0,001205 (\text{P-rem})^2 - 0,00000362 (\text{P-rem})^3$$

R2 = 0,999 **Eq.68**

Em que,

P-rem = P remanescente sendo expresso em mg L<sup>-1</sup>.

$$\hat{Y} = 0,0302 + 0,06532 \text{ Arg} - 0,000257 \text{ Arg}^2$$

R2 = 0,999 **Eq.69**

Em que,

Arg = teor de argila expresso %.

**Quadro 11.** Estratificação de Y em função do teor de argila

Solo	Argila (%)	Y
Arenoso	0 a 15	0,0 a 1,0
Textura média	15 a 35	1,0 a 2,0
Argiloso	35 a 60	2,0 a 3,0
Muito argiloso	60 a 100	3,0 a 4,0

(Fonte: ALVAREZ V. e RIBEIRO, 1999)

**Quadro 12.** Estratificação de Y em função do P-rem

P-rem (mg/L)	Y
0 a 4	4,0 a 3,5
4 a 10	3,5 a 2,9
10 a 19	2,9 a 2,0
19 a 30	2,0 a 1,2
30 a 44	1,2 a 0,5
44 a 60	0,5 a 0,0

(Fonte: ALVAREZ V. e RIBEIRO, 1999)

### 4.2.3. Método da saturação por bases

Com relação ao método da saturação por bases, este considerará uma relação existente entre o pH e a saturação por bases (V). Este método busca elevar o valor atual da saturação por bases do solo ( $V_a$ ) para um valor esperado ( $V_e$ ), corrigindo-se, assim, o pH do solo para um valor considerado adequado para a cultura. Para a cultura de dendê será utilizado um  $V_e$  de 60% o qual foi o valor usado por Medina et al., (1980) e Nogueira (2002) na cultura de coqueiro, já que ainda não existe um valor definido para dendê.

$$NC = T (V_e - V_a) / 100 \quad \text{Eq. 70}$$

Em que,

NC = necessidade de calagem, em t/ha

T = CTC a pH 7 = SB + (H + Al), em  $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$ , sendo a soma de bases (SB) referente à soma  $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^+ + \text{Na}^+$ , em  $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$

$V_a$  = saturação por bases atual do solo ( $100\text{SB}/\text{T}$ ), em %

$V_e$  = saturação por bases esperada para a cultura.

Após de ser estimada a necessidade de calagem pelos dois métodos o sistema calcula o incremento do pH em função da acidez potencial (H + Al) do solo, conforme a equação desenvolvida por Mello (2000):

$$\Delta\text{pH} = -0,0235 + 1,4944 / (\text{H} + \text{Al}) \quad \text{Eq. 71}$$

$$R^2 = 0,814$$

Em que,

$\Delta\text{pH}$  = Incremento estimado no pH ( $\text{H}_2\text{O}$ ) por t/ha de calcário (PRNT 100%)

(H + Al) é expresso em  $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$

O FERTICALC-Dendê prediz o pH a ser atingido (pH final), somando o  $\Delta\text{pH}$  ao pH do solo antes da calagem (pH inicial), portanto:

$$\text{pH final} = \Delta\text{pH} + \text{pH inicial.} \quad \text{Eq.72}$$

Em que,

pH final = valor estimado do pH no solo para ambos métodos utilizados

NC = necessidade de calagem, em t/ha

pH inicial = valor de pH da análise de solo.

Uma vez calculada a necessidade de calagem pelos dois métodos e os respectivos valores de pH final, o sistema determina qual é o método mais adequado e dose para corrigir a acidez do solo, levando em consideração o seguinte procedimento:

1. Determina-se qual é a menor e a maior dose dentre os valores calculados de NC, e faz-se o somatório de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  ( $\Sigma\text{CaMg}$ ) do resultado da análise de solo, em  $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$ . Se  $\Sigma\text{CaMg} < X$ , opta-se pela recomendação de maior valor, caso  $\Sigma\text{CaMg} \geq X$ , segue para o procedimento 2.

2. Observa-se o valor da CTC a pH 7 (T,  $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$ ) na análise de solo, determinando se ambas NC são menores que o valor de T, levando em consideração que 1 t/ha de  $\text{CaCO}_3$  equivale a 1  $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$ . Caso ambos os valores de NC ultrapassem o valor de T, a NC será igual a T independente do método utilizado. No caso de que só um dos valores de NC calculados seja menor que T, recomenda-se esse valor, porém se ambas foram menores que T, segue para o procedimento 3.

3. Neste procedimento leva-se em consideração o pH final estimado com base nos cálculos da NC dos dois métodos, será escolhido pelo sistema aquele método que elevar o pH mais próximo da faixa ideal para a cultura. Para a cultura de Dendê essa faixa para pH ( $\text{H}_2\text{O}$ ) é de 5 a 6.

#### 4.2.4. Cálculo da quantidade de calcário a ser aplicado

Com base na necessidade de calagem determinada pelos métodos anteriores, a quantidade de calcário a ser aplicada é calculada por meio da equação de Alvarez V. & Ribeiro (1999):

$$QC = NC (SC / 100) (PF / 20) (100 / PRNT) \quad \text{Eq. 73}$$

Em que,

QC = quantidade de calcário a ser aplicada, em t/ha

NC = necessidade de calagem, em t/ha

SC = superfície do terreno a ser coberta na calagem, em %

PF = profundidade até a qual será incorporado o calcário, em cm

PRNT = poder relativo de neutralização total do calcário a ser utilizado, %.

