

Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”

Substratos e adubação para mudas clonais de cacaueteiro

José Olimpio de Souza Jr.

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor
em Agronomia. Área de concentração: Solos e
Nutrição de Plantas

Piracicaba
2007

José Olimpio de Souza Jr.
Engenheiro Agrônomo

Substratos e adubação para mudas clonais de cacaueteiro

Orientador:
Prof. Dr. **QUIRINO AUGUSTO DE
CAMARGO CARMELLO**

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor
em Agronomia. Área de concentração: Solos e
Nutrição de Plantas

**Piracicaba
2007**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/USP**

Souza Júnior, José Olímpio de

Substratos e adubação para mudas clonais de cacaueteiro / José Olímpio de
Souza Júnior. - - Piracicaba, 2007.
91 p.

Tese (Doutorado) - - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2007.
Bibliografia.

1. Adubação 2. Cacau 3. Cultivo em substrato 4. Fósforo 5. Lixiviação
6. Mudas – Produção 7. Nitrogênio 8. Nutrição vegetal I. Título

CDD 633.74

“Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor”

Ao meu pai, José Olympio (in memorian) e minha mãe, Teresinha Souza, pelo amor, dedicação, ensinamentos e exemplo de vida.

À minha companheira, Lícia, pelo amor, cumplicidade, paciência e apoio nessa e em outras etapas de nossas vidas.

À minha pequena Larinha, pela alegria e por frases como “Deus ajuda a papainho a acabar a tese e voltar para casa”.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Ao Pai maior, pelos caminhos que me oferece.

Aos meus irmãos Antônio, Elisa, Fátima e Joaquim, meus tios Joaquim e Teresa, cunhados e sobrinhos, pelo carinho e incentivo.

Ao meu sogro, Antônio Queiroz, e sogra, Zizete, pelo apoio à minha família.

Ao professor Quirino A. C. Carmello pelo apoio irrestrito ao desenvolvimento deste trabalho, bem como pela orientação, conselhos e companheirismo.

Aos professores Antônio Roque Dechen, Arnaldo Rodella, Erípedes Malavolta, Francisco A. Monteiro, Godofredo C. Vitti e aos pesquisadores do IAC, Pedro R. Furlani e Mônica F. Abreu, pela colaboração em alguma etapa da construção desse trabalho.

Aos colegas, professores da UESC ou pesquisadores da CEPLAC, Adriana Ramos, Agna Menezes, Alex-Alan Almeida, Ana Cristina Schilling, Ana Elisa Costa, Ana Maria Moreau, Arlicélio Paiva, George Sodré, José Cláudio Faria, Marcelo Mielke, Maria Aparecida Bittencourt, Paulo Hellmeister, Paulo Marrocos e Valério Melo, pelo apoio em algum momento desta etapa de minha vida.

Aos colegas de pós-graduação, Adilson, Adna, Aline, Cristiane, Daniel, Daniela, Dylnei, Edna, Fabiano, Gean, Gilberto, Gláucia, Graziela, Haroldo, Jackson, José Geraldo, Karina Batista, Karina Cavalieri, Magnus, Lílian, Luciana, Ruben e Suzana, pela amizade e momentos bons que tivemos.

Aos funcionários da ESALQ, Ednéia, Luís Silva, Lúcia, Lurdes, Nivanda, Sueli e Udson, e da CEPLAC, Márcia e Waldemar, pela colaboração.

Às fisioterapeutas da ESALQ, Taís e Vera, por cuidarem de minha tendinite e aliviarem minhas dores.

À direção e aos funcionários do Instituto Biofábrica de Cacau, Aldo Brito, Carlos Macedo, Gildeon, Gilnei e César e sua equipe, pelo apoio à execução dessa pesquisa.

À Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” e ao Programa de Pós-graduação em Solos e Nutrição de Plantas, pela oportunidade de desenvolver esse trabalho e pelo crescimento profissional que me propiciou.

À Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC), pela oportunidade e apoio financeiro concedido para a realização do curso.

SUMÁRIO

RESUMO.....	7
ABSTRACT.....	8
1 INTRODUÇÃO.....	9
1.1 A cultura do cacauzeiro.....	10
1.2 Produção de mudas de cacauzeiro.....	12
1.3 Substratos e produção de mudas.....	13
1.4 Adubação de plantas cultivadas em substratos.....	15
Referências.....	16
2 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DO LIXIVIADO DA PRODUÇÃO DE MUDAS DE CACAU EM SUBSTRATOS ADUBADOS COM SUPERFOSFATO TRIPLO E COM IRRIGAÇÃO INTEMITENTE.....	22
Resumo.....	22
Abstract.....	22
2.1 Introdução.....	23
2.2 Material e Métodos.....	24
2.3 Resultados e Discussão.....	26
2.4 Conclusões.....	35
Referências.....	36
3 DISPONIBILIDADE DE NUTRIENTES EM SUBSTRATOS ADUBADOS COM DOSES DE FÓSFORO PARA O CULTIVO DE MUDAS CLONAIS DE CACAU....	39
Resumo.....	39
Abstract.....	39
3.1 Introdução.....	40
3.2 Material e Métodos.....	42
3.3 Resultados e Discussão.....	44
3.4 Conclusões.....	51
Referências.....	52
4 SUBSTRATO E ADUBAÇÃO FOSFATADA PARA A PRODUÇÃO DE MUDAS CLONAIS DE CACAU.....	55

