

# SUBSTRATO E ADUBAÇÃO FOSFATADA PARA A PRODUÇÃO DE MUDAS CLONAIIS DE CACAU<sup>(1)</sup>

José Olímpio de Souza Júnior<sup>(2)</sup>, Quirino Augusto de Camargo Carmello<sup>(3)</sup> & George Andrade Sodré<sup>(2, 4)</sup>

## RESUMO

Para avaliar o efeito de substratos e da adubação fosfatada sobre a produção de mudas de cacauzeiro, bem como definir doses recomendáveis e nível crítico foliar de P, fez-se um experimento fatorial 5 x 5 + 1: cinco substratos (misturas de fibra de coco (FC) e Plantmax florestal estaca<sup>®</sup>), cinco doses de P no plantio (de 0 a 800 mg dm<sup>-3</sup>) e um tratamento adicional (P aplicado aos 30 dias). As parcelas iniciais e úteis continham, respectivamente, 27 estacas e 12 mudas (uma estaca/muda por tubete). A partir do 62º dia, aplicaram-se adubações semanais com N e K, e aos 120 dias, com P (20 mg dm<sup>-3</sup>), em todos os tratamentos. Aos 150 dias foram avaliados: diâmetro, altura, área foliar, massa de matéria seca da parte aérea e das raízes (finas e grossas), concentração e conteúdo de nutrientes na planta. A mortalidade das mudas não foi influenciada pelos tratamentos. A adubação com P em cobertura aumentou sua disponibilidade e sua absorção, mas não o crescimento das mudas. As variáveis biométricas e nutricionais responderam aos tratamentos, sendo os melhores resultados obtidos com 30 a 55 % de FC e doses de P entre 136 e 275 mg dm<sup>-3</sup>. O nível crítico foliar de P foi de 1,75 g kg<sup>-1</sup>.

**Termos de indexação:** *Theobroma cacao*, nutrição, nível crítico, cultivo sem solo.

## SUMMARY: POTTING MIX AND PHOSPHATE FERTILIZATION FOR PRODUCTION OF ROOTED COCOA CUTTINGS

*The effect of potting mix and phosphate fertilization on the production of rooted cocoa tree cuttings was evaluated and recommended rates and critical foliar P levels were determined*

---

<sup>(1)</sup> Recebido para publicação em março de 2009 e aprovado em outubro de 2010.

<sup>(2)</sup> Departamento de Ciências Agrárias e Ambientais, Universidade Estadual de Santa Cruz – UESC. km 16, Rod. Ilhéus/Itabuna, CEP 45652-000 Ilhéus (BA). E-mail: olimpio@uesc.br

<sup>(3)</sup> Departamento de Ciência do Solo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo – ESALQ/USP. Av. Pádua Dias 11, Cx. Postal 09, CEP 13418-900 Piracicaba (SP). E-mail: qaccarme@esalq.usp.br

<sup>(4)</sup> Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira, Centro de Pesquisa do Cacau – CEPLAC/CEPEC. km 22, Rod. Ilhéus/Itabuna, CEP 45600-000 Itabuna (BA). E-mail: sodre@cepec.gov.br

based on a factorial  $5 \times 5 + 1$  experiment: five potting medium (coconut fiber – CF and Plantmax® mix), five P rates at planting (0 to  $800 \text{ mg dm}^{-3}$ ) and an additional P treatment (applied on the 30<sup>th</sup> day). Each plot contained 27 cuttings, of which 12 rooted cuttings were evaluated. From the 62<sup>nd</sup> day onwards, N and K fertilization was weekly applied as well as a P fertilization on the 120<sup>th</sup> day ( $20 \text{ mg dm}^{-3}$ ), to all treatments. The diameter, height, leaf area, shoot and root (fine and thick) dry matter, nutrient concentration and content in plants were evaluated on the 150<sup>th</sup> day. Cutting mortality was not influenced by the treatments. Phosphorus top dressing increased P assimilation and absorption, but not the growth of the rooted cuttings. The biometric and nutrition variables responded to treatments; best results were obtained with 30–55 % of CF and P rates between 136 and  $275 \text{ mg dm}^{-3}$ . The foliar critical level of P was  $1.75 \text{ g kg}^{-1}$ .

*Index terms:* Theobroma cacao, plant nutrition, critical level, soilless cultivation.

## INTRODUÇÃO

A cacauicultura do sudeste da Bahia vem atravessando nos últimos anos uma crise de produção, que foi agravada a partir de 1989, com o surgimento e a disseminação rápida da doença vassoura-de-bruxa. O cacauieiro (*Theobroma cacao* L.) ainda é a principal cultura agrícola dessa região e representa a principal receita da economia de aproximadamente 100 municípios.

Para auxiliar a recuperação e a renovação da cacauicultura dessa região, foi criado o Instituto Biofábrica de Cacau (IBC), que tem como principal função multiplicar e distribuir materiais botânicos de cacau com potencial produtivo elevado e tolerância à vassoura-de-bruxa, selecionados pela Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira (CEPLAC) e por produtores. Esse material tem sido usado para substituir as plantas enfermas, adensar áreas e para o plantio das novas lavouras.

As mudas de cacau, oriundas do processo atual de produção, não vêm sendo disponibilizadas aos produtores em condições consideradas ótimas com relação aos aspectos nutricionais; dentre esses problemas, destacam-se a toxidez de Fe (Marrocos & Sodré, 2004) e a necessidade de calibração de P (Souza Jr. et al., 2008). A fonte desse excesso de Fe pode ser o Plantmax® (Pmax), que juntamente com a fibra de coco (FC), na proporção volumétrica de 1:1, compõem o substrato utilizado no IBC, para a produção de mudas de cacau (Marrocos & Sodré, 2004).

  comum o uso de fertilizantes fosfatados em adubação pré-plantio em substratos (Williams & Nelson, 1996; Bataglia & Furlani, 2004), porém as doses recomendadas são bastante variáveis. Para produ o de mudas de espécies florestais, como *Eucalyptus* e *Pinus*, em tubetes, os manuais nacionais recomendam doses de P que variam de  $130 \text{ mg dm}^{-3}$  (Goncalves et al., 1997) a  $655 \text{ mg dm}^{-3}$  (Barros & Novais, 1999).

