

## Adubação Fosfatada para Palma de Óleo



ISSN 1983-0513

Dezembro, 2012

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
Embrapa Amazônia Oriental  
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

# **Documentos 388**

## **Adubação Fosfatada para Palma de Óleo**

*Vinícius Ide Franzini  
Alysson Roberto Baizi e Silva*

Embrapa Amazônia Oriental  
Belém, PA  
2012

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

**Embrapa Amazônia Oriental**

Tv. Dr. Enéas Pinheiro, s/n.  
Caixa Postal 48. CEP 66095-100 - Belém, PA.  
Fone: (91) 3204-1000  
Fax: (91) 3276-9845  
www.cpatu.embrapa.br  
cpatu.sac@embrapa.br

**Comitê Local de Publicação**

Presidente: *Michell Olivio Xavier da Costa*  
Secretário-Executivo: *Moacyr B. Dias-Filho*  
Membros: *Orlando dos Santos Watrin*  
*Márcia Mascarenhas Grise*  
*José Edmar Urano de Carvalho*  
*Regina Alves Rodrigues*  
*Rosana Cavalcante de Oliveira*

Revisão técnica:

*Adilson Oliveira Junior* – Embrapa Soja  
*Magnus Dall Igna Deon* – Embrapa Semiárido

Supervisão editorial: *Luciane Chedid Melo Borges*  
Revisão de texto: *Narjara de Fátima Galiza da Silva Pastana*  
Normalização bibliográfica: *Luiza de Marillac P. Braga Gonçalves*  
Tratamento de ilustrações: *Vitor Trindade Lôbo*  
Editoração eletrônica: *Euclides Pereira dos Santos Filho*  
Foto da capa: *Vinicius Ide Franzini*

**1ª edição**

Versão eletrônica (2012)

**Todos os direitos reservados**

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**  
**Embrapa Amazônia Oriental**

---

Franzini, Vinicius Ide

Adubação fosfatada para palma de óleo / por Vinicius Ide Franzini e Alysson Roberto Baizi e Silva. – Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2012.

43 p. il. (Documentos / Embrapa Amazônia Oriental, ISSN 1983-0513 ; 388).

1. Dendê. 2. Dendê – Adubação. 3. Adubação fosfatada. 4. Elaeis guineensis. 5. Óleo de palma. I. Silva, Alysson Roberto Baizi e. II. Série.

634.61 CDD 21. ed

---

© Embrapa 2012

# **Autores**

## **Vinícius Ide Franzini**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, pesquisador da Embrapa Amazônia Oriental, Belém, PA.  
vinicius.franzini@embrapa.br

## **Alysson Roberto Baizi e Silva**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Fertilidade do Solo e Manejo de Nutrientes, pesquisador da Embrapa Amazônia Oriental, Belém, PA.  
alysson.silva@embrapa.br



# Apresentação

Esta publicação resulta de revisão de literatura, com enfoque em resultados de pesquisa publicados recentemente referentes à adubação fosfatada para a palma de óleo. A motivação desse levantamento foram as fortes evidências da baixa eficiência da adubação fosfatada para palma de óleo.

Assim, espera-se que as informações apresentadas neste documento contribuam para direcionar pesquisas relacionadas à adubação fosfatada para a palma de óleo no Estado do Pará e que auxiliemos produtores a adotar práticas que resultem em aumento da eficiência dos fertilizantes fosfatados nos palmares.

*Claudio José Reis de Carvalho*

Chefe-geral da Embrapa Amazônia Oriental



# Sumário

<b>Adubação Fosfatada para Palma de Óleo</b> .....	9
<b>Introdução</b> .....	9
<b>Importância da adubação para a palma de óleo</b> .....	10
<b>O fósforo na cultura da palma de óleo</b> .....	10
<b>Importância da avaliação da fertilidade do solo para palma de óleo</b> .....	11
Avaliação da disponibilidade de fósforo no solo .....	16
<b>Fatores que afetam a disponibilidade de fósforo no solo e a eficiência da adubação fosfatada na palma de óleo</b> .....	17
Acidez do solo .....	18
Fontes de fósforo .....	19
Doses de fósforo .....	22
Métodos de aplicação do fósforo para palma de óleo .....	25
Variação genotípica da palma de óleo quanto à eficiência de absorção de fósforo .....	34
<b>Alternativas para manejo da adubação fosfatada para palma de óleo</b> .....	35
<b>Considerações finais</b> .....	37
<b>Referências</b> .....	38



# Adubação Fosfatada para Palma de Óleo

---

*Vinicius Ide Franzini*

*Alysson Roberto Baizi e Silva*

## Introdução

A palma de óleo (dendê) é cultivada predominantemente em solos ácidos e com baixo teor de fósforo (P) disponível. A recomendação da adubação fosfatada utilizada por muitos produtores dessa cultura não obedece à prescrição baseada na análise de solo. Além disso, a correção da acidez do solo não é prática realizada comumente nos palmares. Embora o P apresente baixa mobilidade no solo, a aplicação de fertilizantes fosfatados é realizada, quase exclusivamente, na superfície do solo durante todo o ciclo da cultura. Esses fatores associados, provavelmente, implicam em baixa eficiência da adubação fosfatada em grande parte das áreas de produção.

O objetivo principal desse documento é apresentar e discutir resultados de estudos que evidenciam baixa eficiência da adubação fosfatada na palma de óleo e propor alternativas para aumentar essa eficiência.

## **Importância da adubação para a palma de óleo**

A palma de óleo é cultivada predominantemente em solos de baixa fertilidade, sendo necessária a aplicação de altas doses de fertilizantes para assegurar o desenvolvimento vegetativo das plantas e produtividades de cachos adequadas (GOH; HÄRDTER, 2003). Na Indonésia, os fertilizantes representam de 50% a 70% dos custos variáveis e cerca de 25% do custo total da produção da palma de óleo (CALIMAN et al., 2007; GOH; HÄRDTER, 2003). A compreensão dos fatores que contribuem para o uso eficiente dos fertilizantes é fundamental para maximizar a produtividade e aumentar o retorno econômico com a cultura (GOH; HÄRDTER, 2003). Nesse sentido, a indústria de óleo de palma da Indonésia, por exemplo, investiu milhões de dólares em pesquisa e desenvolvimento para melhorar a eficiência de uso dos fertilizantes (COMTE et al., 2012). Vários experimentos foram realizados em diferentes tipos de solo, clima e idades de plantios para otimizar o manejo dos nutrientes na palma de óleo (COMTE et al., 2012).

## **O fósforo na cultura da palma de óleo**

O P é fundamental para a aquisição, estocagem e utilização de energia pela planta, pois atua como transportador de energia química, na forma de trifosfato de adenosina (ATP) (MARSCHNER, 1995). Esse nutriente é considerado o mais limitante para o desenvolvimento de plantas em solos altamente intemperizados de regiões tropicais (RAJAN et al., 1996).

Na palma de óleo, o P é o macronutriente extraído em menores quantidades pelas plantas (VIÉGAS; BOTELHO, 2000). A média geral da concentração de P no tecido vegetal (folíolos) da palma de óleo varia de 1,47 g kg<sup>-1</sup> em mudas a 0,74 g kg<sup>-1</sup> em plantas adultas (NG et al., 1968).