Resumo.....	55
Abstract.....	55
4.1 Introdução.....	56
4.2 Material e Métodos.....	57
4.3 Resultados e Discussão.....	60
4.4 Conclusões.....	72
Referências.....	72
5 UREIA PARA A PRODUÇÃO DE MUDAS CLONAIIS DE CACAU EM SUBSTRATO.....	75
Resumo.....	75
Abstract.....	75
5.1 Introdução.....	76
5.2 Material e Métodos.....	78
5.3 Resultados e Discussão.....	81
5.4 Conclusões.....	88
Referências.....	88
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	91

RESUMO

Substratos e adubação para mudas clonais de cacauero

A doença vassoura-de-bruxa reduziu expressivamente a produtividade dos cacauais da região sul da Bahia, maior produtora nacional. O controle genético da enfermidade, com o uso de plantas tolerantes e com alto potencial produtivo, tem sido a principal estratégia para o convívio com essa doença. O plantio de mudas clonais, provenientes de estacas enraizadas, tem mostrado ser uma prática promissora para a renovação da lavoura. O Instituto Biofábrica de Cacau (IBC), criado em 1999, tem como um de seus objetivos produzir e comercializar essas mudas. Estudos preliminares mostraram a necessidade de aprimoramento do protocolo, pois foram observados distúrbios nutricionais, apesar do uso elevado de fertilizantes. Os objetivos deste trabalho foram: avaliar a perda de nutrientes; comparar metodologias de extração de nutrientes em substratos; identificar a folha mais adequada para ser utilizada como diagnóstica; comparar formas de adubação; definir níveis críticos (NC) e doses recomendáveis de P e de N. Foram realizados dois experimentos, ambos em viveiro de produção de mudas do IBC, onde se utilizou o clone PH 16, com 12 mudas por parcela útil (uma muda por tubete de 288 cm³), sendo avaliados: diâmetro, altura, área foliar, matéria seca, concentração e conteúdo de nutrientes na planta. O primeiro experimento, implantado em julho de 2005, foi um fatorial 5x5+1: cinco substratos (misturas de fibra de coco – FC e Plantmax®), cinco doses de P no plantio (de zero a 0,8 g dm⁻³) e um tratamento adicional (P aplicado aos 30 dias); o segundo experimento, instalado em julho de 2006, foi um fatorial 2x5: duas formas de adubação, no substrato e foliar, e cinco doses de uréia, aplicadas semanalmente após o 82º dia. A análise do lixiviado do primeiro experimento identificou variações do pH, da condutividade elétrica e dos nutrientes de acordo com os tratamentos e com o tempo. A terceira folha do primeiro lançamento maduro foi a mais indicada para ser utilizada como folha diagnóstica. Para a maioria dos nutrientes, não foram encontradas correlações significativas entre os teores extraídos dos substratos, por metodologias distintas, com os absorvidos pelas plantas, exceto para P, K, Ca e Cu. A adubação com P em cobertura aumentou sua disponibilidade e absorção, mas não afetou o crescimento das mudas. Os melhores substratos foram os que continham entre 30 a 55% de FC. As doses recomendáveis, calculadas para obtenção de 99% da produção máxima da matéria seca da parte aérea, variaram de 136 a 275 g m⁻³ de P, aplicadas em pré-estaqueamento, de acordo com o substrato; e, para N, em aplicação semanal pós-enraizamento, foi de 63 mg dm⁻³ para a adubação no substrato ou de 11,7 g L⁻¹ para a adubação foliar. Para o N, a adubação no substrato foi superior à foliar. O NC de P no substrato variou de acordo com o extrator e o substrato e os NCs foliares foram de: 1,75 g kg⁻¹ de P e 23,1 g kg⁻¹ de N.

Palavras-chave: *Theobroma cacao*; Cultivo sem solo; Nutrição; Lixiviação; Fósforo; Nitrogênio; Nível crítico

ABSTRACT

Potting mix and fertilization for rooted cocoa tree cuttings

The witches' broom disease decreased expressively the cocoa productivity in Bahia south region, the biggest national producer. The disease genetic control, using tolerant plants with high potential productivity, has been the main strategy to cope with this disease. The cloned cutting breeding, originated from rooted cuttings, has proved to be a promising practice for crop renovation. The "Instituto Biofábrica de Cacau" (IBC) or Cocoa Biofactory Institute, founded in 1999, has one of its aims to produce and commercialize these rooted cuttings. Preliminary studies have shown the need of protocol improvement, as it was observed nutritional problems, despite the high use of fertilizers. The objectives of this work were: Evaluate nutrients losses; compare nutrient extraction methodologies in potting mix; identify the most suitable leaf to be used as diagnostic; compare different fertilization practice; define P and N critical levels (CL) and recommendable doses. It was carried out two experiments, both in cloning breeding nurseries of IBC, where it was used clone PH 16, with 12 cuttings by useful plot (one cutting by container of 288 cm³), being evaluated: diameter, height, foliar area, dry matter, concentration and nutrient content in plants. The first trial, implanted in July 2005, was a factorial 5x5+1: five potting mix (mix of coconut fiber – CF and Plantmax®) five doses of P in the planting (from 0 to 0.8 g dm⁻³) and an additional treatment (P applied on the 30th day); the second experiment, installed in July 2006, there was a factorial 2x5: two fertilization treatments, in potting mix and foliar, and five urea doses, applied weekly after the 82nd day. The first experiment leaching analysis identified variations of the pH, electric conductivity and nutrients according to treatments and time. The third leaf from first ripen sprout was the most indicated to be used as the diagnostic leaf. For most nutrients were not found significant correlation between substrate extract levels by distinct methodologies and the absorbed ones by plants, except for P, K, Ca and Cu. The P fertilization in covering increased its availability and absorption, but did not affect cutting growth. The best substrates were those contained between 30 and 55% of CF. The recommendable doses, assessed to obtain 99% of the maximum production of shoot dry matter, varied from 136 to 275 g m⁻³ of P, applied in the pre-cutting, according to the substrate; and for N, in weekly pos-rooting application, was 63 mg dm⁻³ for the substrate fertilization or 11.7 g L⁻¹ for foliar fertilization. For the N, the substrate fertilization was superior to foliar. The CL of P in the potting mix varied according to extractor and substrate and the foliar CLs were: 1.75 g kg⁻¹ of P and 23.1 g kg⁻¹ of N.