O objetivo deste trabalho foi avaliar a sobrevivência, o crescimento e a nutri o de mudas de cacauieiro cultivadas em substratos formados por misturas de fibra de coco e Plantmax® e adubadas com superfosfato

triplo. Avaliou-se também o efeito da época de fertiliza o fosfatada, bem como foi determinado o substrato mais eficiente e econ mico, as doses recomendáveis e o nível crítico foliar de P.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado em julho de 2005, em viveiro de produ o de mudas, com as laterais e o teto de tela plástica preta com 50 % de sombreamento, no Instituto Biofábrica de Cacau (IBC), em Ilhéus, Bahia.

Foi utilizado um fatorial  $5 \times 5 + 1$  (cinco substratos, cinco doses de P no plantio e um tratamento adicional), em delineamento de blocos ao acaso, com três repeti es. Os substratos utilizados foram cinco propor es (20:80; 35:65; 50:50; 65:35 e 80:20 %, em volume) dos substratos fibra de coco (FC) e Plantmax florestal estaca® (Pmax – substrato comercial, composto de casca de p nus compostada, vermiculita expandida, carvão granulado e turfa).

As doses de P no plantio foram: 0; 100; 200; 400 e  $800 \text{ mg dm}^{-3}$ , na forma de superfosfato triplo (SFT) mo do, aplicado e homogeneizado em um volume de substrato equivalente ao do tubete. No tratamento adicional utilizou-se o substrato com 50 % de FC e 50 % de Pmax, e  $200 \text{ mg dm}^{-3}$  de P aplicado em cobertura aos 30 dias após o estaqueamento.

Os substratos originais foram peneirados, em malha de 5 mm, e caracterizados química e fisicamente (Quadros 1 e 2). Foram determinados pH, condutividade eletrolítica (CE) e teor de nutrientes, pelo método extrato em  $\text{H}_2\text{O}$  1:1,5 v/v (Sonneveld et al., 1974), CTC e densidade (Brasil, 2006) e curva de reten o de  gua (De Bood & Verdonck, 1972). Em amostra seca ao ar e peneirada (2,0 mm), determinaram-se também os teores disponíveis por métodos de solo, de acordo com Embrapa (1999): resina de troca iônica (P);  $\text{KCl } 1,0 \text{ mol L}^{-1}$  (Ca, Mg e Al); Mehlich-1 (K);  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ ,  $500 \text{ mg L}^{-1}$  de P ( $\text{S-SO}_4^{2-}$ ); DTPA (Cu, Fe, Mn e Zn) e  $\text{CaCl}_2$   $1,25 \text{ g L}^{-1}$  a quente (B). Para a análise dos teores totais, procedeu-se   moagem da amostra, seguida por digestão nítrico-perclórica, de acordo com Embrapa (1999).

**Quadro 1. Teores de nutrientes solúveis, disponíveis e totais dos substratos fibra de coco (FC) e Plantmax florestal estaca® (Pmax)**

Substrato	P	S	K	Ca	Mg	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	Teor solúvel <sup>(1)</sup> mg L <sup>-1</sup>									
Pmax	1,5	161	91	115	51	0,07	0,04	0,10	1,19	0,04
FC	7,9	2	288	1	4	0,19	0,01	0,02	0,03	0,01
	Teor disponível <sup>(2)</sup>									
	— mg dm <sup>-3</sup> —		— mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> —			— mg dm <sup>-3</sup> —				
Pmax	203	868	17	129	65	1,2	0,7	98	38	5,0
FC	16	5	29	3	10	0,8	0,1	1	2	1,0
	Teor total <sup>(3)</sup>									
	— g kg <sup>-1</sup> —				— mg kg <sup>-1</sup> —					
Pmax	1,6	5,7	4,2	7,0	12,7	8	21	1462	5	207
FC	0,4	0,5	13,4	0,8	1,6	24	2	657	35	48

<sup>(1)</sup> Teor solúvel: extrato de H<sub>2</sub>O 1:1,5 v/v (Sonneveld et al., 1974). <sup>(2)</sup> Teor disponível: P (resina de troca iônica); S-SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> (Ca(H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>, 500 mg L<sup>-1</sup> de P); K (Mehlich-1), Ca e Mg (KCl 1,0 mol L<sup>-1</sup>); Cu, Fe, Mn e Zn (DTPA) e B (H<sub>2</sub>O em CaCl<sub>2</sub> 1,25 g L<sup>-1</sup> a quente), de acordo com Embrapa (1999). <sup>(3)</sup> Teor total: digestão nítrico-perclórica, de acordo com Embrapa (1999).

**Quadro 2. Análises<sup>(1)</sup> física e química dos substratos fibra de coco (FC) e Plantmax florestal estaca® (Pmax)**

Substrato	pH	CE	CTC	DS	PT	EA	AFD	AT	AD
		dS m <sup>-1</sup>	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	kg dm <sup>-3</sup>			— m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> —		
Pmax	5,2	1,1	289	0,45	0,63	0,04	0,18	0,08	0,27
FC	5,6	0,8	34	0,06	0,75	0,12	0,33	0,06	0,39

<sup>(1)</sup> Métodos: pH e CE (condutividade eletrolítica), Sonneveld et al. (1974); CTC e DS (densidade de material seco), BRASIL (2006); PT (porosidade total), EA (espaço de aeração), AFD (água facilmente disponível), AT (água de tamponamento) e AD (água disponível), obtidos pela curva de retenção de água, de acordo com De Bood & Verdonck (1972).