O nível crítico foliar de P na palma de óleo, definido como a concentração do nutriente no tecido vegetal, acima do qual nenhum aumento significativo em produtividade é esperado, é de 1,6 g kg<sup>-1</sup> (folha 9) e 1,5 g kg<sup>-1</sup>(folha 17) (OCHS; OLIVIN, 1977). Todas as informações detalhadas para a identificação da folha diagnóstico para avaliação do estado nutricional da palma de óleo estão disponíveis em publicação de Rodrigues et al. (2002). Em condições de carência acentuada de P, a palma de óleo expressa sintomas visíveis de deficiência, caracterizados por crescimento reduzido da planta e estipe em formato de pirâmide. Além disso, o secamento prematuro das folhas mais velhas pode estar associado com a deficiência de P nas plantas (RODRIGUES et al., 2010). Como resultado dessa deficiência, há redução significativa na produtividade de cachos (RODRIGUES et al., 2010).

A palma de óleo é cultivada predominantemente em Argissolos e Latossolos altamente intemperizados, ácidos e de baixa fertilidade, destacando-se os baixos teores de P disponível, tanto no Sudeste Asiático (MUTERT, 1999; ANDA et al., 2008; SHAMSHUDDIN; DAUD, 2011) quanto no Brasil (CHEPOTE et al., 1988; MACÊDO; RODRIGUES, 2000; VIÉGAS; BOTELHO, 2000; RODRIGUES et al., 2002). Esse nutriente é o que mais limita o desenvolvimento e a produtividade da palma de óleo no Estado do Pará, que é o maior produtor do Brasil (PACHECO et al., 1985).

## **Importância da avaliação da fertilidade do solo para palma de óleo**

Na prática, a adubação na palma de óleo tem sido fundamentada, principalmente, nos princípios de (i) balanço de nutrientes, que considera a exigência nutricional da planta e as perdas de nutrientes do solo por lixiviação, escoamento superficial e emissão de gases (CORLEY; TINKER, 2003; COMTE et al., 2012); (ii) quantidades extraídas e exportadas de nutrientes (VIÉGAS; BOTELHO, 2000); (iii) análise foliar (RODRIGUES et al., 2002). No entanto, ao contrário do recomendado, a maioria dos produtores realiza a adubação sem obedecer à prescrição baseada na análise de solo.

A análise foliar não deveria ser utilizada como técnica alternativa para a avaliação da fertilidade do solo, pois os teores de nutrientes nas folhas nem sempre apresentam correlação estreita com os teores disponíveis no solo (RAIJ, 2011). Além da disponibilidade do nutriente no solo, vários outros fatores afetam a absorção de nutrientes pelas plantas, tais como teor de água no solo, aeração, compactação, acidez, doenças, bem como reações de antagonismo ou sinergismo entre nutrientes (RAIJ, 2011).

O teor de determinado nutriente pode estar em nível adequado no solo, não havendo, portanto, a necessidade de realizar a adubação. No entanto, a planta pode não conseguir absorver e assim apresentar baixo teor do nutriente na folha, como consequência de outro fator, por exemplo, a falta de água no solo. Nesse sentido, se a recomendação da adubação basear-se exclusivamente na análise foliar, sempre será recomendada a aplicação de fertilizantes. Além disso, a adubação com fertilizantes com alto índice salino, como o KCl, em período seco, principalmente em doses altas e de modo concentrado no solo (por exemplo, na coroa da planta) pode potencializar o estresse hídrico da palma de óleo, principalmente em plantas mais jovens.

Sun et al. (2011) observaram em mudas de palma de óleo que a aplicação de fertilizante em condições de déficit hídrico no solo pode agravar o estresse hídrico da planta pela dissolução do fertilizante. O índice salino é uma propriedade dos fertilizantes relativa à sua capacidade de aumentar a pressão osmótica da solução do solo. Se a pressão osmótica da solução do solo tornar-se maior que a das raízes, ocorrerá transporte da água das células para o solo, resultando em seca fisiológica. O efeito do aumento da salinidade pode resultar em danos às plantas, sobretudo nas mais novas (ALCARDE, 2007). A análise foliar deve ser considerada como uma técnica de avaliação do estado nutricional das plantas a ser usada em conjunto com a análise de solo (RAIJ, 2011).



Foto: Vinícius Ide Franzini

**Figura 1.** Amostragem do solo com trado holandês em cultivo de palma de óleo.

A análise química de solos resulta em indicadores de fertilidade que permitem inferir a respeito do estado da reação do solo (ácido, neutro ou alcalino) e do grau de disponibilidade dos nutrientes (RAIJ, 2011). Para planejar o manejo da adubação, o resultado da análise de solo deve ser relacionado com a classe de disponibilidade de determinado nutriente no solo. Essas classes são obtidas pela relação entre o teor do nutriente considerado disponível no solo e a produtividade da cultura, em diferentes tipos de solo e clima (RAIJ; QUAGGIO, 1983; CANTARUTTI et al., 2007; RAIJ, 2011). Assim, para definir as classes de disponibilidade, há necessidade de conjuntos de experimentos em diferentes tipos de solos, que darão o suporte para a calibração dos resultados obtidos com cada método de análise de solo (EVANS, 1987).

Na Malásia (Tabela 1) e na Colômbia (Tabela 2) existem classes de interpretação de teores de nutrientes, da reação do solo e de outros atributos para a palma de óleo. Observa-se que quando o teor de P está alto ou muito alto a probabilidade de resposta das culturas à adubação é muito baixa ou ausente, e quando o teor de P está baixo ou muito baixo espera-se resposta na forma de aumento de produtividade à aplicação de fertilizantes fosfatados, o que é fundamental para o uso eficiente desses insumos.

**Tabela 1.** Classes de interpretação da análise de solo associadas ao potencial de resposta à adubação para palma de óleo na Malásia.

Atributo	Classes				
	Muito baixo	Baixo	Moderado	Alto	Muito alto
pH	< 3,5	4,0	4,2	5,5	> 5,5
P disponível (Bray-II) (mg kg <sup>-1</sup> )	< 8	15	20	25	> 25
K trocável (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	< 0,08	0,2	0,25	0,3	> 0,3
Mg trocável (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	< 0,08	0,2	0,25	0,3	> 0,3
CTC efetiva <sup>(1)</sup> (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	< 6	12	15	18	> 18
Deficiência	Provável	Possível	-	-	Induzida
Resposta à adubação	Alta	Provável	Possível	-	Possível

<sup>(1)</sup>CTC efetiva = Ca + Mg + K + Al.

Fonte: Fairhurst e Härdter (2003).

**Tabela 2.** Classes de interpretação de análise de solo para a palma de óleo na Colômbia.

Atributo	Classes		
	Baixo	Médio	Alto
pH	<4,5	4,5-5,5	> 5,5
MO (g kg <sup>-1</sup> )	20	20-40	> 40
P disponível (Bray-II) (mg kg <sup>-1</sup> )	< 15	15-20	> 20
K (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	0,2	0,2-0,4	> 0,4
Mg (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	0,2	0,2-0,3	> 0,3
S (mg kg <sup>-1</sup> )	< 10	10-15	> 15
B (mg kg <sup>-1</sup> )	< 0,25	0,25-0,50	> 0,50
Fe (mg kg <sup>-1</sup> )	< 15	15-30	> 30
Cu (mg kg <sup>-1</sup> )	< 0,5	0,5-1,5	> 1,5
Mn (mg kg <sup>-1</sup> )	< 5	5-10	> 10
Zn (mg kg <sup>-1</sup> )	< 1,0	1,0-2,0	> 2,0
Saturação por Al (%)	< 25	25-50	> 50
Saturação por K (%)	< 3	3-6	> 6
Saturação por Ca (%)	< 20	20-40	> 40
Saturação por Mg (%)	< 10	10-20	> 20

Fonte: Munévar (2001).