Keywords: *Theobroma cacao*; Soilless crop; Nutrition; Leaching; Phosphorus; Nitrogen; Critical level

1 INTRODUÇÃO

Em poucos anos, o Brasil caiu da segunda para a quinta posição mundial na produção de cacau, passando da condição de exportador para importador desse produto. Esse fato ocorreu devido à redução expressiva na produção do sudeste Bahia, principal região produtora de cacau do Brasil.

A doença denominada vassoura-de-bruxa, causada pelo fungo recentemente renomeado de *Moniliophthora perniciosa*, foi a principal causa da queda na produção do sudeste da Bahia. A lavoura cacauzeira ainda ocupa, nessa região, uma área superior a 550 mil hectares, distribuída em cerca de 30 mil propriedades.

O uso de clones de cacauzeiro tolerantes à vassoura-de-bruxa tem sido a principal prática utilizada no sudeste da Bahia, para o controle dessa doença. Esses clones podem ser enxertados nas plantas suscetíveis ou utilizados para a produção de mudas enraizadas de estacas.

No Brasil, a produção de mudas clonais de cacau, em escala massal e comercial, iniciou em 1999, com a criação do Instituto Biofábrica de Cacau (IBC), que foi estruturado para uma produção diária de 50 mil mudas. Inicialmente, o protocolo de produção de mudas do IBC foi adaptado de sistemas de multiplicação massal, principalmente de eucaliptos. O uso indiscriminado de fertilizantes, associado à irrigação freqüente, tem causado distúrbios nutricionais nas mudas, além de lixiviação elevada de nutrientes.

Visando entender melhor a dinâmica de nutrientes no sistema, para fornecê-los de maneira mais apropriada, minimizando os impactos ambientais, melhorando a qualidade da muda e reduzindo o custo de produção, foram conduzidos dois experimentos, em julho de 2005 e de 2006, com os objetivos de: comparar substratos para a produção das mudas, avaliando o seu crescimento e a perda de nutrientes; comparar metodologias de extração de nutrientes em substratos; identificar a folha mais adequada para ser utilizada como diagnóstica; comparar formas de adubação e definir os níveis críticos e as doses recomendáveis de P e de N.

1.1 A cultura do cacau

O cacau (*Theobroma cacao* L.) é uma cultura milenar conhecida e apreciada pelos nativos americanos muito antes de Colombo descobrir o Novo Mundo. Seu cultivo estendia-se desde a região amazônica da América do Sul até o México. Sua importância era tanta que lhe atribuíam origem divina e sua plantação era, muitas vezes, cercada de cerimônias religiosas. Sua amêndoa já circulou como moeda corrente em alguns países da América, inclusive foi usado para o pagamento de tributos e formava uma parte das receitas reais do império asteca (BONDAR, 1938).

O cacau é um produto estimulante, cuja principal utilidade é a fabricação de chocolate. Os índios faziam o chocolate a partir da torragem e trituração das amêndoas, que eram fervidas em água aromatizada com baunilha, canela, pimenta ou suco de aveia (BONDAR, 1938). Posteriormente, os europeus adicionaram açúcar e leite ao chocolate.

O Brasil, que historicamente sempre foi um dos dois maiores produtores mundiais de cacau, teve sua produção reduzida expressivamente nos últimos anos, ocupando hoje a quinta posição, com menos de 6% da produção mundial (AGRIANUAL, 2007).

O auge da produção brasileira foi alcançado na safra de 1984/85, correspondendo a 403 mil toneladas de cacau por ano (Gill; Duffus, 1993, citado por MENEZES, 1993). Neste século, a média de produção nacional caiu para 190 mil toneladas anuais (AGRIANUAL, 2007). O estado da Bahia sempre foi o maior produtor brasileiro e, apesar da crise, ainda contribuiu com 67% da produção nacional, dos últimos cinco anos (AGRIANUAL, 2007).

A crise longa e danosa pela qual passa o sudeste da Bahia, sem dúvida, foi a responsável pela redução da produção nacional. A origem dessa crise pode ser atribuída a um conjunto de fatores, destacando-se o surgimento da doença vassoura-de-bruxa em 1989, que devastou áreas extensas de cacauais (MENEZES, 1993; SOUZA; DIAS, 2001; PINAZZA; ALIMANDRO, 2001).

Apesar dessa crise, o cacau ainda é um produto agrícola de grande importância no sudeste da Bahia, representando a receita principal da economia de aproximadamente 100 municípios dessa região.