#### 4.3. Nutrientes supridos pelo solo

A quantidade de nutrientes supridos pelo solo pode ser determinada por um ou mais componentes, no caso do N é considerado o suprimento de N pelos resíduos vegetais e o suprimento de N pela mineralização da matéria orgânica do solo (Equação 74).

$$spN = spN_{res} + spN_{MOS} \quad \text{Eq. 74}$$

Em que,

spN = suprimento total de N, em kg/ha

spN<sub>res</sub> = N suprido pelos resíduos vegetais, em kg/ha

spN<sub>MOS</sub> = N suprido pela matéria orgânica do solo, em kg/ha

Para os demais macronutrientes, consideram-se o suprimento do nutriente pelo solo e o suprimento pelos resíduos vegetais (Equação 75). Para os micronutrientes é considerado só o suprimento do nutriente pelo solo.

$$\text{sp\_Nu}_i = \text{spNu}_i\text{\_solo} + \text{spNu}_i\text{\_res.} \quad \text{Eq. 75}$$

Em que,

$\text{sp\_Nu}_i$  = suprimento total do nutriente (exceto N), em kg/ha e g/ha para macro e micronutrientes respectivamente. Para micronutrientes desconsiderar  $\text{spNu}_i\text{\_res}$

$\text{spNu}_i\text{\_solo}$  = nutriente suprido pelo solo, em kg/ha e g/ha para macro e micronutrientes respectivamente.

$\text{spNu}_i\text{\_res}$  = nutriente suprido pelos resíduos vegetais, em kg/ha e g/ha para macro e micronutrientes respectivamente

Além de considerar o suprimento pelo solo e pelos resíduos vegetais, também deve ser considerado o aporte de Ca e Mg feito pela pratica de calagem, portanto o suprimento de nutrientes pela calagem é determinado mediante a equação 76. Este suprimento será considerado só no caso da calagem ter sido efetuada após a análise de solo.

$$\text{spNut\_calagem} = \text{QC} (\text{T\_Nut}/100) \text{FC} \cdot 1\ 000 \quad \text{Eq. 76}$$

Em que,

$\text{spNut\_calagem}$  = quantidade de Ca ou Mg suprida pela calagem, em kg/ha

QC = quantidade de calcário a ser aplicado, em t/ha

T\_Nut = teor de CaO ou de MgO no calcário, em %

FC = fator de conversão da forma de óxido para forma elementar, sendo igual a 0,7147 e 0,6030 para Ca e Mg, respectivamente

1 000 = fator de conversão de t/ha para kg/ha.

#### **4.3.1. Componente Nut<sub>solo</sub>**

O suprimento de nutrientes pelo solo leva em consideração o teor do nutriente no solo, a idade da planta, a profundidade e o volume de solo explorado pelas raízes e a taxa de recuperação dos nutrientes pelos diferentes extratores. No FERTICALC-Dendê a profundidade efetiva explorada pelo sistema radicular é denominada de PER.

As raízes do dendê podem alcançar vários metros de comprimento, mas a sua maior concentração se dá na camada em torno dos primeiros 40 cm de profundidade (Surre e Ziller, 1969), portanto para o desenvolvimento deste sistema foi considerado PER = 4 dm.

Para dendê também é considerado o volume de solo efetivamente explorado pelas raízes nas camadas de 0 - 20 e 20 - 40 cm, assumindo que na camada de 0 – 20 cm se encontra 70 % das raízes absorventes e o 30 % restante na camada de 20 – 40 cm. Outro fator importante é que as raízes exploram o solo abaixo da área limitada pela projeção da copa. A superfície coberta pela copa (SCC) está diretamente relacionada com a idade da planta, isto é, a SCC aumenta com o decorrer dos anos.

Segundo Jourdan e Rey (1997) a partir de 5 anos de idade as raízes das palmeiras vizinhas começam a se entrelaçar e competir no solo, por tanto se assume a que a partir desta idade as plantas contidas num hectare exploram 100 % da área nas duas camadas de solo (4 000 m<sup>3</sup>). No quadro 13 foram estabelecidos valores para o volume explorado pelas raízes em função da idade.

**Quadro 13.** Volume de solo explorado pelas raízes de plantas de dendê em função da idade.

Idade (Ano)	SCC		Profundidade de raízes absorventes (dm)	Volume de solo explorado na camada 0 – 20 cm (m <sup>3</sup> /ha)	Volume de solo explorado na camada 20 – 40 cm (m <sup>3</sup> /ha)	Total (m <sup>3</sup> /ha)
	(%)	(m <sup>2</sup> /ha)				
1	20	2.000	4	560	240	800
2	40	4.000	4	1120	480	1600
3	60	6.000	4	1680	720	2400
4	80	8.000	4	2000	1200	3200
≥ 5	100	10.000	4	2000	2000	4000

Outro fator importante a ser considerado é a taxa de recuperação do nutriente aplicado ao solo pelos diferentes extratores usados nas análises químicas ( $TR_{ext}$ ). As equações para determinar os valores de  $TR_{ext}$  no FERTICALC-Dendê são as mesmas adotadas por Stahringer, 2013 (Quadros 14 e 15). É importante salientar que o P, K, S e Zn têm a sua disponibilidade afetada pelo poder tampão do solo, usando-se como estimador desta característica o P-rem ou o teor de argila. Para Ca e Mg se tem valores estimados de  $TR_{ext}$  para KCL, podendo estes valores ser usados também para o método de resina, já que ambos extraem as formas trocáveis de Ca e Mg.

**Quadro 14.** Taxa de recuperação pelo extrator dos macronutrientes aplicados ( $TR_{ext}$ ) ao solo.

Nutriente	Extrator	Equação	R <sup>2</sup>	
P	Mehlich-1	$TR_{ext} = 0,0672821 + 0,0121615^{**}P\text{-rem}$	0,681	(Eq. 77)
	Resina	$TR_{ext} = 0,419^{***}P\text{-rem}^{0,128099}$	0,694	(Eq. 78)
K	Mehlich-1	$TR_{ext} = 0,6555 + 0,0068^{**} P\text{-rem}$ $\forall 1 \leq P\text{-rem} \leq 30$	0,744	(Eq. 79)
	Mehlich-3	$TR_{ext} = 0,9863 - 0,00364^{***}Arg$	0,763	(Eq. 80)
	Resina	$TR_{ext} = 0,6619 + 0,014355^{*}P\text{-rem} - 0,000293^{o}P\text{-rem}^2$ $\forall 1 \leq P\text{-rem} \leq 30$	0,754	(Eq. 81)
Ca	KCL 1 mol/L	$TR_{ext} = 0,766102$		
Mg	KCL 1 mol/L	$TR_{ext} = 0,798972$		
S	Ca(H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> em HOAc	$TR_{ext} = 0,04 + 0,0057^{**}P\text{-rem}$	0,955	(Eq. 82)

A unidade da  $TR_{ext}$  é mg/dm<sup>3</sup>/ mg/dm<sup>3</sup>. Arg. = teor de argila, em %. P-rem = teor de P da solução de equilíbrio, determinado após a agitação por uma hora de TFSA com CaCl<sub>2</sub> 10 mmol/L, contendo 60 mg/L de P, na relação solo:solução 1:10 (Alvarez V. et al., 2000).