Provavelmente essas duas tabelas foram elaboradas com base em levantamentos da fertilidade do solo em plantios de palma de óleo, pois não foram encontrados resultados publicados de experimentos de adubação. Assim, o suporte experimental associado às tabelas é baixo ou nulo, o que torna frágeis as interpretações dos atributos de fertilidade e, por consequência, as recomendações de corretivos e fertilizantes baseadas nelas. De acordo com Munévar (2001), na Colômbia não há resultados experimentais suficientes de resposta da palma de óleo à aplicação de nutrientes.

Ressalta-se que as classes de interpretação de análise de solo desses países, a princípio, não devem ser utilizadas para interpretação de resultados de análises de solo no Brasil, devendo ser realizados estudos regionais de correlação e calibração da análise de solo para a palma de óleo.

## **Avaliação da disponibilidade de fósforo no solo**

A qualidade da análise química de solo depende dos diferentes métodos usados e da correlação entre os teores ou resultados da análise de solo e das respostas das culturas aos nutrientes ou de outro atributo, como o pH do solo (RAIJ, 2011). A avaliação do P disponível de um solo pode ser realizada com o uso de diferentes soluções extratoras. Na Tabela 2, observa-se que os teores de P disponível nos solos da Colômbia para a palma de óleo são obtidos pelo método que emprega o extrator químico Bray-2 ( $\text{HCl } 0,1 \text{ mol L}^{-1} + \text{NH}_4\text{F } 0,03 \text{ mol L}^{-1}$ ). No Brasil, por sua vez, o método Mehlich 1 ( $\text{HCl } 0,05 \text{ mol L}^{-1} + \text{H}_2\text{SO}_4 \text{ } 0,0125 \text{ mol L}^{-1}$ ) é amplamente utilizado para avaliação da disponibilidade de P no solo (CLAESSEN, 1997).

Os fosfatos naturais são fontes de P altamente empregadas na palma de óleo, como será discutido posteriormente. Em solos que receberam fosfatos naturais, os extratores ácidos, como o Mehlich 1, podem superestimar o teor de P disponível para as plantas, dissolvendo fosfatos de baixa solubilidade que não estão disponíveis para as plantas (RAIJ, 1991). Isso porque esses extratores possuem pH próximo de 2 e

extraem preferencialmente as formas de P ligado a cálcio no solo (RAIJ, 1991). Nessas condições, possivelmente a Resina Trocadora de Íons seja uma boa opção, mas para seu emprego seriam necessários estudos de correlação e calibração para os solos cultivados com a palma de óleo no Estado do Pará.

Assim, a tomada de decisão para a aplicação e para a definição das doses de P e dos métodos de aplicação de fertilizantes fosfatados, principalmente antes e na ocasião do plantio da palma de óleo, deve ser baseada primordialmente na análise de solo, com interpretação baseada em estudos de resposta à adubação da cultura e avaliações com o método específico de análise utilizado na região. Durante as fases de crescimento e de produção da palma de óleo, o manejo da adubação fosfatada pode ser auxiliado pela análise de tecido vegetal.

### **Fatores que afetam a disponibilidade de fósforo no solo e a eficiência da adubação fosfatada na palma de óleo**

A eficiência da adubação fosfatada depende de fatores relacionados à fonte de P, ao solo e à planta (ANGHINONI, 2004). As recomendações técnicas mínimas do ponto de vista da Fertilidade do Solo não são adotadas em grande parte dos cultivos de palma de óleo no Brasil, principalmente na implantação e renovação de palmares. Entre essas recomendações não adotadas destacam-se a análise de solo como ferramenta de avaliação da fertilidade do solo e de recomendação de fertilizantes e a correção da acidez do solo para aumentar a disponibilidade de alguns nutrientes no solo e aumentar a eficiência dos fertilizantes. Além disso, o modo de aplicação de fertilizantes fosfatados na superfície do solo não é o mais adequado, podendo resultar em aumentos exagerados de P na camada superficial do solo e não corrigir os teores baixos desse nutriente em camadas mais profundas do solo, onde há predomínio de raízes absorventes de nutrientes.

A aplicação de fertilizantes apresenta grande importância no cultivo da palma de óleo, pois essa cultura é altamente exigente em nutrientes e seu cultivo é realizado predominantemente em solos de baixa fertilidade (GOH; HÄRDTER, 2003). Embora o P seja o macronutriente extraído e exportado em menores quantidades pela palma de óleo (NG et al., 1968; VIÉGAS; BOTELHO, 2000), é o nutriente que mais limita o desenvolvimento e a produtividade da palma de óleo na Amazônia (PACHECO et al., 1985; RODRIGUES, 1993). A aplicação de altas doses de P na adubação é fundamental, pois, além de os solos cultivados com palma de óleo apresentarem baixos teores de P disponível e alta capacidade de fixação desse nutriente (MACÊDO; RODRIGUES, 2000; VIÉGAS; BOTELHO, 2000; SHAMSHUDDIN; E DAUD, 2011), o P apresenta efeito sinérgico com outros nutrientes na produtividade da palma de óleo (FOSTER et al., 1988), como por exemplo, com o nitrogênio (OLLAGNIER; OCHS, 1981).

## Acidez do solo

Conforme apresentado anteriormente, a palma de óleo é cultivada predominantemente em solos ácidos e, por ser considerada tolerante à acidez, não se realiza a correção da acidez do solo pela prática da calagem (AUXTERO; SHAMSHUDDIN, 1991; SHAMSHUDDIN; DAUD, 2011). Como a correção da acidez do solo não é realizada, aplica-se o fosfato natural reativo (FNR) como fonte de P para as plantas, que apresenta maior dissolução em solos ácidos. No entanto, deve-se considerar que parte do P liberado do FNR é fixado no solo, podendo tornar-se indisponível para as plantas. Além disso, sabe-se que correção da acidez é prática que aumenta a disponibilidade de P no solo e a eficiência dos fertilizantes fosfatados. Mesmo em cultivos com espécies tolerantes à acidez do solo deve-se considerar o benefício da calagem na economia de P (SOUSA; LOBATO, 2003).

Estudos recentes com mudas de palma de óleo têm indicado que, embora essa espécie seja considerada tolerante à acidez do solo (AUXTERO; SHAMSHUDDIN, 1991), a correção da acidez e a redução dos teores de  $Al^{3+}$  podem beneficiar o seu desenvolvimento (CRISTANCHO et al., 2011a, 2011b).