No extrato H<sub>2</sub>O 1:1,5 v/v, os elementos foram dosados por espectrometria de emissão atômica (ICP-OES). Nos demais extratos, os elementos foram assim dosados: colorimetria (P e B); turbidimetria (S); fotometria de chama (K); e espectrometria de absorção atômica (Ca, Mg, Cu, Fe, Mn e Zn).

A parcela inicial foi formada por uma bandeja com 27 tubetes com 288 cm<sup>3</sup> de substrato e uma estaca de cacauero do clone PH 16 por tubete. Utilizaram-se estacas apicais semi-herbáceas, de ramos plagiotrópicos, com aproximadamente 18 cm de comprimento, contendo três folhas, com 1/2 a 2/3 do limbo foliar remanescente. A base das estacas foi tratada com 6 g kg<sup>-1</sup> de ácido indolbitírico (AIB) em talco; sendo a profundidade de estaqueamento em torno de 6 cm.

A partir do 62º dia foram feitas adubações semanais com 40 e 20 mg dm<sup>-3</sup> de N e de K, respectivamente, na forma de ureia e cloreto de potássio, num total de 10 adubações. Aos 120 dias, fez-se uma adubação complementar, para todos os tratamentos, com 20 mg dm<sup>-3</sup> de P, na forma de fosfato monoamônico. Os fertilizantes foram aplicados na forma líquida, sendo utilizados 2,0 mL da solução por tubete.

O controle fitossanitário, no total de nove aplicações durante os 150 dias de cultivo, seguiu o adotado

no sistema de produção do IBC, com a utilização de fungicidas, acaricidas e inseticidas, à base de mancozeb, óxido cuproso, endosulfan e methamidophos, com, respectivamente, oito, duas, três e duas aplicações.

A irrigação também foi semelhante à adotada pelo IBC: nebulização intermitente automática. O sistema funcionou das 6 às 18 h, sendo desligado nos períodos com chuva. Utilizaram-se bicos com vazão teórica de 40 L h<sup>-1</sup> e área irrigada de 4 m<sup>2</sup> por bico. Nos primeiros 60 dias, a irrigação foi efetuada a cada 5 min; posteriormente, o número de irrigações foi gradativamente reduzido, até alcançar três irrigações diárias. O tempo de irrigação foi ajustado de acordo com a fase de desenvolvimento das mudas e as condições climáticas.

A sobrevivência das estacas/mudas foi avaliada aos 90, 120 e 150 dias. A parcela útil foi mantida com 12 mudas, sendo as demais plantas identificadas e mantidas como sobressalentes para possível reposição na parcela útil, se necessário.

Aos 150 dias, avaliaram-se: diâmetro da haste principal, com auxílio de paquímetro digital, tomando duas medidas perpendiculares entre si e à distância de aproximadamente 1 cm do ponto de brotamento; e

altura da haste principal, medida com régua. A parte aérea das plantas foi colhida (apenas os ramos emitidos), sendo separada em: folha diagnóstica (terceira folha do primeiro lançamento maduro), demais folhas e caule. A área foliar foi medida com auxílio de medidor de área foliar.

O material vegetal da parte aérea (folhas e caule) foi lavado com rápida imersão em: água corrente, solução de detergente neutro  $1 \text{ g L}^{-1}$ , água corrente, solução de HCl  $30 \text{ mL L}^{-1}$  e, finalmente, com duas lavagens com água destilada. Quanto à folha diagnóstica, após a solução de detergente, fez-se a lavagem mecânica, esfregando-se levemente a superfície da folha com chumaço de algodão embebido com a solução de detergente. Optou-se por essa lavagem vigorosa devido ao uso de agrotóxicos que continham nutrientes.

O sistema radicular foi lavado e, após seco, removeu-se o substrato que ainda permanecia aderido às raízes, as quais foram visualmente separadas em raízes finas e grossas; o limite médio para separação desses dois grupos foi em torno de 0,4 mm de diâmetro.

Todas as amostras vegetais foram secas em estufa com circulação forçada de ar a  $65 \text{ }^\circ\text{C}$ , por 3 dias; em seguida, foram pesadas para se obter: massa de matéria seca da parte aérea (MSPA), que foi a soma das matérias secas das folhas e do caule; massa de matéria seca das raízes finas (MSRF), das raízes grossas (MSRG) e das raízes total (MSRT = MSRF + MSRG); e massa de matéria seca da planta (MSPL = MSPA + MSRT). Posteriormente, as amostras de folhas e caule foram moídas e analisadas quimicamente, de acordo com Embrapa (1999).

Os resultados foram submetidos à análise de variância, sendo os fatores quantitativos, doses de P e proporções de FC no substrato, submetidos à análise de regressão, com coeficientes linear, quadrático ou raiz-quadrático e interação. Foram aceitos os modelos que apresentaram todos os coeficientes significativos a até 10 %, pelo teste F, e o maior coeficiente de determinação ajustado.

As doses recomendáveis de P e os níveis críticos na folha foram calculados para obter 99 % da produção máxima da MSPA, em combinações distintas de FC:Pmax, sendo identificado o custo mínimo entre as combinações dos insumos: substratos (fibra de coco e Plantmax florestal estaca®) e fertilizante fosfatado.

O tratamento adicional, P aplicado em cobertura aos 30 dias, foi analisado por contraste com o tratamento que recebeu a mesma dose de P no plantio, sendo os contrastes considerados significativos a até 5 % pelo teste F.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise química evidenciou que o Plantmax florestal estaca® (Pmax) é um substrato com maiores

teores de elementos solúveis, disponíveis e totais que os da fibra de coco (FC), exceto para K (Quadro 1), sendo um substrato com maior CTC (Quadro 2). Ambos os substratos possuem valores adequados de CE e de pH (Quadro 2), de acordo com classificação proposta por Baumgarten (2002).