O aspecto social, além do econômico, é muito importante quando se trata da cacauicultura que, por ser uma atividade pouco mecanizável, emprega muitos trabalhadores, em aproximadamente 30 mil propriedades. No Brasil, de acordo com Souza e Dias (2001), a cadeia produtiva do cacau é responsável por aproximadamente três milhões de empregos, sendo que em torno de 300 mil são empregos diretos. Porém, segundo o consultor Thomas Hartmann, a lavoura deve empregar, na Bahia, diretamente, somente 150 mil, dos 400 mil trabalhadores que empregava há alguns anos (PINAZZA; ALIMANDRO, 2001).

O cultivo do cacau também tem grande apelo ecológico, conferindo boas características conservacionistas ao ambiente. O sistema de cultivo exerce uma proteção excelente ao solo contra os efeitos danosos da radiação solar direta e da erosão. Além disso, a lavoura é geralmente formada por um sistema agroflorestal, com a presença de árvores nativas ou exóticas, que tem proporcionado a preservação de uma boa área de remanescentes da Mata Atlântica e de muitos animais silvestres na região sudeste da Bahia (SOUZA JR., 1997).

Os trabalhos de identificação e seleção de plantas tolerantes à vassoura-de-bruxa, feitos por técnicos da CEPLAC e por produtores da região, deram uma outra perspectiva para a recuperação da lavoura, principalmente quando associados às técnicas mais avançadas de melhoramento genético.

Hoje, a prática mais promissora para o controle dessa enfermidade consiste na substituição gradativa das lavouras, por plantas que apresentam tolerância à doença. Assim, o controle genético da enfermidade, com o uso de variedades tolerantes e com alto potencial produtivo e qualidade adequada, é necessário para se obter uma melhor relação custo/benefício (PINTO; PIRES, 1998). Contudo, essa prática não deve ser encarada como a única forma para manejar a doença. O ideal é um manejo conjunto, onde se associam outros controles (culturais, biológicos etc.) ao controle genético.

As plantas suscetíveis à vassoura-de-bruxa no sudeste da Bahia, que constituem a quase totalidade da população, vêm sendo enxertadas gradativamente com material tolerante à doença. É necessário também repovoar e adensar muitas áreas, fato que, além de novos plantios, requer a introdução de mudas resistentes. Alguns produtores têm optado pela utilização de mudas seminais, cultivadas em sacos plásticos, as quais são enxertadas, posteriormente, com o material genético desejado (tolerante e produtivo), mas a técnica da utilização de mudas clonais provenientes de estacas enraizadas também tem se mostrado promissora.

1.2 Produção de mudas de cacaueteiro

O cultivo do cacaueteiro constitui um caso raro, entre as espécies perenes, em que a reprodução seminal superou a propagação vegetativa (PEREIRA, 2001). Como exemplo bem sucedido de produção de mudas enraizadas a partir de estacas pode-se citar a cultura do eucalipto, que dispõe hoje de alta tecnologia, apesar dos primeiros estudos no Brasil, para essa cultura, terem sido realizados na década de 70 (HIGASHI; SILVEIRA; GONÇALVES, 2000).

Na literatura há quantidade razoável de trabalhos abordando aspectos relacionados à produção de mudas de cacaueteiro, em especial: adubação e nutrição (HAVORD, 1955; CABALA R.; PRADO; MIRANDA, 1969; MIRANDA; MORAIS, 1971; OKALI; OWUSU, 1975; MORAIS et al., 1975, MORAIS; SANTANA; CHEPOTE, 1978; MORAIS; SANTANA; SANTANA, 1978; MORAIS; SANTANA; PEREIRA, 1979; MORAIS et al., 1979; EZETA; SANTANA, 1979; SANTANA; EZETA; MORAIS, 1980; PASSOS; MACHADO; PEREIRA, 1982; MORAIS; PEREIRA, 1986; NAKAYAMA; SANTANA; PINTO, 1988; OLIVEIRA; BRITTO; SANTANA, 1988; AZIZAH, 1991; MATOS, 1991; GAMA RODRIGUES; VALLÉ; ROSSIELLO, 1995; COSTA; ALMEIDA; VALLE, 1998; AFRIFA et al., 2005; REYES; MARÍA, 2005); microbiologia (CUENCA; HERRARA; MENESES, 1990; AZIZAH, 1991; SHAMSHUDDIN et al., 2004) e física do substrato (SILVA; PEREIRA; MELO, 1977); tipo de substrato (MATOS, 1972; MORAIS et al., 1979); fisiologia e, ou condições climáticas (CUNNINGHAM; BURRIDGE, 1960; OKALI; OWUSU, 1975; SENA GOMES; KOZLOWSKI, 1987; SENA GOMES; KOZLOWSKI; REICH, 1987; SENA GOMES, 1989; MATOS, 1991; COSTA; ALMEIDA;

VALLE, 1998; DAYMOND; HADLEY, 2004); irrigação (MATOS, 1972; REYES; MARÍA, 2005) e manejo geral do sistema de produção da muda (SHEPHERD, 1976), entre outros. Porém todos estes trabalhos foram realizados com mudas seminais, cultivadas em substratos à base de solo, com ou sem adição de fonte de matéria orgânica. Em estudos essencialmente de nutrição e muitos de fisiologia, observa-se o uso de cultivos hidropônicos, com soluções nutritivas, que quando utilizam algum substrato, este geralmente é quimicamente inerte e tem a função apenas de sustentação da planta e retenção da solução nutritiva.