Assim, embora a palma de óleo seja tolerante à acidez do solo, a prática da calagem resultaria em benefícios como aumento da disponibilidade de nutrientes no solo e da eficiência dos fertilizantes, principalmente dos fosfatados. A maior eficiência da adubação pode resultar em aumento de produtividade e/ou economia de fertilizantes. Além disso, o calcário é fonte de cálcio e, principalmente, de magnésio de baixo custo relativo para as plantas. Deve-se considerar, entretanto, que os fosfatos naturais se beneficiam da acidez do solo para sua dissolução e que quando se utilizam fosfatos naturais, observa-se decréscimo de solubilidade com a aplicação de calcário, principalmente em quantidades acima da dose recomendada para se elevar a saturação por bases para 50% (SOUSA; LOBATO, 2003).

## Fontes de fósforo

Os fertilizantes fosfatados podem apresentar alta (superfosfatos e os fosfatos de amônio) ou baixa (fosfatos naturais) solubilidade em água. A legislação brasileira estabelece garantia mínima para o teor de P (expresso em porcentagem de  $P_2O_5$ ) extraído em citrato neutro de amônio mais água (CNA +  $H_2O$ ) para os fertilizantes de alta solubilidade em água e em ácido cítrico a 2% e teor de P total para os fosfatos naturais (HOROWITZ; MEURER, 2004). Os principais fertilizantes fosfatados disponíveis e suas garantias mínimas, de acordo com a legislação brasileira, são apresentados na Tabela 3.

Os fosfatos totalmente acidulados, como o superfosfato triplo e o superfosfato simples, são os mais comercializados para a agricultura no Brasil, pois apresentam elevada quantidade de P, considerado de rápida liberação para as plantas e menor custo por unidade de P presente no produto, considerando-se transporte, manuseio e armazenamento (PROCHNOW et al., 2004).

**Tabela 3.** Principais fertilizantes fosfatados disponíveis.

Fertilizante	Teor de fósforo ( $P_2O_5$ ) %	Extrator
Superfosfato simples	18	Citrato neutro de amônio + água
	15	Água
Superfosfato triplo	41	Citrato neutro de amônio + água
	36	Água
Fosfato diamônico (DAP)	45	Citrato neutro de amônio + água
	38	Água
Fosfato monoamônico (MAP)	48	Citrato neutro de amônio + água
	44	Água
Fosfato natural reativo	27	Total
	8,1	Ácido cítrico a 2 % (relação 1:100)

Fonte: Brasil (2007).

O fosfato natural reativo (FNR) é a fonte de P mais utilizada na implantação de cultivos de palma de óleo no Sudeste Asiático (SHAMSHUDDIN; DAUD, 2011), assim como no Brasil. A aplicação direta dessa fonte de P em solos ácidos cultivados com palma de óleo é prática realizada desde a década de 1930 (ZAHARAH et al., 1997). Na Malásia o principal FNR utilizado nos plantios de palma de óleo é o das Ilhas Christmas, em razão das condições de solos ácidos da região e do menor custo comparado aos fertilizantes fosfatados de elevada solubilidade em água (ZAHARAH et al., 1985).

A eficiência dos fosfatos naturais depende da origem (sedimentar, ígneo ou metamórfico), do tamanho das partículas, do modo de aplicação e da espécie vegetal (HOROWITZ; MEURER, 2004). Além disso, fatores relacionados ao solo afetam a dissolução dos fosfatos naturais. Entre as propriedades do solo, a dissolução dos fosfatos naturais no solo é influenciada pela seguinte ordem de grandeza: textura do solo (54%), relacionada com a capacidade de retenção de P e teor de argila, e

acidez do solo (43%) (YUSDAR et al., 2007). A dissolução dos fosfatos naturais é crescente com o aumento da capacidade de retenção de P e do teor de argila do solo e com a redução do pH do solo (YUSDAR et al., 2007). A capacidade de retenção de P fornece dreno para o  $H_2PO_4^-$  liberado do fosfato natural reativo (HANAFI; SYERS 1994) e a dissolução de minerais de P ligado a Ca presente dos fosfatos naturais aumenta com o decréscimo do pH (LINDSAY, 1979).

Os fosfatos naturais reativos, de acordo com a legislação brasileira, apresentam garantias mínimas de 27% de  $P_2O_5$  total, 30% do teor total de  $P_2O_5$  solúvel em ácido cítrico a 2% e 28% de Ca (BRASIL, 2007). No Brasil, o FNR é amplamente utilizado como fonte de P na adubação da palma de óleo, sobretudo na cova de plantio na implantação de palmares.

A eficiência da adubação fosfatada depende da fonte de P aplicada para a palma de óleo. A eficiência comumente adotada para a aplicação de superfosfato triplo (SFT) para a palma de óleo é de 20% (VEIGA, 2001). A eficiência de absorção de diferentes fontes de P foi avaliada em mudas de palma de óleo usando-se a técnica com o isótopo radioativo  $^{32}P$  (ZAHARAH et al., 1997). Com essa técnica, é possível quantificar e discriminar o P na planta proveniente do fertilizante e o do solo. A eficiência de absorção de P (EAP) é definida pela seguinte equação:

$$EAP (\%) = \frac{\text{Total de P do fertilizante absorvido pela palma de óleo}}{\text{Total de P aplicado como fertilizante}} \times 100 \quad (1)$$

Pelos valores de EAP da Tabela 4, observa-se a seguinte sequência na eficiência das fontes de P: SFT > FNR da Carolina do Norte > FNR de Gafsa  $\geq$  FNR da Jordânia  $\geq$  FNR de Marrocos  $\geq$  FNR de Ilha Christmas > FNR da China (ZAHARAH et al., 1997). Após 12 meses de desenvolvimento das mudas de palma de óleo, observou-se que a eficiência do SFT foi cerca de três a sete vezes superior à dos fosfatos naturais (Tabela 4).

**Tabela 4.** Teor de fósforo (P), origem e eficiência das fontes de P no desenvolvimento de mudas de palma de óleo.

Fontes de fósforo	Origem	Teor de $P_2O_5$		Eficiência das fontes de P
		Total	*Solúvel	
		%		
Superfosfato triplo	-	46,7	40,3	15,0
FNR da Carolina do Norte	EUA	30,0	12,1	5,2
FNR de Gafsa	Tunísia	30,7	11,7	4,2
FNR da Jordânia	Jordânia	32,3	10,8	4,1
FNR de Marrocos	Marrocos	33,0	10,6	3,2
FNR de Ilhas Christmas	Localizada no Oceano Índico (território externo da Austrália)	33,2	9,3	4,0
FNR da China	China	33,7	7,5	2,2

FN: fosfato natural; \*Solubilidade das fontes de fósforo pelos seguintes extratores: superfosfato triplo em citrato neutro de amônio; fosfatos naturais em ácido cítrico 2%.

Fonte: Zaharah et al. (1997).

## Doses de fósforo

As doses de P recomendadas para palma de óleo variam amplamente em função da idade da planta e do local de cultivo. As recomendações de adubação fosfatada para palma de óleo cultivada em Latossolos e Argissolos no Sudeste Asiático e no Estado do Pará estão apresentadas nas Tabelas 5 e 6, respectivamente.