No quadro 1, chamam a atenção os teores altos de Fe total e disponível no Pmax, fato também constatado por Marrocos & Sodré (2004), que também apontam correla o estreita entre as formas totais e solúveis de Fe em substratos utilizados na produ o de mudas de cacau, com conseqüente surgimento de problemas de toxidez desse elemento nas plantas.

O Pmax apresentou baixo espaço de aera o (macroporos) e densidade mais elevada; por sua vez, a FC mostrou ser um substrato pouco denso, mais poroso, com maior espaço de aera o e com maior capacidade de armazenamento de água disponível (Quadro 2), evidenciando ter bons atributos físicos (Abad et al., 2005).

A mortalidade média das mudas aos 90, 120 e 150 dias foi de 30, 35 e 36 %, respectivamente, valores superiores aos encontrados por Faria & Sacramento (2003) para três clones de cacau tratados com doses de AIB. Essa mortalidade elevada pode estar associada ao período inicial de cultivo (julho e agosto), em que foram observadas precipita es pluviais frequentes e temperaturas mais baixas. A sobrevivência das mudas não foi alterada pelos substratos, pelas doses ou épocas de aduba o com P.

A adi o de P aumentou todas as variáveis biométricas avaliadas até o ponto de produ o máxima, visto que foram observados efeitos linear e quadrático ou raiz-quadrático significativos do P (Figura 1a,b,c,e,f), exceto para a MSRF, em que o P apresentou apenas efeito linear negativo (Figura 1a), ou seja, o fertilizante fosfatado reduziu a produ o de raízes finas, fato também constatado por Mackay & Barber (1985) para densidade de raízes finas em plantas de milho. O fornecimento de P favoreceu mais o desenvolvimento da parte aérea que o sistema radicular e, entre as raízes, mais as grossas que as finas (Figura 1d).

A percentagem de FC no substrato gerou pontos de máxima produ o para MSPA, MSPL, diâmetro, altura e área foliar (Figura 1b, c, e, f) e não alterou a MSRF; entretanto, o aumento de FC no substrato incrementou a MSRG e, conseqüentemente, a MSRT (Figura 1a). Intera es significativas entre dose de P e percentagem de FC foram observadas para MSRT, MSPA, MSPL e área foliar (Figura 1a,b,f), evidenciando que o efeito de P depende do substrato utilizado.

As equa es de regressão selecionadas para altura e área foliar, apesar de significativas, tiveram coeficientes de determina o baixos (Figura 1e,f), indicando preditividade baixa desses modelos.

As produ es máximas para MSPA e diâmetro foram alcançadas com substrato com 43 % de FC e