Poucas são as pesquisas com adubação/nutrição de mudas de cacau clonal (propagadas vegetativamente), cultivadas em substrato que não seja solo, em recipiente de pequena dimensão (tubete) e submetidas à irrigação intermitente, onde a lixiviação de nutrientes é, freqüentemente, elevada.

A técnica de produção de mudas de cacauzeiros por estaquia não é recente, sendo encontrado registro da mesma na década de 30 do século passado (PYKE, 1931).

No Brasil, a produção industrial e comercial de mudas clonais de cacauzeiros está associada ao Projeto Biofábrica, que iniciou em dezembro de 1997 e foi concluído em outubro de 1999 e posteriormente foi denominado Instituto Biofábrica de Cacau (IBC), que tem como objetivo principal multiplicar e distribuir material botânico com características de alta produtividade e tolerância à vassoura-de-bruxa. Tal material vem sendo selecionado pela Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira (CEPLAC) e por produtores, para substituir as plantas doentes, o adensamento de áreas afetadas e o plantio de novas lavouras. Porém, 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 (MARROCOS; SODRÉ, 2004; SOUZA JR. et al., 2006).

1.3 Substratos e produção de mudas

O solo é o substrato natural para o crescimento das plantas e, inclusive, ainda é muito empregado para a produção de mudas de plantas. Porém, cada vez mais, a palavra substrato é empregada para designar um produto distinto do solo; sendo que

este, por propiciar a transmissão de patógenos, já é vetado no estado de São Paulo, para a produção de mudas cítricas (SÃO PAULO, 2005).

A legislação brasileira traz uma definição genérica para substrato: produto usado como meio de crescimento de plantas (BRASIL, 2004a). Porém, tem sido mais freqüente o uso de uma definição mais específica para substrato: produto usado em substituição ao solo, para a produção vegetal, geralmente em recipientes e muitas vezes em ambiente protegido (KÄMPF, 2000), formulado com um ou mais componentes orgânicos ou inorgânicos, servindo de suporte para as plantas, podendo ainda regular o fornecimento de nutrientes e água (BATAGLIA; ABREU, 2001; BATAGLIA; FURLANI, 2004). Porém, a turfa, um dos substratos mais consagrados no mundo, não deixa de ser um solo, pois se enquadra na ordem dos Organossolos, pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.

Há uma grande diversidade de substratos, os quais diferem em seus atributos físicos, químicos, físico-químicos e biológicos. Segundo Lin et al. (1996), os substratos mais utilizados extensivamente no mundo são: turfa, vermiculita, perlita, cascas de árvores e lã de rocha. No Brasil, diferentes matérias-primas de origem mineral e orgânica são usadas puras ou em misturas para compor substratos para plantas. Como exemplo cita-se a casca de arroz (*in natura*, carbonizada ou queimada), vermiculita, espuma fenólica, areia, subprodutos da madeira como serragem e maravalha, fibras em geral, compostos de lixo domiciliar urbano ou de resíduos vegetais (SODRÉ, 2007).

No Brasil o tema substrato é relativamente novo, mas a demanda crescente por esse produto tem exigido pesquisas e regulamentação pela legislação, para sua produção e utilização. Recentemente, o Brasil aprovou legislação referente às definições e às normas sobre as especificações, as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos substratos para plantas (BRASIL, 2004b) e também definiu alguns métodos oficiais para análise de substratos, mais especificamente, umidade atual, densidade, capacidade de retenção de água, pH, condutividade elétrica e CTC (BRASIL, 2006).

1.4 Adubação de plantas cultivadas em substratos

Todos os processos que regem a dinâmica de nutrientes em solos, se aplicam aos substratos, porém a magnitude e a importância de cada processo são bem distintas, quando se comparam esses dois meios.

O solo é a fonte natural dos nutrientes para as plantas e quando ele é pouco fértil, práticas como calagem, gessagem e adubação são utilizadas para aumentar a disponibilidade de nutrientes, os quais são retidos pelas cargas, positivas e negativas dos colóides do solo, podendo posteriormente retornar à solução do solo, para serem absorvidas pelas raízes das plantas. Muitos substratos, como areia, perlita, lã de rocha, argila expandida e cascalho, são considerados quimicamente inertes (BATAGLIA; FURLANI, 2004), retendo os nutrientes debilmente, que são facilmente perdidos por lixiviação.

Quando uma planta é cultivada no campo e o solo não apresenta impedimento ao crescimento radicular, ela dispõe de um volume grande de solo para explorar, o que resulta numa boa reserva de água e de nutrientes. Para plantas cultivadas em recipientes, a restrição do volume explorado pelo sistema radicular constitui um fator limitante ao desenvolvimento da planta, principalmente quanto à reserva de água.

É importante determinar as necessidades de nutrientes para cada espécie/variedade/clone, em etapas distintas de seu desenvolvimento, as quais propiciem um crescimento da muda melhor e mais rápido.

Pode-se subdividir a adubação no substrato em: adubação pré-plantio, onde se pode adicionar calcário, para a correção da acidez, adubo fosfatado e fertilizante de liberação lenta (BATAGLIA; FURLANI, 2004); e adubação pós-planto, geralmente via fertirrigação ou via aplicação de soluções direcionadas ao substrato ou via foliar.