° , \* , \*\* e \*\*\* Significativo a 10, 5, 1 e 0,1 %, respectivamente.

(Fonte: Stahringer, 2013)

**Quadro 15.** Taxa de recuperação pelo extrator dos micronutrientes aplicados ( $TR_{ext}$ ) ao solo.

Nutriente	Extrator	Equação	$R^2$
B	Água quente	$TR_{ext} = 0,7081$	
Cu	Mehlich-1	$TR_{ext} = 0,3863$	
	Mehlich-3	$TR_{ext} = 0,3463$	
	DTPA	$TR_{ext} = 0,3119$	
Fe	Mehlich-1	$TR_{ext} = 0,3508$	
	Mehlich-3	$TR_{ext} = 0,2174$	
	DTPA	$TR_{ext} = 0,0956$	
Mn	Mehlich-1	$TR_{ext} = 0,8441$	
	Mehlich-3	$TR_{ext} = 0,6781$	
	DTPA	$TR_{ext} = 0,6641$	
Zn	Mehlich-1	$TR_{ext} = 0,36025 - 0,00234^{ns} P - rem + 0,0001198^{**} P - rem^2$	0,932 (Eq. 83)
	DTPA	$TR_{ext} = 0,48 - 0,004^{**} Arg$	0,31 (Eq. 84)

A unidade da  $TR_{ext}$  é  $mg/dm^3 / mg/dm^3$ . Arg. = teor de argila, em %. P-rem = teor de P da solução de equilíbrio, determinado após a agitação por uma hora de TFSA com  $CaCl_2$  10 mmol/L, contendo 60 mg/L de P, na relação solo:solução 1:10 (Alvarez V. et al., 2000).

ns, \*\* Não significativo e significativo a 1 %, respectivamente.

(Fonte: Stahringer, 2013)

O sistema estima o nutriente suprido pelo solo nas duas camadas por separado, sendo assim, o sistema calcula o suprimento total para cada nutriente somando suprimento das duas camadas.

$$spNut_{solo\ 0-20} = (Teor\_Nut\ 0-20 / TR_{ext}) (PER / 2) (SCC/100) \quad \text{Eq. 85}$$

$$spNut_{solo\ 20-40} = (Teor\_Nut\ 20-40 / TR_{ext}) (PER / 2) (SCC/100) \quad \text{Eq. 86}$$

$$spNut_{solo} = spNut_{solo\ 0-20} + spNut_{solo\ 20-40} \quad \text{Eq. 87}$$

Em que,

$spNut_{solo}$  = nutriente total suprido pelo solo até a PER, em kg/ha e g/ha para macro e micronutrientes respectivamente

$spNut_{solo\ 0-20}$  = nutriente suprido pela camada de 0 – 20 cm, em kg/ha e g/ha para macro e micronutrientes respectivamente

$spNut_{\text{solo } 20 - 40}$  = nutriente suprido pela camada de 20 – 40 cm, em kg/ha e g/ha para macro e micronutrientes respectivamente

$Teor\_Nut\ 0 - 20$  = teor do nutriente, acima do NCM, na camada 0 – 20 cm, em mg/dm<sup>3</sup>

$Teor\_Nut\ 20 - 40$  = teor do nutriente, acima do NCM, na camada 20 – 40 cm, em mg/dm<sup>3</sup>

$TR_{\text{ext}}$  = taxa de recuperação pelo extrator do nutriente aplicado, em mg/dm<sup>3</sup>/mg/dm<sup>3</sup>

PER = profundidade efetiva do sistema radicular de dendê, em dm

SCC = superfície coberta pela copa, em %

#### **4.3.2. Nutriente suprido pelos resíduos vegetais ( $spNu_{i\_res}$ )**

Na cultura do dendê adota-se um sistema de manejo sustentável onde uma das principais pratica usada é a cobertura do solo com leguminosas, sendo a *Pueraria phasealoides* a espécie mais usada. Esta pratica tem como vantagens importantes a proteção do solo contra erosão, controle de ervas daninhas, melhora a disponibilidade de N, além de contribuir nos processos biológicos do solo. Para fins deste trabalho não será considerada a cobertura de solo como suprimento de N para as plantas.

Atualmente a Companhia Real Agroindustrial (CRAI), localizada no município de Tailândia, no estado do Pará conta com 40 000 hectares de Dendê, das quais 40 % são manejadas com adubos orgânicos. Os adubos orgânicos são provenientes dos subprodutos obtidos no processo de extração de óleo. O cacho de fruto vazio mais conhecido como engaço, é o suporte fibroso que sustenta o fruto e é o primeiro subproduto do processo de industrialização do dendê.

Os cachos vazios podem ser reciclados no campo em forma de cinzas depois de usados para gerar energia na caldeira, em forma de compostagem ou como cachos inteiros. Vários estudos conduzidos pela Embrapa mostraram ganho significativo em produtividade em plantios que receberam engaço nas suas diferentes formas em comparação com aqueles plantios que só receberam fertilização sintética (FURLAN Jr., 2006).