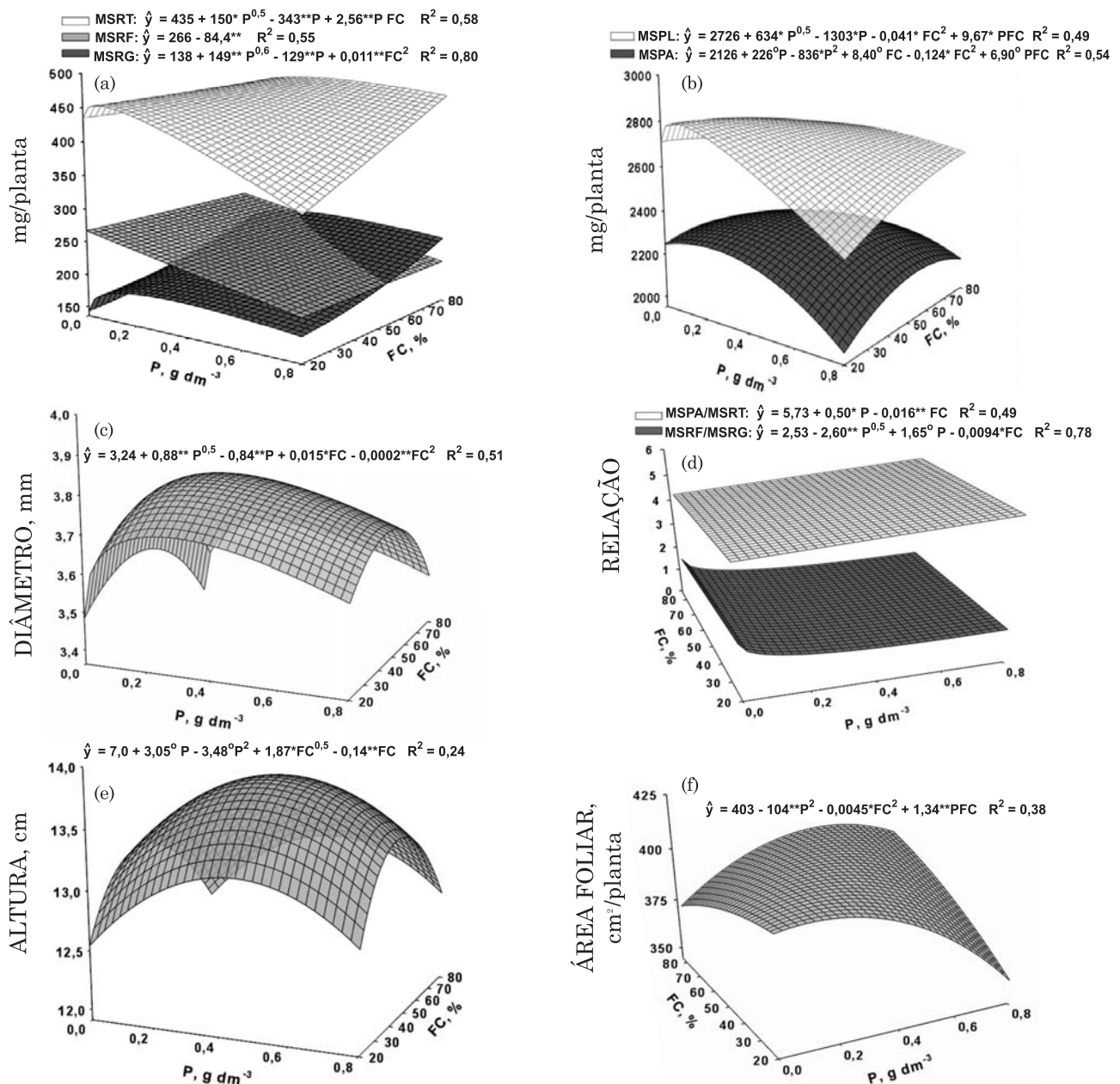


Figura 1. Variáveis biométricas de mudas de cacauero, clone PH 16, aos 150 dias, em função da dose de P e da percentagem de fibra de coco (FC) no substrato: (a) massa de matéria seca das raízes grossas – MSRG, raízes finas – MSRF e raízes totais – MSRT; (b) matéria seca da parte aérea – MSPA e da planta – MSPL; (c) diâmetro; (d) relação MSRF / MSRG e MSPA / MSRT; (e) altura; e (f) área foliar. <sup>o</sup>, <sup>\*</sup> e <sup>\*\*</sup>: significativo a 10, 5 e 1 % pelo teste F, respectivamente.

311 mg dm<sup>-3</sup> de P e 45 % de FC e 274 mg dm<sup>-3</sup> de P, respectivamente. Considerando incrementos de 5 % de cada substrato original na mistura FC:Pmax, pode-se obter 99 % da produção máxima da MSPA para substrato com teor de FC variando de 30 a 55 % (Quadro 3).

As doses recomendáveis de P variaram de 136 a 275 mg dm<sup>-3</sup> e foram menores para os substratos com proporções de FC:Pmax intermediárias (Quadro 3). A dose de 136 mg dm<sup>-3</sup> é semelhante à fertilização de

base, de 130 mg dm<sup>-3</sup> de P, recomendada por Gonçalves et al. (1997) para a produção de mudas de eucalipto em substrato. Nesse contexto, quando se considera o custo dos insumos, a combinação mais econômica seria para um substrato com 55 % de FC e 45 % de Pmax, adubado com 275 mg dm<sup>-3</sup> de P (Quadro 3).

Para cada mistura FC:Pmax foi determinado o nível crítico foliar (Quadro 3), a partir da substituição da dose recomendável e do respectivo teor de FC no substrato na equação da concentração de P na folha

**Quadro 3. Doses recomendáveis de P (DRP) para obter 99 % da produção máxima da matéria seca da parte aérea e níveis críticos (NC) de P na folha, de acordo com a percentagem de fibra de coco (FC) e Plantmax® (Pmax) no substrato, com respectivo custo<sup>(1)</sup> do substrato adubado com P – Clone PH 16, aos 150 dias**

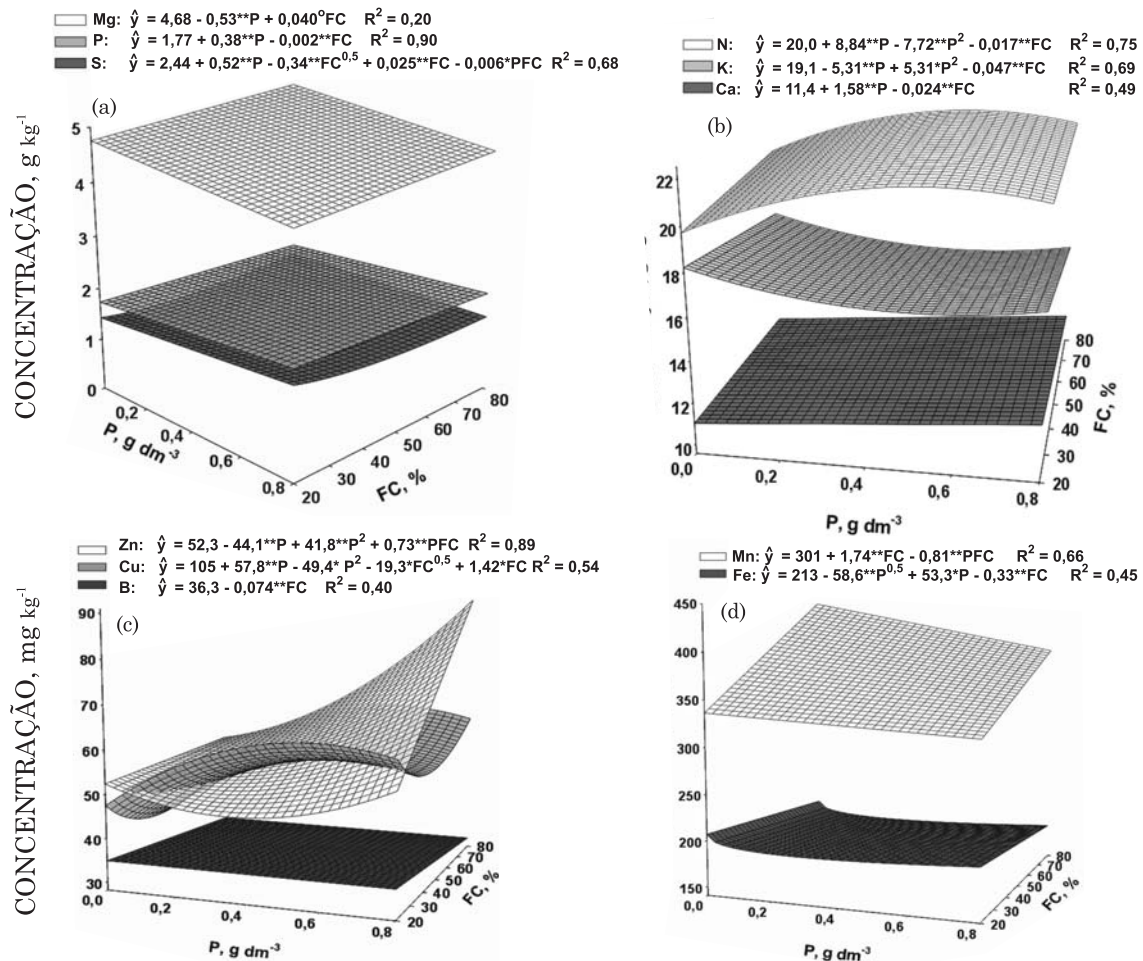
FC:Pmax	DRP	Custo <sup>(1)</sup>	NC na folha
% , v/v	g m <sup>-3</sup>	R\$ m <sup>-3</sup>	g kg <sup>-1</sup>
30:70	173	170	1,77
35:65	137	163	1,75
40:60	136	156	1,74
45:55	156	149	1,73
50:50	198	142	1,74
55:45	275	136	1,76