**Tabela 5.** Doses de fósforo recomendadas para a palma de óleo cultivada na Malásia e na Indonésia.

Dose de $P_2O_5$		Número de aplicações/ ano	Fase	Local	Referência
$g\ planta^{-1}\ ano^{-1}$	$(^{(1)})kg\ ha^{-1}\ ano^{-1}$				
180	26	1	Plantio	Malásia e Indonésia	Rankine e Fairhurst (2008a)
393	56	–	<sup>(2)</sup> Juvenil	Indonésia	FERTILIZER... (2005)
500	72	2	1º ano	Malásia e Indonésia	Rankine e Fairhurst (2008)
600	86	2	2º ano	Malásia e Indonésia	Rankine e Fairhurst (2008)
700	100	2	3º ano	Malásia e Indonésia	Rankine e Fairhurst (2008)
360-785	51-112	–	Juvenil	Malásia e Indonésia	Von Uexküll (2007)
357	51	–	<sup>(3)</sup> Adulta	Indonésia	FERTILIZER... (2005)
900	129	–	Adulta	Malásia	FERTILIZER... (2004)
<sup>(4)</sup> 150-200	21-29	1-2	Adulta	Malásia e Indonésia	Rankine e Fairhurst (2009)
<sup>(5)</sup> 500-750	72-107	1-2	Adulta	Malásia e Indonésia	Rankine e Fairhurst (2009)
491-1.423	70-203	–	Adulta	Malásia e Indonésia	Von Uexküll (2007)

<sup>(1)</sup>Densidade de plantio: 143 plantas  $ha^{-1}$ .<sup>(2)</sup>Plantas não produtivas (até 3º ano).<sup>(3)</sup>Plantas produtivas (a partir do 4º ano).<sup>(4)</sup>Dose de  $P_2O_5$  recomendada para reposição da exportação de P pela colheita.<sup>(5)</sup>Dose de  $P_2O_5$  recomendada na ocorrência de sintomas visuais de deficiência de P na planta.

**Tabela 6.** Doses de fósforo recomendadas para a palma de óleo cultivada no Estado do Pará.

Idade das plantas	Dose de $P_2O_5$	
	g planta <sup>-1</sup>	kg ha <sup>-1</sup>
Pré-plantio <sup>(1)</sup>	1.224	175
Ano do plantio	180	26
1º ano	270	39
2º ano	360	51
3º ano	450	64
4º ano	450	64
5º ano	495	71
6º ano	495	71
7º ano	630	90
8º ano	630	90
9º ano	630	90
10º ano em diante	630	90

Fonte: adaptado de Viégas e Botelho (2000).

<sup>(1)</sup>Dose de P aplicada como fosfato natural, a lançar logo após o enleiramento.

As doses de P recomendadas a partir do ano de plantio no Pará têm como base a aplicação do superfosfato triplo (Tabela 6) (VIÉGAS; BOTELHO, 2000). As quantidades de P recomendadas também se baseiam na análise de solo (Tabela 7) (VIÉGAS; BOTELHO, 2010).

**Tabela 7.** Doses de fósforo (P) recomendadas para a palma de óleo cultivada no Estado do Pará, em função do teor de P no solo.

Idade das plantas	<sup>(1)</sup> Teor de P no solo (mg dm <sup>-3</sup> )					
	0 - 10	11 - 20	> 20	0 - 10	11 - 20	> 20
	Dose de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>			Dose de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		
	g planta <sup>-1</sup>			kg ha <sup>-1</sup>		
Ano do plantio	180	100	50	26	14	7
1º ano	270	190	100	39	27	14
2º ano	360	280	190	51	40	27
3º ano	450	350	250	64	50	36

Fonte: adaptado de Viégas e Botelho (2010).

<sup>(1)</sup>Extrator Mehlich 1

## Métodos de aplicação do fósforo para palma de óleo

A eficiência dos FNs é influenciada pelo método de aplicação, sendo a aplicação a lanço em área total com incorporação no solo o modo mais adequado, pois aumenta a taxa de dissolução do fertilizante e promove maior contato das raízes com o fosfato natural (KHASAWNEH; DOLL, 1978; CHIEN; MENON, 1995).

No Brasil a dose de P comumente aplicada no momento do plantio das mudas de palma de óleo no campo é de 21 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, para densidade de 143 plantas ha<sup>-1</sup>, que corresponde à aplicação de 500 g/cova de fosfato natural reativo contendo aproximadamente 30% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> total. Esta é a única aplicação de P com incorporação no solo durante todo o período de cultivo da palma de óleo, que é de aproximadamente 25 anos (Figuras 2, 3 e 4).

Foto: Vinícius Ide Franzini



**Figura 2.** Fosfato natural reativo em sacos plásticos junto do piquete, onde será aberta a cova para plantio da muda de palma de óleo.

Foto: Vinícius Ide Franzini



**Figura 3.** Aplicação do fosfato natural reativo na cova de plantio.



**Figura 4.** Fosfato natural reativo aplicado no fundo e nas laterais da cova.

Após o plantio das mudas no campo, todas as adubações fosfatadas são realizadas aplicando-se os fertilizantes superficialmente no solo, de forma manual na coroa das plantas em plantios jovens (Figuras 5 e 6) ou mecanizada em área total em plantios adultos (Figura 7).

O P geralmente é aplicado como fosfatos naturais reativos e em doses que variam amplamente entre as empresas produtoras no Estado do Pará. Esse manejo da adubação fosfatada na palma de óleo provavelmente apresenta baixa eficiência e parece não ser boa alternativa econômica. Observam-se nas Figuras 8 e 9 detalhes da aplicação de fertilizantes realizada na superfície do solo em plantio jovem e em área de plantio adulto, respectivamente.

Foto: Vinícius Ide Franzini



**Figura 5.** Aplicação manual de fosfato natural reativo em plantio jovem de palma de óleo.



Foto: Vinicius Ide Franzini

**Figura 6.** Aplicação manual de superfosfato triplo em plantio jovem de palma de óleo.



Foto: Vinicius Ide Franzini

**Figura 7.** Aplicação mecanizada de fertilizante fosfatado em plantio adulto de palma de óleo.

Foto: Vinícius Ide Franzini



**Figura 8.** Fertilizante NPK aplicado manualmente na superfície do solo em plantio jovem de palma de óleo.

Foto: Vinícius Ide Franzini



**Figura 9.** Fertilizante fosfatado farelado aplicado de modo mecanizado na superfície do solo, sem incorporação, em plantio adulto de palma de óleo.