No sistema de produção de mudas em tubetes, como os recipientes são de dimensões pequenas, as reservas de nutrientes são baixas e o processo de lixiviação é intenso. Por isso, a adubação deve ser parcelada em várias vezes, aplicando-se doses menores por vez, de forma mais freqüente que a utilizada na produção de mudas em sacos plásticos (VALERI; CORRADINI, 2000).

Referências

AFRIFA, A.A.; ZAHARAH, A.R.; ADU-AMPOMAH, Y. APPIAH, M.R.; OFORI-FRIMPONG, K. Use of ^{32}P and ^{15}N to determine the efficiency of utilization of phosphorus and nitrogen fertilizers in cocoa seedlings. In: INTERNATIONAL COCOA RESEARCH CONFERENCE, 14., 2003, Accra. **Proceedings...** Sabah: Cocoa Producers' Alliance, 2005. p. 231-237.

AZIZAH C., H. Effect of fertilizer and endomycorrhizal inoculum on growth and nutrient uptake of cocoa (*Theobroma cacao* L.) seedlings. **Biology & Fertility of Soils**, Berlin, v.11, n.4, p.250-254, 1991.

BATAGLIA, O.C.; ABREU, C.A. Análise química de substratos para crescimento de plantas: um novo desafio para cientistas do solo. **Boletim Informativo - Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.26, n.1, p.8-9. 2001.

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. **Anais...** Viçosa: UFV, 2004. p. 106-128.

BONDAR, G. **A cultura de cacão na Bahia**. São Paulo: Revista dos Tribunaes, Instituto de cacão da Bahia, 1938. 205p.

BRASIL. Decreto n.4954, de 14 de janeiro de 2004a. Dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes ou biofertilizantes destinados à agricultura, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, 15 jan. 2004. Seção 1, p. 2.

BRASIL. Instrução Normativa n.14, de 15 de dezembro de 2004b. Aprova as definições e normas sobre as especificações, as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos substratos para plantas. Disponível em: <http://www.dfasp.gov.br/sefag_vegetal/fertilizantes_legislacao/06_in_14_15_12_04.doc>. Acesso em 10 jul 2007.

BRASIL. Instrução Normativa n.46, de 12 de setembro de 2006. Aprova os métodos analíticos oficiais para análise de substratos e condicionadores de solos. **Diário Oficial da União**, Brasília, 14 set. 2006. Seção 1, p. 2-3.

CABALA R., F.P.; PRADO, E.P.; MIRANDA, E.R. Influência da umidade disponível sobre o aproveitamento de duas fontes de fósforo por plântulas de cacau. In: INTERNATIONAL COCOA RESEARCH CONFERENCE, 2., 1967, Salvador. **Proceedings...** São Paulo: CEPLAC, 1969. p. 476-480.

COSTA, L.C.B.; ALMEIDA, A.A.F.; VALLE, R.R. Crescimento, teor de clorofila e estrutura anatômica em plântulas de *Theobroma cacao* submetidas a diferentes irradiâncias e doses de nitrogênio. **Agrotrópica**, Itabuna, v.10, n.1, p.21-30, 1998.

CUENCA, G.; HERRARA, R.; MENESES, E. Effects of VA mycorrhiza on the growth of cacao seedlings under nursery conditions in Venezuela. **Plant and Soil**, Netherlands, v.126, n.1, p.71-78, 1990.

CUNNINGHAM, R.K.; BURRIDGE, J.C. The growth of cacao (*Theobroma cacao*) with and without shade. **Annals of Botany**, London, v.24, n.96, p.458-462, 1960.

DAYMOND, A.J.; HADLEY, P. The effects of temperature and light integral on early vegetative growth and chlorophyll fluorescence on four contrasting genotypes of cacao (*Theobroma cacao*). **Annals of Applied Biology**, Cambridge, v.145, n.3, p.257-262, 2004.

EZETA, F.N.; SANTANA, M.B.M. Efeito do alumínio sobre absorção e concentração de nutrientes em plântulas de cacau. **Revista Theobroma**, Ilhéus, v.9, n.4, p.173-184, 1979.

FNP CONSULTORIA & COMÉRCIO. Cacau. In _____. **Agriannual 2007**: anuário da agricultura brasileira. São Paulo, 2007. p. 210-214.

GAMA RODRIGUES, A.C.; VALLÉ, R.R.; ROSSIELLO, R.O.P. Crescimento, trocas gasosas e relações hídricas de plântulas de cacau em função de diferentes fontes de potássio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.19, n.3, p.387-393, 1995.

HAVORD, G. Lime-induced chlorosis of cacao seedlings. **Report on Cacao Research**, St. Augustine, ano 1954, p.72-76, 1955.

HIGASHI, E.N.; SILVEIRA, R.L.V. A.; GONÇALVES, A. N. Monitoramento nutricional e fertilização em macro, mini e microjardim clonal de Eucalyptus. In: GONÇALVES, J.L.M.; BENEDETTI, V. (Ed.). **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2000. p.191-217.

KÄMPF, A.N. Seleção de Materiais para uso como substrato. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE SUBSTRATOS PARA PLANTAS, 1., 1999. Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: UFRGS, 2000. p. 139-145.

LIN, Y.L.P.; HOLCOMB, E.J.; LYNCH, J.P. Marigold growth and phosphorus leaching in a soilless medium amended with phosphorus-charged alumina. **Hortscience**, Alexandria, v.31, n.1, p.94-98, 1996.