<sup>(1)</sup> Custo dos insumos colocados no Instituto Biofábrica de Cacau, Ilhéus-BA; preços tomados em junho de 2010: Plantmax florestal estaca® – R\$ 210,00 por m<sup>3</sup>; fibra de coco – R\$ 73,50 por m<sup>3</sup>; e superfosfato triplo (190 g kg<sup>-1</sup> de P) – R\$ 500,00 por tonelada.

diagnóstica (Figura 2a). Como a variação do nível crítico foliar foi pequena (Quadro 3), pode-se considerar uma concentração média de 1,75 g kg<sup>-1</sup> de P, valor que é semelhante a 1,8 g kg<sup>-1</sup>, sugerido por Raij et al. (1997), mas inferior a 2,0 g kg<sup>-1</sup>, indicado por Malavolta (2006) como adequado para cacauzeiros adultos.

De modo geral, observa-se que os modelos para a concentração dos nutrientes na folha diagnóstica (primeiro ramo emitido), em função da dose de SFT e da percentagem de FC no substrato, foram mais bem ajustados que aqueles para conteúdo na parte aérea (Figuras 2 e 3), exceto para Ca e Mg, sugerindo que os fatores em estudo influenciaram mais a absorção de nutrientes do que a conversão destes em matéria seca e, conseqüentemente, em quantidade total de nutrientes acumulada pela planta.

O modelo que apresentou o melhor ajuste, R<sup>2</sup> = 0,90, foi o da concentração de P na folha (Figura 2a), nutriente que é uma das variáveis independentes deste trabalho. Contudo, os modelos da concentração de outros nutrientes também mostraram bons ajustes, em especial Zn, N, K, S e Mn (Figura 2), indicando



**Figura 2. Concentração de nutrientes na folha diagnóstica de mudas de cacauzeiro, clone PH 16, aos 150 dias, em função da dose de P e da percentagem de fibra de coco (FC) no substrato: (a) Mg, P e S; (b) N, K e Ca; (c) Zn, Cu e B; e (d) Mn e Fe. °, \* e \*\*: significativo a 10, 5 e 1 % pelo teste F, respectivamente.**

que os fatores em estudo explicaram, com boa confiabilidade, a absorção desses nutrientes.

Os modelos para as concentrações de nutrientes na folha diagnóstica (Figura 2) e de seus respectivos conteúdos na parte aérea das mudas (Figura 3) apresentam comportamento semelhante para a maioria dos nutrientes, exceto para S, Ca, Zn e Fe.

A adubação com superfosfato triplo (SFT) aumentou as concentrações de S e de Ca na folha (Figura 2a,b), provavelmente porque o fertilizante utilizado continha 2,0 % de S e 16,4 % de Ca, favorecendo sua absorção e armazenamento na folha diagnóstica; por outro lado, reduziu o acúmulo total desses nutrientes na parte aérea da planta (Figura 3a,b), possivelmente porque as doses maiores de SFT restringiram o crescimento da parte aérea (Figura 1b). Todavia, deve-se considerar que a adição de P favorece a lixiviação de S e a precipitação de Ca, o que diminuiria o acúmulo total desses nutrientes ao final dos 150 dias de cultivo.

A adubação com SFT aumentou linearmente o conteúdo de Zn na parte aérea (Figura 3c), possivelmente devido ao fornecimento de Zn pelo próprio fertilizante, que continha 0,04 % de Zn. Contudo, sua concentração na folha foi inicialmente reduzida, talvez em razão do efeito de diluição; posteriormente, aumentou e tornou-se mais expressivo com o aumento de FC no substrato, devido à interação significativa entre P e FC, o que pode ter elevado a concentração desse nutriente na folha (Figura 2c), por causa do menor crescimento da parte aérea das plantas nos substratos muito ricos em FC (Figura 1b).

A concentração de Fe na folha diagnóstica foi maior nos extremos das doses de P (Figura 2d), possivelmente devido ao efeito de concentração, visto que, nessa situação, a produção de MSPA foi menor (Figura 1b). Por sua vez, a variação no conteúdo de Fe na parte aérea foi expressiva, apresentando comportamento tipicamente quadrático para P e FC (Figura 3d), semelhante à produção de MSPA