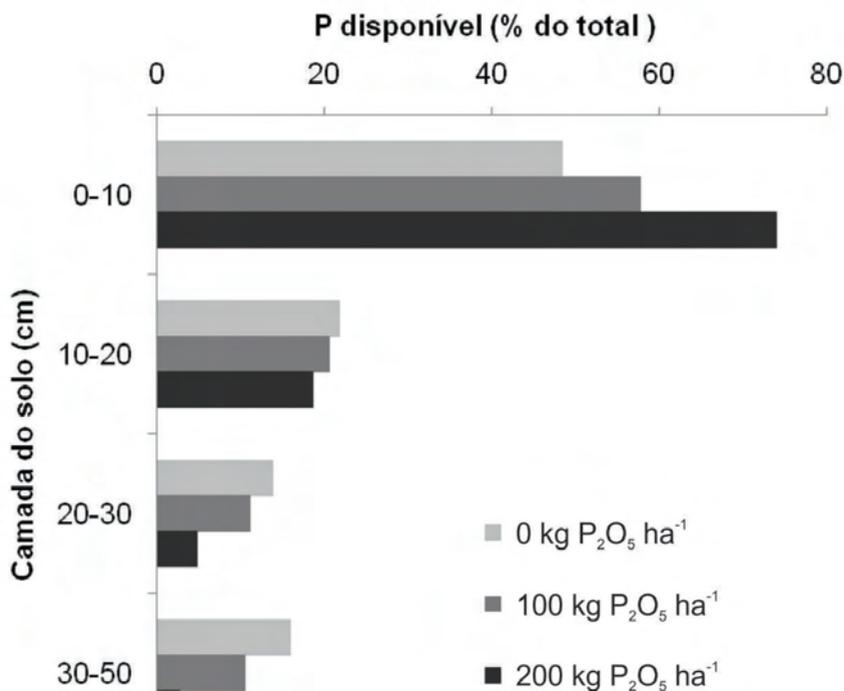
A aplicação de fertilizantes fosfatados na superfície de solos cultivados com palma de óleo aumenta os teores de P na camada superficial do solo, mas não aumenta os teores desse nutriente em camadas mais profundas do solo, onde há predomínio do sistema radicular. Nesse sentido, observou-se em estudo que a aplicação superficial contínua na coroa da planta, durante 17 anos, do fosfato natural das Ilhas Christmas, com dose de até  $200 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$ , resultou em acúmulo de P na camada superficial do solo (0-10 cm de profundidade), mas não aumentou os teores desse nutriente em camadas subsuperficiais (ZAHARAH et al., 1985) (Tabela 8).

**Tabela 8.** Efeito da aplicação superficial de doses de fosfato natural no teor de fósforo disponível (Olsen) no solo em diferentes profundidades.

Profundidade do solo (cm)	Teor de P disponível mg $\text{kg}^{-1}$ de P		
	Doses de $\text{P}_2\text{O}_5$		
	0	100	200
	kg $\text{ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$		
0-10	9,1 a	17,6 a	114,4 b
10-20	4,1 a	6,3 a	28,8 b
20-30	2,6 a	3,4 a	7,4 b
30-50	3,0 a	3,2 a	4,1 a

Fonte: Zaharah et al. (1985). Médias seguidas de mesma letra nas linhas não diferem entre si ( $P = 0,05$ ).

Nesse estudo foi observado que mais de 70% do total de P disponível no solo, proveniente da aplicação de  $200 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  na superfície do solo, durante 17 anos, permaneceu na camada de 0 cm a 10 cm de profundidade no solo (Figura 10) (ZAHARAH et al., 1985).



**Figura 10.** Efeito da aplicação superficial de doses de fosfato natural no teor de fósforo disponível (Olsen) no solo em diferentes profundidades.

Fonte: Zaharah et al. (1985).

A maior parte do P acumulado no solo, principalmente até 10 cm de profundidade, foi encontrado nas formas de P-Ca > P-Fe > P-Al (Tabela 9) (ZAHARAH et al., 1985). A maior quantidade de P ligado a Ca no solo é justificada por o FN das Ilhas Christmas apresentar formas cálcicas de fosfatos em sua composição. Além disso, os altos teores de P ligado ao Ca na camada de 0 cm a 10 cm de profundidade também permitem inferir que não houve dissolução de grande parte do fosfato natural aplicado ao solo.

**Tabela 9.** Efeito da aplicação superficial de doses de fosfato natural nas frações de fósforo no solo em diferentes profundidades.

Profundidade do solo cm	Doses de $P_2O_5$ kg ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>								
	0	100	200	0	100	200	0	100	200
	Frações de P								
	P-Ca			P-Fe			P-Al		
	mg kg <sup>-1</sup> de P								
0-10	456	1051	2398	80	424	581	11	69	43
10-20	21	31	38	42	51	77	6	10	17
20-30	9	10	15	37	48	48	5	6	17
30-50	5	6	9	31	42	45	5	6	12

Fonte: Zaharah et al. (1985).

A eficiência da adubação fosfatada realizada anualmente para a palma de óleo nessas condições provavelmente é muito baixa, pois o P liberado dos fertilizantes pode ser fixado no solo em condições de acidez. Adicionalmente, em função da baixa mobilidade do P no solo, os fertilizantes fosfatados deveriam ser aplicados em maior volume de solo passível de ser explorado pelo sistema radicular.

A única oportunidade de se realizar adequada correção da acidez do solo e adubação fosfatada corretiva é antes do plantio das mudas no campo. Em plantios estabelecidos, principalmente nos de maior idade, a incorporação de corretivos e fertilizantes ao solo poderá causar danos ao sistema radicular, resultando em prejuízos ao desenvolvimento das plantas e à produtividade de cachos, além de causar ferimentos que podem favorecer o aparecimento de doenças.

## Variação genotípica da palma de óleo quanto à eficiência de absorção de fósforo

Os genótipos de palma de óleo possuem diferentes capacidades de absorção de P do fertilizante, ou seja, a eficiência da adubação fosfatada também depende do material genético utilizado (TAN et al., 2010). A eficiência de absorção de P em mudas de nove genótipos de palma de óleo, provenientes da empresa Sime Darby Research Sendirian Berard, da Malásia, foi avaliada pelo método da diluição isotópica do radioisótopo  $^{32}\text{P}$ . Mudas de 5 meses foram transplantadas em sacos contendo 30 kg de solo e foi aplicada a dose de 6,7 g de P como FNR de Gafsa, em cada saco (TAN et al., 2010). A eficiência de absorção de P pelas mudas foi avaliada durante 6 meses, totalizando, portanto, 11 meses de desenvolvimento das mudas (TAN et al., 2010).

A eficiência de absorção de P (EA) pelas mudas de nove genótipos de palma de óleo, definida pela equação 1, variou de 0,65 % a 2,29% (Tabela 10).

**Tabela 10.** Eficiência de absorção de fósforo do fosfato natural reativo de Gafsa por genótipos de mudas de palma de óleo.

Genótipos	Eficiência de absorção de P (%)
1/39 x 2318/17	0,65
23/34 x 2367/17	0,76
14/34 x 2367/17	0,78
33/17 x 2318/17	1,10
9/103 x 2318/17	1,50
25/49 x 2367/17	1,74
2/209 x 2367/17	1,78
19/19 x 2367/17	1,93
2/35 x 2367/17	2,29

A eficiência de absorção de P pelos genótipos de palma de óleo variou de 2,29% a 0,65%. Assim, o material genético mais eficiente apresentou eficiência 3,5 vezes superior à do de menor eficiência (Tabela 10). Apesar dessa variação, ressalta-se que a eficiência da adubação fosfatada foi muito baixa para todos os genótipos de palma, pois mesmo o genótipo mais eficiente na absorção de P (2/35 x 2367/17) aproveitou somente cerca de 2% da dose de P aplicada como FNR de Gafsa. Nota-se que esse valor é muito inferior à eficiência de 20% comumente adotada para a adubação fosfatada. O restante do P aplicado na adubação (98% da dose de P) permaneceu no solo, de modo que parte desse P residual poderá ser absorvido pelas plantas posteriormente e outra parte fixado no solo, tornando-se indisponível às plantas. A correção da acidez do solo, associada ao uso de fontes de P de alta solubilidade de água, possivelmente resultaria em maior eficiência da adubação fosfatada.