Para as áreas de produção orgânica na CRAI são utilizados 280 kg/planta de cachos vazios, 1,5 kg/planta de fosfato natural reativo e sulfato duplo de K e Mg, isso corresponde a 0,92; 0,11; 1,87; 0,78; 0,36; 0,44 kg/planta de N, P, K, Ca, Mg e S respectivamente.

Cabe ressaltar que 60 % da área restante das plantações onde a produção é feita de forma convencional não são adicionadas os cachos vazios. Nesta área de produção convencional são aplicado sulfato de amônio, fosfato natural reativo, cloreto de potássio e sulfato de magnésio nas seguintes quantidades em media: 5 kg/planta, 1,5 kg/planta, 3 kg/planta e 1 kg/planta respectivamente.

#### **4.3.3. N suprido pela matéria orgânica do solo (spN\_MOS)**

Para calcular o N disponibilizado pela matéria orgânica do solo no sistema FERTICALC-Dendê opto por usar o método desenvolvido por Stanford & Smith (1972), adaptado para condições de solos tropicais com base no trabalho de Gonçalves et al. (2001):

$$\text{spN\_MOS} = (1\ 000\ 000\ \text{PER DS} ((\text{MOS}/100/1,724)/10)\ 0,04)(1 - e^{-0,031 \cdot t}) \quad (\text{Eq. 88})$$

Em que,

1 000 000 = valor que multiplicado pela PER, em dm, permite obter o volume de solo por hectare em  $\text{dm}^3/\text{ha}$

N\_MOS = N mineralizado da MOS, em kg/ha/ano

PER = profundidade efetiva do sistema radicular, em dm

DS = densidade do solo, em kg/dm<sup>3</sup>

MOS = teor de MOS, em dag/kg

100 = valor que ao dividir a MOS, em dag/kg, permite calcular os kg MOS por kg de solo

1,724 = valor utilizado para estimar o teor de compostos orgânicos do solo a partir da MOS, considerando que esta possui 58 % de C

10 = valor utilizado para estimar o N orgânico, considerando que na MOS a relação C/N = 10 obtida por Kiehl (1979) para os mesmos solos utilizados por Gonçalves et al. (2001)

0,04 = N potencialmente mineralizável da MOS, estimado por Gonçalves *et al.* (2001) para 16 solos de ecossistemas florestais naturais e implantados do Estado de São Paulo.

e = base dos logaritmos neperianos

0,031 = constante de mineralização de N média para 16 solos de ecossistemas florestais naturais e implantados do estado de São Paulo estimada por Gonçalves *et al.* (2001), a partir da equação de Stanford & Smith (1972).

t = tempo em semanas que a cultura absorve N no ano. Para a cultura de dendê foram consideradas 52 semanas.

Caso a MOS esteja expresso em dag/dm<sup>3</sup> não é preciso levar em consideração a densidade de solo na equação 88.

## 5. SIMULAÇÕES DE USO DO MODELO FERTICALC-DENDÊ

A simulação do FERTICALC-Dendê foi feita com base em uma análise de solo de um cultivo convencional de dendê pertencente à Companhia Real Agroindustrial localizada no município de Tailândia no estado do Pará.

**Quadro 16.** Resultados de análises químicas e físicas de um cultivo convencional de dendê.

Características	0 - 20 cm	<sup>1/</sup> 20 - 40 cm	Extrator
pH	4,4	4,0	H <sub>2</sub> O
MOS (dag/dm <sup>3</sup> )	1,3	0,8	Método Walkley & Black
Al <sup>3+</sup> (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	1,0	1,4	KCL 1mol/L
Ca <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	0,5	0,3	KCL 1mol/L
Mg <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	0,3	0,1	KCL 1mol/L
K (mg/dm <sup>3</sup> )	31,2	23,4	Mehlich 1
P (mg/dm <sup>3</sup> )	8	6,0	Mehlich 1
H+Al (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	3,8	2,4	Tampão SMP
SB (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	0,88	0,46	-
S (mg/dm <sup>3</sup> )	18,0	15,0	-
Fe (mg/dm <sup>3</sup> )	353	220	Mehlich 1
Mn (mg/dm <sup>3</sup> )	5,0	4,8	Mehlich 1
Cu (mg/dm <sup>3</sup> )	8,8	5,2	Mehlich 1
Zn (mg/dm <sup>3</sup> )	3,8	2,0	Mehlich 1
B (mg/dm <sup>3</sup> )	0,49	0,3	Mehlich 1
P-rem	5,2	5,2	-
Argila (%)	16,9	19,0	-
DS (kg/dm <sup>3</sup> )	1,20	1,30	-

<sup>1/</sup>valores estimados por falta de análise física e química de solo.

### 5.1. Recomendação de calagem

O FERTICALC-Dendê permite calcular a necessidade de calagem (NC) por dois métodos, pelo método da neutralização da acidez trocável e elevação dos teores de Ca<sup>2+</sup> e de Mg<sup>2+</sup> quando a análise de solo oferece os valores de Al<sup>3+</sup> a CTC<sub>efetiva</sub> ou pelo método de saturação por bases quando se conta com o valor de V, podendo assim determinar qual dos dois métodos é mais eficiente

para a correção da acidez do solo levando em consideração os procedimentos planteados no ponto 4.2.1.2. Porém quando as análises de solo não tem a informação suficiente para determinar os dois métodos, a necessidade de calagem pode ser calculada por um só método.