MARROCOS, P.C.; SODRÉ, G.A. Sistema de produção de mudas de cacauzeiros. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE SUBSTRATO PARA PLANTAS, 4., 2004, Viçosa. **Anais...** Viçosa: UFV, 2004. p. 283-311.

MATOS, A. **Efeitos de diferentes substratos e regimes de irrigação sobre o desenvolvimento de mudas de cacauzeiro (*Theobroma cacao* L.)**. 1972. 49 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1972.

MATOS, P.G.G. **Influência do sombreamento e da adubação com NPK no desenvolvimento de mudas de cacauzeiro (*Theobroma cacao* L.)**. 1991. 52 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1991.

MENEZES, J.A.S. **A modernização do agribusiness cacau**. Salvador: Fundação Centro de Projetos e Estudos, 1993. 180 p.

MIRANDA, E.R.; MORAIS, F.I.O. Efeitos da combinação de diferentes fontes de nitrogênio e potássio no desenvolvimento de plântulas de cacau. **Revista Theobroma**, Ilhéus, v.1, n.2, p.29-38, 1971.

MORAIS, F.I.; SANTANA, C.J.L.; SANTANA, M.B.M. Efeito da aplicação de calcário e fósforo no crescimento de plântulas de cacau em casa de vegetação. **Revista Theobroma**, Ilhéus, v.8, n.2, p.73-85, 1978.

MORAIS, F.I.; SANTANA, C.J.L.; CHEPOTE, R.E. Resposta do cacauzeiro ao nitrogênio, fósforo e potássio em solos da região cacauzeira da Bahia, Brasil. **Revista Theobroma**, Ilhéus, v.8, n.1, p.31-41, 1978.

MORAIS, F.I.; SANTANA, C.J.L.; PEREIRA, G.C. Efeitos da aplicação de diferentes fontes de fósforo no crescimento do cacau em casa de vegetação. **Revista Theobroma**, Ilhéus, v.9, n.3, p.119-128, 1979.

MORAIS, F.I.; PRADO, E.P.; CABALA R., F.P.; SANTANA, M.B.M. Efeito da mistura de carbonatos de cálcio e magnésio no desenvolvimento de plântulas de cacau. **Revista Theobroma**, Ilhéus, v.5, n.1, p.21-30, 1975.

MORAIS, F.I.; SILVA, L.F.; MARINHO, A.H.; PINHO, A.F.S. Efeito da adubação foliar e de substratos no crescimento de plântulas de cacau. **Revista Theobroma**, Ilhéus, v.9, n.4, p.163-171, 1979.

MORAIS, F.I.O.; PEREIRA, G.C. Resposta do cacau à aplicação de fertilizantes e corretivos nas condições da Amazônia. I. Crescimento e produção inicial. **Revista Theobroma**, Ilhéus, v.16, n.2, p.65-73, 1986.

NAKAYAMA, L.H.I.; SANTANA, C.J.L.; PINTO, L.R.M. Resposta do cacau em desenvolvimento à calagem. **Revista Theobroma**, Ilhéus, v.18, n.4, p.229-240, 1988.

OKALI, D.U.U.; OWUSU, J.K. Growth analysis and photosynthetic rates of cocoa (*Theobroma cacao* L.) seedlings in relation to varying shade and nutrient regimes. **Ghana Journal of Agricultural Science**, Accra, v.8, p.51-67, 1975.

OLIVEIRA, S.S.; BRITTO, I.C.; SANTANA, C.J.L. Efeito da interação fósforo, zinco e ferro, no crescimento e produção do cacau. **Sitientibus**, Feira de Santana, v.5, n.8, p.5-23, 1988.

PASSOS, E.E.M.; MACHADO, R.C.M.; PEREIRA, R.C. Efeito do fósforo sobre o estado hídrico em plântulas de cacau (*Theobroma cacao* L.) var. Catongo. INTERNATIONAL COCOA RESEARCH CONFERENCE, 8., 1981, Cartagena. **Proceedings...** Lagos: Cocoa Producers' Alliance, 1982. p. 151-155.

PEREIRA, A.B. Melhoramento clonal. In: DIAS, L.A.S. (Ed.). **Melhoramento genético do cacau**. Viçosa: FUNAPE, UFG, 2001. p. 361-384.

PINAZZA, L.A.; ALIMANDRO, R. Uma longa crise: a saga do cacau no Brasil e no mundo se espalha em uma cronologia de altas e baixas; Gosto de vitória: desmancha-se a densa nuvem cinzenta que paira sobre as perspectivas da cacauicultura baiana. **Agroanalysis**, Rio de Janeiro, v.9, n.21, p.59-66, 2001.

PINTO, L.R.M.; PIRES, J.L. **Seleção de plantas de cacau resistentes à vassoura de bruxa**. Ilhéus: CEPLAC/CEPEC, 1998. 35 p. (Boletim Técnico, 181).

PYKE, E.E. The vegetative propagation of *Theobroma cacao* by softwood cuttings. **Tropical Agriculture**, Trinidad, v.8, n.9, p.249, 1931.

REYES, E.; MARÍA, A. Frecuencia de riego y niveles de fertilización en el desarrollo de plántulas de cacao (*Theobroma cacao* L.). In: INTERNATIONAL COCOA RESEARCH CONFERENCE, 14., 2003, Accra. **Proceedings...** Sabah: Cocoa Producers' Alliance, 2005. p. 253-258.