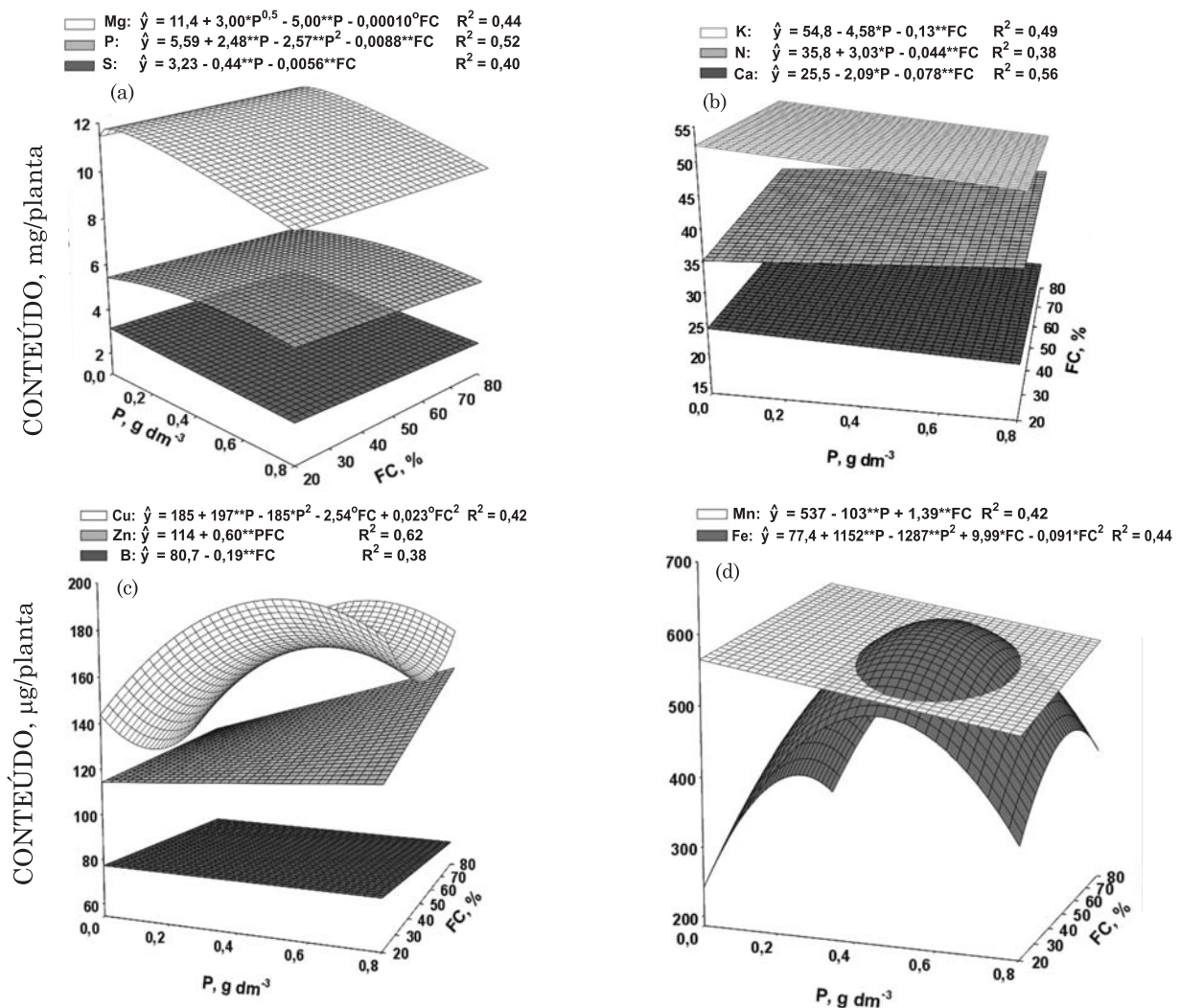


Figura 3. Conteúdo de nutrientes na parte aérea de mudas de cacau, clone PH 16, aos 150 dias, em função da dose de P e da percentagem de fibra de coco (FC) no substrato: (a) Mg, P e S; (b) K, N e Ca; (c) Cu, Zn e B; e (d) Mn e Fe. °, \* e \*\*: significativo a 10, 5 e 1 % pelo teste F, respectivamente.



(Figura 1b), porém com amplitude de variação bem superior. Esse comportamento pode ser devido tanto à produção de MSPA quanto à variação da concentração de Fe nos demais compartimentos da planta, em especial nas demais folhas, cuja amplitude foi de 150 a 910 mg kg<sup>-1</sup> de Fe. Ao comparar esse limite superior com valores sugeridos como normais por Raij et al. (1997) e Malavolta (2006), pode-se concluir que esse nutriente deve estar em concentração tóxica – fato também constatado por Marrocos & Sodré (2004).

A adubação com SFT, além de aumentar a absorção de P (Figuras 2a e 3a), aumentou também a concentração e o conteúdo de N e Cu na planta (Figuras 2b, 2c, 3b e 3c), mas diminuiu a absorção de Mg, K e Mn (Figuras 2a,b,d e 3a,b,d). O aumento das doses de SFT favorece a lixiviação de Mg e K (Souza Jr. et al., 2008) e, provavelmente, esse foi o principal fator para justificar o menor acúmulo desses nutrientes na planta; contudo, não se pode esquecer que existe inibição competitiva do Ca, presente no SFT, com o Mg e o K (Malavolta, 2006). Para o Mn, há inibição não competitiva com o P (Malavolta, 2006), o que explicaria seu menor acúmulo na planta.

De modo geral, o aumento da proporção de FC no substrato reduziu a concentração e o conteúdo de nutrientes na planta (Figuras 2 e 3), exceto para os micronutrientes catiônicos. A disponibilidade natural pequena da maioria dos nutrientes e a CTC baixa da FC (Quadro 1) favoreceram o suprimento menor de nutrientes às plantas e a perda maior por lixiviação.

A FC é mais pobre em Fe (Quadro 1) e seu aumento da composição do substrato favoreceu a redução da concentração desse nutriente na folha, porém a magnitude dessa variação no modelo foi discreta (Figura 2d). No entanto, o seu conteúdo na planta apresentou efeito quadrático e variação ampla (Figura 3d), sugerindo que apenas a alteração do substrato não seria suficiente para eliminar possíveis problemas de toxidez de Fe. Fatores como pH e condições de oxirredução são determinantes na disponibilidade desse nutriente (Lindsay, 1979). Esses fatores podem auxiliar no entendimento da variação ampla da concentração e do conteúdo de Fe na planta, em especial porque o tubete é pequeno e a perfeita homogeneização dos substratos é difícil de ser conseguida, além de a lâmina de água efetiva que chega a cada tubete poder variar, o que influencia as condições de oxirredução.