Levando em consideração os resultados da análise de solo do quadro 16 a NC é calculada pela seguinte equação:

$$NC = T (Ve - Va) / 100 \quad \text{Eq. 70}$$

$$NC = 4,68 (60 - 52,4) / 100$$

$$NC = 1,93 \text{ t/ha}$$

#### 5.1.1. Quantidade de calcário a ser aplicada e suprimento de Ca e Mg

Supondo que o calcário se aplique na área total, seja incorporado até uma profundidade de 20 cm e tenha um PRNT igual a 85 % e os teores de CaO e MgO sejam de 38 e 12 % respectivamente a quantidade de calcário a ser aplicada é a seguinte:

$$QC = NC (SC / 100) (PF / 20) (100 / PRNT) \quad \text{Eq. 73}$$

$$QC = 1,93 \text{ t/ha} (100/100) (20/20) (100/85)$$

$$QC = 2,30 \text{ t/ha}$$

Levando em consideração a QC estimada o suprimento de Ca e Mg é:

$$Ca_{\text{calagem}} = QC (T_{\text{CaO}} / 100) 0,7147 * 1\ 000 \quad \text{Eq. 76}$$

$$Ca_{\text{calagem}} = 1,93 (38 / 100) 0,7147 * 1\ 000$$

$$Ca_{\text{calagem}} = 524,2 \text{ kg/ha de Ca}$$

$$Mg_{\text{calagem}} = QC (T_{\text{MgO}} / 100) 0,6030 * 1\ 000 \quad \text{Eq. 76}$$

$$Mg_{\text{calagem}} = 1,93 (12 / 100) 0,6030 * 1\ 000$$

$$Mg_{\text{calagem}} = 139,6 \text{ kg/ha de Mg}$$

## 5.2. Recomendação de adubação para uma plantação de dendê com oito anos de idade

Para a simulação foi escolhida uma plantação de oito anos devido a que as plantas passam de um aumento crescente a uma leve estabilização na produção a partir desta idade.

Tendo em conta que a densidade de plantio é de 143 plantas/ha e a produtividade de óleo é em torno de 4,0 t/ha de óleo procede-se a estimar a produção de matéria seca vegetativa e matéria seca de frutos.

### 5.2.1. Estimativa do incremento anual de massa de matéria seca vegetativa

Para determinar a produção de matéria seca vegetativa aos oito anos de idade é preciso calcular o incremento da matéria seca vegetativa produzida entre o ano sete e oito como segue:

**MST<sub>7 ano</sub>**

$$\hat{Y} = 934,544 e^{-e^{(1,9177-0,2587 X)}} \quad (\text{Eq. 1})$$

$$\hat{Y} = 307,164 \text{ kg/planta de MS}$$

**MST<sub>8 ano</sub>**

$$\hat{Y} = 934,544 e^{-e^{(1,9177-0,2587 X)}} \quad (\text{Eq. 1})$$

$$\hat{Y} = 395,845 \text{ kg/planta de MS}$$

$$\Delta \text{MST}_{7-8} = \text{MST}_{8 \text{ ano}} - \text{MST}_{7 \text{ ano}}$$

$$\Delta \text{MST}_{7-8} = 395,845 - 307,164$$

$$\Delta \text{MST}_{7-8} = 88,681 \text{ kg/planta de MS}$$

### 5.2.2. Produção de massa de matéria seca de fruto

A produção de CFF em uma plantação de dendê aos oito anos é de 18,96 t/ha o que equivale a aproximadamente 4,0 t/ha de óleo (Quadro 8), isto significa que para produzir esta quantidade a produção de matéria seca de fruto é:

**MSF**\_8 ano

$$\hat{Y} = 34,2410/1+113,8423 e^{(-0,7760 X)} \quad (\text{Eq. 2})$$

$$\hat{Y} = 27,86 \text{ kg/planta de MS}$$

### 5.2.3. Demanda total de nutrientes

A demanda total de nutrientes requeridas por uma plantação de dendê para produzir 4,0 t/ha de óleo é a seguinte:

**Quadro 17.** Demanda nutricional de uma plantação de dendê para produzir 4,0 t/ha de óleo aos oito anos de idade.

NUTRIENTE	N	P	K	Ca	Mg	S	Cl	Cu	B	Fe	Mn	Zn
	(kg/ha)							(g/ha)				
<b>MSV</b>	595,95	58,78	672,06	284,12	104,57	53,08	321,38	507,48	932,98	16716,84	3371,12	1696,75
<b>MSF</b>	43,44	8,16	48,37	2,76	11,35	5,05	14,38	38,84	54,91	938,14	179,94	109,68
<b>TOTAL</b>	639,38	66,93	720,43	286,88	115,92	58,12	335,76	546,32	987,89	17654,98	3551,06	1806,43

### 5.2.4. Taxas de recuperação de nutrientes pela planta

As taxas de recuperação de nutrientes pela planta são estimadas a partir das equações nos quadros 6 e 7 como segue:

**Quadro 18.** Taxas de recuperação pela planta ( $TR_{pi}$ ) para uma produtividade de 4,0 t/ha e um  $P\text{-rem} = 5,2 \text{ mg/L}$

N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	B	Fe	Mn	Zn
%										
34,35	21,55	56,98	47,94	67,95	40,58	9,92	21,00	5,00	5,00	5,01

Em relação a N é importante considerar que a taxa de recuperação pela planta estimada pela equação 28 parece baixa, assim optou-se por também apresentar a estimativa do requerimento de N assumindo uma taxa de recuperação pela planta de 50 %. Portanto o valor estimado para o requerimento total de N seria de 1278,76 kg/ha.

### 5.2.5. Requerimento de nutrientes

O requerimento de cada nutriente é obtido pelo quociente entre a demanda e a taxa de recuperação pela planta para cada nutriente. Isto se faz necessário devido a que a planta não consegue absorver 100 % do nutriente aplicado em forma de fertilizante. Além de considerar a  $TR_{pl}$  é preciso considerar o requerimento de sustentabilidade para o P e K (Equação 40, pag 28). No quadro 19 mostram-se os requerimentos totais para todos os nutrientes.

**Quadro 19.** Requerimento total de nutrientes de uma plantação de dendê com oito anos de idade e uma população de 143 plantas/ha.