Tan et al. (2010) relatam que mudas de genótipos de palma de óleo mais eficientes na absorção de P são alternativa para reduzir as perdas dos fertilizantes fosfatados aplicados na fase de viveiro. Além disso, futuramente, a variabilidade genética da palma de óleo quanto à eficiência de absorção de P também poderia ser utilizada em programas de melhoramento genético, visando à obtenção de genótipos mais eficientes na absorção e utilização de nutriente.

## **Alternativas para manejo da adubação fosfatada para palma de óleo**

Conforme apresentado anteriormente, a única aplicação de P incorporado na camada de solo com predomínio do sistema radicular da palma de óleo é realizada na cova, geralmente na dose de aproximadamente 20 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, como fosfato natural reativo. As demais aplicações de P são realizadas na superfície do solo sem incorporação, provavelmente resultando em baixa eficiência.

Nesse item são apresentadas quatro possíveis alternativas de manejo para aumentar a eficiência da adubação fosfatada na palma de óleo, com base em princípios de fertilidade do solo. São elas: (i) calagem e uso de fontes de P de alta solubilidade em água; (ii) covas de dimensões maiores para aumentar a dose de P/cova; (iii) aplicação de P em sulco de plantio; (iv) adubação fosfatada corretiva (fosfatagem).

A utilização de covas de maiores dimensões com aplicação maior de P como fertilizantes fosfatados solúveis no plantio também é alternativa, mas provavelmente seu efeito se limitará ao crescimento inicial das plantas, pois as raízes da palma de óleo rapidamente ultrapassam as dimensões das covas.

A aplicação de P em sulcos de plantio, assim como realizado em outras culturas perenes, poderia contribuir para aumentar os teores de P disponível abaixo das raízes da palma de óleo. Contudo, atualmente, o plantio é realizado exclusivamente em covas.

Acredita-se que a fosfatagem provavelmente é mais eficiente que a prática da adubação fosfatada utilizada atualmente nos palmares e, talvez, seja a única alternativa imediata para corrigir os baixos teores de P disponível no solo nas camadas subsuperficiais, onde há predomínio de raízes da palma de óleo. No entanto, são necessários estudos para avaliar a eficiência da fosfatagem, assim como sua viabilidade econômica para os cultivos de palma de óleo.

A fosfatagem é a aplicação de fertilizantes fosfatados em área total ou em faixas, seguida de incorporação ao solo, na fase de preparo do solo, antes do plantio da palma de óleo. Esse manejo aumenta o volume de solo corrigido com P e favorece a absorção desse nutriente pelas raízes das plantas. As principais fontes de P utilizadas na fosfatagem são os fosfatos naturais reativos ou os fertilizantes fosfatados de alta solubilidade em água (superfosfatos). A fosfatagem é recomendada, preferencialmente, para solos com teor baixo ou muito baixo de P.

## Considerações finais

Com o aumento do interesse do cultivo da palma de óleo no Brasil e, sendo a adubação um dos itens do custo de produção mais importante, é fundamental o estudo do manejo da adubação, com ênfase ao fósforo.

Conforme demonstrado, a ausência de correção da acidez do solo e aplicação superficial de fertilizantes fosfatados, principalmente como fosfatos naturais, no cultivo da palma de óleo parece não serem práticas adequadas. Para tanto, estudos regionais devem ser realizados com o objetivo de aumentar a eficiência da adubação fosfatada em palma de óleo no Brasil. Entre os principais fatores a serem avaliados, enquadram-se a correção da acidez do solo, fontes e doses de P, método de aplicação dos fertilizantes fosfatados e a seleção de materiais genéticos mais eficientes na absorção de P. O aumento da eficiência da adubação fosfatada implicará em aumentos de produtividade da palma de óleo com reflexos nos custos com fertilizantes.

## Referências

ANDA, M.; SHAMSHUDDIN, J.; FAUZIAH, C. I.; SYED OMAR, S. R. Mineralogy and factors controlling charge development of three Oxisols developed from different parent materials. **Geoderma**, v. 143, n. 1/2, p. 153-167, 2008.

ALCARDE, J. C. Fertilizantes. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. 1017 p. il. 1. edição.

ANGHINONI, I. Fatores que interferem na eficiência da adubação fosfatada. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S.(Ed.). **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: Potafos, 2004. p.537-562.

AUXTERO E. A.; SHAMSHUDDIN, J. Growth of oil palm (*Elaeis Guineensis*) seedlings on acid sulfate soils as affected by water regime and aluminum. **Plant and Soil**, v. 137, n. 2, p. 243-257, 1991.

BRASIL. Instrução Normativa n°. 5, de 23/02/2007. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 01 mar. 2007. Seção 3, p. 20. Disponível em: <http://www.jusbrasil.com.br/diarios/473340/dou-secao-3-01-03-2007-pg-20/pdfView>. Acesso em: 25 nov. 2012.

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.

CANTARUTTI, R. B.; BARROS, N. F.; MARTINEZ, H. E. P.; NOVAIS, R. F. Avaliação da fertilidade de solo e recomendação de fertilizantes. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Ed.).

**Fertilidade do solo.** Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. 1017 p. il. 1. edição. p.769-850.

CHEPOTE, R. E.; VALLE, R. R.; SANTANA, C. J. L. de. Resposta do dendê à adubação mineral. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 12, n. 3, p. 257-262, 1988.

CHIEN, S. H.; MENON, R. G. Factors affecting the agronomic effectiveness of phosphate rock for direct application. **Fertilizer Research**, v.41, n. 3, p.227-234, 1995.

CLAESSEN, M. E. C. (Org.). **Manual de métodos de análise de solo.** 2. ed. rev. atual. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPQ, 1997. 212 p. il. (EMBRAPA-CNPQ. Documentos, 1).

COMTE, I.; COLIN, F.; WHALEN, J. K.; GRÜNBERGER, O.; CALIMAN, J. P. Agricultural practices in oil palm plantations and their impact on hydrological changes, nutrient Fluxes and water quality in Indonesia: a review. In: SPARKS, D. L. (Ed.). **Advances in Agronomy**, [Amsterdam]: Academic Press, 2012. v. 116, p. 71-124.

CORLEY, R. H. V.; TINKER, P. B. **The oil palm.** 4th ed. Oxford: Blackwell Science, 2003. 562 p.

CRISTANCHO, J. A. R.; HANAFI, M. M.; OMAR, S. R. ; RAFII, M. Y.; Alleviation of aluminum in acidic soils and its effect on growth of hybrid and clonal oil palm seedlings. **Journal of Plant Nutrition**, v. 34, n. 3, p. 387-401, 2011a.

CRISTANCHO, R. J. A.; HANAFI, M. M.; SYED OMAR, S. R.; RAFII, M. Y. Alleviation of soil acidity improves the performance of oil palm progenies planted on an acid Ultisol. **Acta Agriculturae Scandinavica Section B - Soil and Plant Science**, v. 61, n. 6, p. 487-498, 2011b.

EVANS, E. E. Soil test calibration. In: BROWN, J. R.; BATES, T. E.; VITOSH, M. L. (Ed.). **Soil testing: Sampling, correlation, calibration and interpretation.** Madison: Soil Science Society of America, 1987. p.23-29. (Special publication, 21).