A concentração e o conteúdo de Zn e de Mn na planta foram maiores com o aumento de FC no substrato (Figuras 2c,d, 3c,d), apesar de a FC ser mais pobre nesses nutrientes (Quadro 1). Esse resultado pode ser devido à menor disponibilidade de P nos substratos ricos em FC, que favoreceu a absorção de Zn e Mn pelas plantas, devido à inibição da absorção desses últimos nutrientes pelo P (Malavolta, 2006). Não se pode esquecer de que houve oito aplicações de mancozeb, fungicida/acaricida que contém Zn e Mn, o que pode ter influenciado na absorção desses

nutrientes, e de que a disponibilidade de Mn depende das condições de oxirredução e pH do substrato (Lindsay, 1979) e sua absorção é inibida pelo Fe (Malavolta, 2006).

A época de adubação foi analisada por contraste; a aplicação de P em cobertura, aos 30 dias após o estaqueamento, em relação à adubação no preparo do substrato, não resultou em alteração significativa das variáveis de crescimento e nutricionais, exceto porque aumentou a concentração de P e reduziu a de Zn na folha diagnóstica e aumentou o conteúdo de N na parte aérea da muda.

## CONCLUSÕES

1. A sobrevivência das mudas não foi alterada por substratos, doses ou épocas de aplicação de P.
2. A adição de P em cobertura, apesar de aumentar seu teor na folha, não resultou em incremento das variáveis de crescimento da muda de cacau.
3. As variáveis biométricas e nutricionais responderam à aplicação de P e à composição do substrato.
4. As proporções melhores de fibra de coco no substrato variaram de 30 a 55 %, em volume, e as doses recomendáveis de P no plantio variaram de acordo com o substrato, sendo o nível crítico foliar de 1,75 g kg<sup>-1</sup> de P.

## LITERATURA CITADA

- ABAD, M.; FONTES, F.; CARRIÓN, C. & NOGUERA, V. Physical properties of various coconut coir dusts compared to peat. *HortScience*, 40:2138-2144, 2005.
- BARROS, N.F. & NOVAIS, R.F. Eucalipto. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G. & ALVAREZ V., V.H., eds. Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais – 5ª aproximação. Viçosa, MG, Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p.303-305.
- BATAGLIA, O.C. & FURLANI, P.R. Nutrição mineral e adubação para cultivos em substratos com atividade química. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE SUBSTRATO PARA PLANTAS, 4., 2004, Viçosa, MG. Anais... Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2004. p.106-125.
- BAUMGARTEN, A. Methods of chemical and physical evaluation of substrates for plants. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE SUBSTRATO PARA PLANTAS, 3., Campinas, 2002. Anais...Campinas, Instituto Agronômico, 2002. p.7-15.
- BRASIL. Instrução Normativa n.46, de 12 de setembro de 2006. Métodos analíticos oficiais para análises de substratos para plantas e condicionadores de solo. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Poder Executivo. Brasília, 14 de set. 2006. n.177, seção 1. p.2-3.



- De BOODT, M. & VERDONCK, O. The physical properties of the substrates in horticulture. *Acta Hortic.*, 26:37-44, 1972.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. Brasília, 1999. 370p.
- FARIA, J.C. & SACRAMENTO, C.K. Enraizamento e crescimento de estacas herbáceas do cacauzeiro (clones CEPEC 42, TSH 516 e TSH 1188) em função da aplicação do ácido indolbutílico (AIB). *R. Bras. Frutic.*, 25:192-194, 2003.
- GONÇALVES, J.L.M.; RAIJ, B.van & GONÇALVES, J.C. Florestais. In: RAIJ, B.van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. & FURLANI, A.M.C., eds. Recomendação de adubação e calagem para o estado de São Paulo. 2.ed. Campinas, Instituto Agronômico de Campinas, 1997. p.247-259. (Boletim Técnico, 100)
- LINDSAY, W.L. Chemical equilibria in soils. New York, John Wiley & Sons, 1979. 449p.
- MACKAY, A.D. & BARBER, S.A. Effect of soil moisture and phosphate level on root hair growth of corn roots. *Plant Soil*, 86:321-331, 1985.
- MALAVOLTA, E. Manual de nutrição mineral de plantas. São Paulo, Ceres, 2006. 631p.
- MARROCOS, P.C. & SODRÉ, G.A. Sistema de produção de mudas de cacauzeiros. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE SUBSTRATO PARA PLANTAS, 4., Viçosa. MG, 2004. Anais... Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2004. p.283-311.
- RAIJ, B.van; CANTARELLA, H. & QUAGGIO, J.A. Estimulantes. In: RAIJ, B.van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. & FURLANI, A.M.C., eds. Recomendação de adubação e calagem para o estado de São Paulo. 2.ed. Campinas, Instituto Agronômico de Campinas, 1997. p.93-95. (Boletim Técnico, 100)
- SONNEVELD, C.; van der ENDE, J. & van DIJK, P.A. Analysis of growing media by means of a 1:1½ volume extract. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, 5:183-202, 1974.
- SOUZA JR., J.O.; CARMELLO, Q.A.C. & FARIA, J.C. Características químicas do lixiviado na fase de enraizamento de estacas de cacau em substratos adubados com fósforo. *R. Bras. Ci. Solo*, 32:1573-1581, 2008.
- WILLIAMS, K.A. & NELSON, P.V. Modifying a soilless root medium with aluminum influences phosphorus retention and Chrysanthemum growth. *HortScience*, 31:381-384, 1996.