N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	B	Fe	Mn	Zn
kg/ha					g/ha					
1861,28*	348,36	1349,23	598,38	170,58	143,21	5505,85	4704,25	353099,66	71021,24	36081,13

\* ou 1278,76 kg/ha se considerada a taxa de recuperação pela planta igual a 50 %

### 5.2.6. Suprimento de nutrientes

Para obter o suprimento total é preciso calcular o suprimento para cada nutriente de acordo com o item 4.3. Para o cálculo do suprimento de N na camada de 0-20 cm considera-se o  $N_{res.veg.}$  mais o  $N_{MOS\ 0-20}$  (Equação 88), já na camada de 20-40 cm considera-se só o aporte de  $N_{MOS\ 20-40}$ . Para o suprimento de P, K, Ca, Mg e S considera-se o  $Nut_{solo}$  (Equação 87) mais o

Nut<sub>res.veg.</sub> O suprimento de micronutrientes considera só Nut<sub>solo</sub> na camada de 0-20 e 20-40 calculado com as equações 85 e 86 respectivamente.

Para o calculo do aporte de nutrientes pelos resíduos vegetais são usados os teores médios de nutrientes contidos nos engaços. Os teores médios de nutrientes são o resultado de um analise de solo feito pela CRAI no estado do Pará descritos no item 4.3.2.

**Quadro 20.** Suprimento total de nutrientes de uma plantação de dendê no oitavo ano após implantado.

Nutriente	Extrator	Teor	Teor	Taxa de recuperação	Suprimento	Suprimento	Suprimento	Engaco	Suprimento
		0-20 cm	20-40 cm	pele extrator	0-20 cm	20-40 cm	pele solo		total
		mg/dm <sup>3</sup>	mg/dm <sup>3</sup>	mg/dm <sup>3</sup> / mg/dm <sup>3</sup>			kg/ha		
<b>N</b>					179,85	29,72	209,57	131,56	341,13
<b>P</b>	Mehlich-1	8	6	0,1305	122,58	91,94	214,52	15,73	230,25
<b>K</b>	Mehlich-1	31,2	27,3	0,6909	90,32	67,74	158,06	220,22	378,28
<b>Ca</b>	KCL	100	60	0,7661	261,06	156,64	417,70	111,54	529,24
<b>Mg</b>	KCL	36	12	0,7989	90,12	30,04	120,17	35,75	155,92
<b>S</b>		18	15	0,0696	516,94	430,79	947,73	15,73	963,46
<b>Cu</b>	Mehlich-1	8,8	5,2	0,3863	45,56	26,92	72,48		72,48
<b>B</b>	Agua quente	0,49	0,3	0,7081	1,38	0,85	2,23		2,23
<b>Fe</b>	Mehlich-1	353	220	0,3508	2012,54	1254,28	3266,82		3266,82
<b>Mn</b>	Mehlich-1	5,0	4,8	0,8441	11,85	11,37	23,22		23,22
<b>Zn</b>	Mehlich-1	3,8	2,0	0,3513	21,63	11,39	33,02		33,02

**Quadro 21.** Balanço nutricional de uma plantação de dendê no oitavo ano após implantado.

Nutrientes	N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	B	Fe	Mn	Zn
	----- kg/ha -----										
<b>Suprimento</b>	341,13	230,25	389,82	527,04	155,75	958,63	71,80	2,30	3274,00	23,30	33,10
<b>Requerimento</b>	1861,28	348,36	1349,23	598,38	170,58	143,21	5,51	4,70	353,10	71,02	36,08
<b>Balanço</b>	-1520,15*	-118,11	-959,41	-71,34	-14,83	815,42	66,29	-2,40	2920,90	-47,72	-2,98

Balanço= Suprimento – Requerimento. Sinais negativos indicam que deve ser adicionado fertilizante para o respectivo nutriente.

\* ou - 937.63 kg/ha se considerada a taxa de recuperação pela planta igual a 50 %

## **6. CONCLUSÕES**

O FERTICALC-DENDÊ estima a demanda e o requerimento nutricional em função da produtividade de frutos e nas quantidades de nutrientes contidas nos órgãos vegetativos da planta.

O FERTICALC-DENDÊ estima o suprimento nutricional com base na quantidade do nutriente na camada de solo explorada pelas raízes absorventes, em forma disponível ou trocável, e nas quantidades de nutrientes contidos nos resíduos vegetais e na matéria orgânica do solo.

O FERTICALC-DENDÊ é um modelo de recomendação de calagem e adubação que constitui uma nova alternativa para praticar a reposição nutricional da cultura de dendê.