FERTILIZER use by crop in Malaysia: land and plant nutrition management service land and water development division. Rome: FAO,. 2004. Disponível em:  
< <ftp://ftp.fao.org/agl/agll/docs/fertusemalaysia.pdf> > . Acesso em: 09 out. 2012.

FERTILIZER use by crop in Indonesia: land and plant nutrition management service land and water development division. Rome: FAO, 2005. Disponível em:  
< <ftp://ftp.fao.org/agl/agll/docs/fertuseindonesia.pdf> > . Acesso em: 09 out. 2012.

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

FOSTER, H. L.; MOHAMMED, A. T.; MOHD, T. D.; ZIN, Z. Z. **Oil palm yield response to P fertilizer in Peninsular Malaysia**. Wallingford: CABI, 1988. 8 p. (PORIM bulletin, 17).

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.

HANAFI, M. M.; SYERS, J. K. Agronomic and economic effectiveness of two phosphate rock materials in acid Malaysian soils. **Tropical Agriculture (Trinidad)**, v. 71, n. 4, p. 254-259, 1994.

HOROWITZ, N.; MEURER, E. J. Eficiência agrônômica dos fosfatos naturais. In: In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S.(Ed.). **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: Potafos, 2004.. p.665-688.

KHASAWNEH, F. E.; DOLL, E. C. The use of phosphate rock for direct application to soils. In: BRADY, N. C. (Ed.). **Advances in Agronomy**, [Amsterdam]: Academic Press, 1978. v.30, p.159-206,

LINDSAY, W. L. **Chemical equilibria in soils**. New York: J. Wiley & Sons, 1979. 449 p.

MACÊDO, J. L. V.; RODRIGUES, M. R. L. Solos da Amazônia e o cultivo 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. 73-87.

- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2nd London: Elsevier, 1995. 889 p. il.
- MUNÉVAR, M. F. Fertilización de la palma de aceite para obtener altos rendimientos. **Palmas**, v. 22, p. 9-17, 2001.
- MUTERT, E. Suitability of Soils for Oil Palm in Southeast Asia. **Better Crops International**, v. 13, n. 1, p. 36-38, 1999.
- NG, S. K.; THAMBOO, S.; de SOUZA, P. Nutrient contents of oil palms in Malaya. II: Nutrients in vegetative tissues. **Malaysian Agricultural Journal**, v. 46, n. 3, p. 332-390, 1968.
- 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.
- OLLAGNIER, M.; OCHS, R. Management of mineral nutrition in industrial oil palm plantation. Fertilizers savings. **Oléagineux**, v. 36, n. 8/9, p. 409-421, 1981.
- PACHECO, A. R.; TAILLIEZ, B. J.; SOUZA, R. L. R.; LIMA, E. J. Les deficiences minerales du palmier à huile (*E. guineensis* Jacq.) dans la region de Belém, Pará (Brésil). **Oléagineux**, v. 40, n. 6, p. 295-309, 1985.
- PROCHNOW, L. I.; ALCARDE, J. C.; CHIEN, S. H. Eficiência agrônômica dos fosfatos totalmente acidulados. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. (Ed.). **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: Potafos, 2004. p.605-651.
- RAIJ, B. van; QUAGGIO, J. A. **Métodos de análise de solo para fins de fertilidade**. Campinas, Instituto Agrônômico, 1983. 31 p. (Boletim técnico, 81).
- RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Agrônômica Ceres: Potafos, 1991. 343 p.
- RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2011..420 p.

RAJAN, S. S. S.; WATKINSON, J. H.; SINCLAIR, A. G. Phosphate rocks for direct application to soils. In: SPARKS, D. L. **Advances in Agronomy**. [Amsterdam]: Academic Press, 1996. v. 57, p. 78-159.

RANKINE, I. R.; FAIRHURST, T. H. **Field handbook**: oil palm series: immature. Norcross: Potash & Phosphate Institute; Yogyakarta: PT Agrisoft Systems Indonesia, 2008. v. 2, 154 p.

RANKINE, I. R.; FAIRHURST, T. H. **Field handbook**: oil palm series: mature. Norcross: Potash & Phosphate Institute; Yogyakarta: PT Agrisoft Systems Indonesia. 2009. v. 3, 135 p.

RODRIGUES, M. do R. L.; AMBLARD, P.; SILVA, E. B. da; MACÊDO, J. L. V. de; CUNHA, R. N. V. da; TAVARES, A. M. **Avaliação do estado nutricional do dendezeiro**: análise foliar. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2002. 9 p. (Embrapa Amazônia Ocidental. Circular técnica 11).

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. Acompanha 1 CD-ROM e 1 DVD.

SHAMSHUDDIN, J.; DAUD, N. W. Classification and Management of Highly Weathered Soils in Malaysia for Production of Plantation Crops. In: GÜNGÖR, E. B. Ö. (Ed.). **Principles, application and assessment in soil science**, 2011, p. 75-86.

SOUSA, D. M. G. de; LOBATO, E. Adubação fosfatada em solos da região do Cerrado. **Informações Agrônomicas**, n. 102, p. 1-16, 2003. Encarte técnico.

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

TAN, N.P.; ZAHARAH, A.R.; SITI NOR AKMA, A.; JAMALUDDIN, N. Evaluating the variability of Gafsa phosphate rock uptake by oil palm genotypes at nursery stage.

**Pertanika Journal of Tropical Agricultural Science**, v. 33, n, 2, p. 223-231, 2010.

VEIGA, A. S.; SINIMBÚ, S. E. S.; RAMOS, E. J. A. **Sistema de adubação do dendezeiro por reposição de nutrientes exportados pelo cacho**. Belém, PA: DENPASA, 2001. 30 p.

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. de J. M.; BOTELHO, S. M. Recomendação de adubação e calagem para culturas industriais e perenes: dendezeiro. In: CRAVO, M. D. S.; VIÉGAS, I. de J. M.; BRASIL, E. C. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado do Pará**. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2010. p. 169-171. Cap. 2.

Von UEXKÜLL, H. R. **Oil Palm (*Elaeis guineensis* Jacq.)**. Watten Estate Road: E. & S.E. Asia Program for the Potash & Phosphate Institute/International Potash Institute, Singapore, 2007.

YUSDAR, H.; ANUAR, A. R.; HANAFI, M. M.; AZIZAH, H. Analysis of Phosphate Rock Dissolution Determining Factors Using Principal Component Analysis in Some Acid Indonesian Soils. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 38, n. 1/2, p. 273-282, 2007.

ZAHARAH, A. R.; HAWA, J.; SHARIFUDDIN, H. A. H. Accumulation and migration of phosphate applied as rock phosphate in an oil palm plantation. **Pertanika**, v. 8, n. 3, p. 317-321, 1985.

ZAHARAH, A. R.; ZULKIFLI, H.; SHARIFUDDIN, H. A. H. Evaluating the efficacy of various phosphate fertilizer sources for oil palm seedlings. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 47, n. 2, p. 3-98, 1997.

**Embrapa**

---

**Amazônia Oriental**

Ministério da  
**Agricultura, Pecuária  
e Abastecimento**

G O V E R N O F E D E R A L  
**BRASIL**  
PAÍS RICO É PAÍS SEM POBREZA

CGPE 10263