## 7. ANEXOS

### Conteúdo de nutrientes nas diferentes partes da planta de dendê em função da idade

Macronutrientes (g/planta)						Micronutrientes					
Idade (Anos)	Copa	Estipe	Cacho	Inf. Masc	Fruto	Idade (Anos)	Copa	Estipe	Cacho	Inf. Masc	Fruto
<b>Nitrogênio</b>						<b>Cloro (g/planta)</b>					
2	94,94	35,28	0,00	0,00	0,00	2	46,47	13,98	0,00	0,00	0,00
3	278,63	131,07	3,69	9,46	4,14	3	113,30	48,97	2,23	2,09	5,79
4	643,60	264,34	16,68	31,14	109,71	4	251,39	90,28	8,06	6,70	89,67
5	891,38	494,82	45,06	36,08	101,76	5	357,01	325,13	35,79	6,86	74,27
6	1046,35	1046,87	92,50	63,60	163,16	6	545,19	769,11	91,51	14,36	109,05
7	1468,60	1420,23	120,75	75,30	237,30	7	699,28	927,51	106,11	16,37	107,44
8	1776,81	1723,47	173,48	188,00	306,61	8	964,37	938,19	186,07	40,73	110,73
<b>Fósforo</b>						<b>Cobre (mg/planta)</b>					
2	6,62	2,68	0,00	0,00	0,00	2	54,59	88,99	0,00	0,00	0,00
3	16,80	8,22	0,38	1,59	0,50	3	113,48	384,47	3,98	8,46	7,14
4	34,05	37,60	1,19	4,95	14,76	4	225,79	473,04	18,71	29,90	99,97
5	50,39	38,51	3,82	7,39	14,80	5	303,36	651,27	60,74	34,32	147,97
6	71,88	66,12	8,40	14,45	31,10	6	414,19	1365,89	137,77	61,40	260,78
7	102,08	125,29	17,18	18,43	34,68	7	566,67	2233,58	183,65	81,22	301,50
8	146,59	159,05	22,00	24,32	58,56	8	599,27	2119,65	240,84	127,95	233,14
<b>Potássio</b>						<b>Boro (mg/planta)</b>					
2	140,29	53,01	0,00	0,00	0,00	2	146,24	75,62	0,00	0,00	0,00
3	326,13	300,75	8,78	10,37	9,88	3	295,83	142,29	5,86	11,51	3,90
4	623,37	566,60	38,48	26,86	169,98	4	628,07	399,12	32,28	36,82	118,68
5	878,16	1029,74	126,26	45,60	100,68	5	826,11	928,24	96,82	48,51	126,93
6	1070,12	1605,49	193,12	76,01	276,73	6	1130,80	1607,93	182,79	83,12	218,02
7	1119,56	3196,11	215,86	91,55	355,00	7	1779,31	2199,10	200,70	128,57	267,15
8	1284,47	2026,36	528,80	98,90	305,91	8	2696,25	2834,04	440,08	209,02	395,12
<b>Cálcio</b>						<b>Ferro (mg/planta)</b>					
2	52,61	12,04	0,00	0,00	0,00	2	554,40	1845,17	0,00	0,00	0,00
3	133,58	46,46	1,06	3,48	1,60	3	1148,66	1929,56	49,79	51,13	54,62
4	306,71	177,54	5,98	8,84	54,91	4	3166,40	4667,54	185,36	123,28	1253,51
5	449,03	286,85	14,85	22,23	58,98	5	6361,04	7192,84	575,06	182,17	1863,15
6	515,17	526,68	54,58	36,37	67,26	6	6078,27	39446,41	1930,30	568,20	2927,99
7	772,68	638,87	31,57	69,85	85,81	7	9580,81	40441,36	1786,10	459,65	2641,30
8	969,17	654,07	90,72	88,05	201,64	8	18846,50	87989,19	4466,32	801,96	6978,73
<b>Magnésio</b>						<b>Manganês (mg/planta)</b>					
2	17,58	8,33	0,00	0,00	0,00	2	641,92	68,92	0,00	0,00	0,00
3	48,19	21,95	0,64	1,89	1,17	3	2144,96	249,80	10,92	45,60	21,03
4	112,35	130,50	2,37	4,99	34,93	4	3524,24	528,24	40,64	171,63	767,43
5	146,65	144,02	9,65	11,63	36,25	5	6859,72	1111,77	187,57	231,93	901,72
6	164,02	141,08	20,14	21,16	58,65	6	8959,27	2577,82	326,74	391,91	835,38
7	264,78	278,10	22,62	31,88	72,78	7	12254,09	3679,41	606,00	512,92	972,15
8	293,48	265,34	45,88	35,67	80,30	8	16430,08	4216,98	771,31	753,80	1601,98
<b>Enxofre</b>						<b>Zinco (mg/planta)</b>					
2	3,24	2,47	0,00	0,00	0,00	2	92,00	179,41	0,00	0,00	0,00
3	14,07	16,74	0,08	0,61	0,49	3	171,64	1163,01	5,44	17,09	7,06
4	35,70	25,68	0,52	2,45	13,10	4	349,09	2789,14	27,71	56,52	216,45
5	48,69	56,02	2,23	6,12	15,60	5	619,57	5023,51	136,79	94,48	243,37
6	50,44	158,78	7,30	10,96	25,24	6	827,33	5384,53	148,57	135,00	435,28
7	79,72	170,73	11,39	15,27	29,52	7	1460,82	6723,62	223,38	220,65	626,50
8	83,07	213,76	19,53	16,14	36,68	8	1393,52	9515,87	360,80	226,29	769,12

(Fonte: Viégas, 1993)

**Produção de matéria seca dos diferentes componentes do dendezeiro**

<b>Idade (Ano)</b>	<b>Copa</b>	<b>Estipe</b>	<b>Inf. Masc</b>	<b>Pedúnculo</b>	<b>Espiguetas</b>	<b>Frutos</b>	<b>Total</b>
	----- kg/planta -----						
<b>2</b>	12,11	4,51	0,00	0,00	0,00	0,00	16,62
<b>3</b>	26,33	9,16	0,55	0,18	0,49	0,39	37,10
<b>4</b>	61,08	15,36	1,63	0,75	1,80	8,32	88,94
<b>5</b>	83,02	36,76	2,11	1,95	5,25	10,57	139,66
<b>6</b>	103,83	88,18	3,78	2,42	11,09	15,55	224,85
<b>7</b>	135,08	122,17	4,85	4,45	15,45	22,75	304,75
<b>8</b>	168,96	161,55	6,46	6,27	25,24	28,11	396,59

(Fonte: Viégas, 1993)

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVAREZ V., V. H.; NOVAIS, R. F.; DIAS L. E. & OLIVEIRA, J. A. Determinação e uso do fósforo remanescente. B. Inf. SBCS, 25:27-32, 2000.
- ALVAREZ V., V. H.; RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G., (Eds.) CFSEMG. Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. Viçosa, MG. 1999. 359 p.: il. (5<sup>ta</sup> Aproximação)
- BERNARD, E. Ecoclimatologie et fluctuations de rendement du palmier à huile. INEAC, Reunión Congopalm, I, 1950. p.15-18.
- BOARETTO, R. M.; MATTOS JR, D.; QUAGGIO, J. A.; CANTARELLA, H.; TRIVELIN, P. C. O. Nitrogen-15 uptake and distribution in two citrus species. Proceedings of the 19th World Congress of Soil Science. 156-159,2010.
- BOARETTO, R.M., MURAOKA, T.; GINÉ, M.F.; BOARETTO; A.E. Absorption of foliar sprayed boron and its translocation in the citrus plants when applied at different phonological phases. In: XU, F.; GOLDBACH, H. E.; BROWN, P. H.; BELL, R. W.; FUJIWARA, T.; HUNT, C. D.; GOLDBERG, S. SHI, L. (Eds.). Advances in Plant and Animal Boron Nutrition. p. 125–131. Dordrecht, 2007.
- CANTARUTTI, R.B.; BARROS, N.F.; MARTINEZ, H.E.P.; NOVAIS, R.F. Avaliação da fertilidade do solo e recomendação de fertilizantes. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L., eds. Fertilidade do solo. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.645-737.
- CONCEIÇÃO, E., MULLER, A. “Botânica e Morfologia do Dendezeiro”. In: Viegas, I., Muller, A. (eds), A Cultura do Dendezeiro na Amazônia Brasileira, 1 ed., cap. 2 Belém, Pará, 2000.
- FEIGENBAUM, S., BIELORAI, H.; ERNER, Y.; DASBERG, S. The fate of 15N labeled nitrogen applied to mature citrus trees. Plant Soil. 97:179–187, 1987.

FREIRE, F. J. Sistema para cálculo do balanço nutricional e recomendação de corretivos e fertilizantes para cana-de-açúcar. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2001. 87p. (Tese de Doutorado).

FURLAN Jr., J. et al. BIODIESEL: Porque tem que ser dendê. EMBRAPA, 1 ed. Belém, PA, 2006.

GONÇALVES, J.L.M.; MENDES, K.C.F.S.; SASAKI, C.M. Mineralização de nitrogênio em ecossistemas florestais naturais e implantados do estado de São Paulo. Revista Brasileira de Ciência do Solo. 25(3): 601-616, 2001.

HARTLEY, C.W.S. (1983). "La palma de aceite". México. Editorial Continental. pp. 958.

JOURDAN C; REY H. (1997). " Modelling and Simulation of the architecture and development of the oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq) root system". 1. The model. Pl. Soil, 190,217-233.

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

KIEHL, E. J. Manual de Edafologia. Relações solo-planta. Agronômica Ceres. São Paulo, 1979. 264 p.

Ng, P.H.C., P.S. Chew, K.J. Goh, and K.K. Kee, 1999. Nutrient requirements and sustainability in mature oil palms – an assessment. The Planter, Kuala Lumpur 75(880):331-345.

Ng, S.K. 1977. Review of oil palm nutrition and manuring – scope for greater economy in fertilizer usage. In: international Developments in Oil Palm (Earp & Newall, eds.), Incorporated Society of Planters, Kuala Lumpur, Malaysia, 717-738.

MEDINA, J. C. Coco I – cultura In: MEDINA J. M., GARCIA, J. L. M. MARTIN, Z. J., KATO, K., TERUO, P., TURATTI, J. M., SANTOS, L. C., SILVA, M. T. C., CANTO, W. L., NETO, L. C. B. & MORETTI V. A., ed. ITAL Instituto de tecnologia de alimentos Série Frutas Tropicais-5 Coco – da cultura ao processamento e comercialização. 1.ed. São Paulo, Imprensa Oficial do Estado, 1980. p.7-58.

MELLO, M. S. Sistema de interpretação de análise de solo e de recomendação de calagem e fertilizante para a cultura de tomate. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2000. 91 p.(Dissertação de Mestrado).

MATTOS JR, D., GRAETZ, D.A., ALVA, A.K. Biomass distribution and nitrogen-15 partitioning in citrus trees on a sandy Entisol. Soil Sci. Soc. Am. J. 67:555–563, 2003b.

Murphy DJ (2003). Working to improve the oil palm crop. Inform 14 (11), 670-671.

NOGUEIRA, G.G. Sistema de recomendação de corretivos e fertilizantes para a cultura do coqueiro. 2002. 74p. Tese (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2002.

QUIÑONES, A.; BAÑULS, J.; PRIMO-MILLO, E.; LEGAZ, F. Effects of 15N application frequency on nitrogen uptake efficiency in Citrus trees. Journal of Plant Physiology.160:1429-1434, 2003.

Raij, B. van; Camargo, A.P. de; Cantarella, H. & Silva, N.M. da. Alumínio trocável e saturação em bases como critérios para recomendação de calagem. Bragantia, 42:149-156. 1983.

RAYGADA, R. (2005). “Manual Técnico para el cultivo de la palma aceitera”. Comisión Nacional para el Desarrollo y Vida sin Drogas (DEVIDA); Proyecto de Desarrollo Alternativo Tocache-Uchiza (PRODATU). p. 27-80.

RODRIGUES, M. R. L.; AMBLARD, P.; SILVA, E. B.; MACEDO, J. L V.; CUNHA, R. N. V. TAVARES, A. M. Avaliação do estado nutricional do

dendezeiro: análise foliar. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2002. 9p. (Circular técnica, 11)

SANTOS, F.C.; NEVES, J.C.L.; NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; SEDIYAMA, C.S. Modelagem da recomendação de fertilizantes para a cultura da soja. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, n. 32, p.1661-1674, 2008.

SILVA, A.P.; ALVAREZ V, V.H.; SOUZA, A.P.; NEVES, J.C.L.; NOVAIS, R.F.; DANTAS, J.P. Sistema de recomendação de fertilizantes e corretivos para a cultura do abacaxi – Ferticalc-abacaxi. Revista Brasileira de Ciência do Solo. Viçosa, v. 33, n. 5, p. 1269-1280, 2009.

SILVA, J.S. Produtividade de óleo de palma na cultura do dendê na Amazônia Oriental: Influencia do clima e do material genético. 2006. 95p. Tese (Mestrado em Fitotecnia) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2006.

STHRINGER, N.I. Sistema de Recomendação de Corretivos e Fertilizantes para a Cultura da Laranja (FERTICALC-LARANJA). 2013. 116p. Tese (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2013.

SURRE, C.; ZILLER, R. La palmera de aceite. Barcelona: Ed. Blume, 1969. 243 p.

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.

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