SANTANA, M.B.M.; EZETA, F.N.; MORAIS, F.I. Efeito de formas de nitrogênio no crescimento e na composição química de plântulas de cacau. **Revista Theobroma**, Ilhéus, v.10, n.1, p.31-39, 1980.

SÃO PAULO. Portaria CDA n.5, de 03 de fevereiro de 2005. Estabelece normas de medidas de defesa sanitária vegetal e certificação de conformidade fitossanitária de mudas cítricas no estado de São Paulo. Disponível em:
<<http://www.cda.sp.gov.br/www/legislacoes/popup.php?action=view&idleg=642>>. Acesso em 10 jul 2007.

SENA GOMES, A.R. Responses of seedlings of two varieties of *Theobroma cacao* to wind. **Tropical Agriculture**, Trinidad, v.66, n.2, p.137-141, 1989.

SENA GOMES, A.R.; KOZLOWSKI, T.T. Effects of temperature on growth and water relations of cacao seedlings. **Plant and Soil**, Netherlands, v.103, p.3-11, 1987.

SENA GOMES, A.R.; KOZLOWSKI, T.T.; REICH, P.B. Some physiological responses of *Theobroma cacao* var. Catongo seedlings to air humidity. **New Phytologist**, Cambridge, v.107, p.591-602, 1987.

SHAMSHUDDIN, J.; MUHRIZAL, S.; FAUZIAH, I.; HUSNI, M.H.A. Effects of adding organic materials to an acid sulfate soil on the growth of cocoa (*Theobroma cacao*) seedlings. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v.323, n.1/3, p.33-45, 2004.

SHEPHERD, R. Establishment and maintenance of cocoa seedling nurseries. **Cocoa Growers' Bulletin**, Birmingham, v.25, p.11-16, 1976.

SILVA L.F.; PEREIRA, C.P.; MELO, A.A.O. Efeito da compactação do solo no desenvolvimento de plântulas de cacau e na penetração de suas raízes. **Revista Theobroma**, Ilhéus, v.7, n.1, p.13-18, 1977.

SODRÉ, G.A. **Miniestaquia e substratos à base de tegumento da amêndoa do cacau e serragem na produção de mudas de cacauero**. 2007. 84 p. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2007.

SOUZA JR., J.O. **Fatores edafo-climáticos que influenciam a produtividade do cacauero cultivado no sul da Bahia, Brasil**. 1997. 146 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1997.

SOUZA JR., J.O.; RAMOS, A.; BRITO, A.M.L.; SODRÉ, G.A.; CARMELLO, Q.A.C. Diagnóstico nutricional de mudas clonais de cacau produzidas pelo Instituto Biofábrica de cacau (IBC), em Ilhéus, Bahia, no ano de 2005. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE SUBSTRATOS PARA PLANTAS, 5., 2006, Ilhéus. **Anais...** Ilhéus: CEPLAC, 2006. p.160.

SOUZA, C.A.S; DIAS, L.A.S. Melhoramento ambiental e sócio-economia. In.: DIAS, L.A.S. (Ed.). **Melhoramento genético do cacauero**. Viçosa: FUNAPE, UFG, 2001. p. 1-47.

VALERI, S.V.; CORRADINI, L. Fertilização em viveiros para produção de mudas de *Eucalyptus* e *Pinus*. In: GONÇALVES, J. L.M.; BENEDETTI, V. (Ed.). **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2000. p. 167-190.

2 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DO LIXIVIADO DA PRODUÇÃO DE MUDAS DE CACAU EM SUBSTRATOS ADUBADOS COM SUPERFOSFATO TRIPLO E COM IRRIGAÇÃO INTEMITENTE

Resumo

Em um experimento fatorial com cinco substratos (misturas, em volume, de 20, 35, 50, 65 e 80% de fibra de coco – FC, complementadas com Plantmax®) e cinco doses de superfosfato triplo – SFT (P = 0; 0,1; 0,2; 0,4 e 0,8 g dm⁻³), com três repetições, foram coletadas três amostras semanais do lixiviado de dois tubetes por parcela, durante 28 dias. A condutividade elétrica (CE) e o pH foram determinados nas 900 amostras coletadas do lixiviado e os nutrientes P, Ca, Mg e K foram quantificados em amostras médias semanais. O pH do lixiviado aumentou com o tempo, alcançando valores próximos ao pH da água de irrigação e depois decresceu, sendo essa variação diretamente proporcional à quantidade de FC presente no substrato. O pH do lixiviado reduziu e a CE aumentou com o incremento da dose de SFT, sendo que as variações foram maiores quando se aumentou a proporção de FC. A CE e o teor e o conteúdo dos nutrientes no lixiviado decresceram rapidamente com o tempo, independente do substrato. O fornecimento de SFT aumentou a lixiviação de todos os nutrientes analisados. As perdas de Ca, Mg e K foram proporcionais à riqueza desses nutrientes no substrato, enquanto a lixiviação do P aplicado foi inversamente proporcional à capacidade de adsorção de fosfato do substrato.

Palavras-chave: Lixiviação; Perda de nutrientes; Meio de cultivo; Fibra de coco; Fósforo

Abstract

Chemical characteristics of leach from cocoa tree nursery production in triple superphosphate fertilized potting mixes with intermittent irrigation

In a factorial experiment with five potting mix (20, 35, 50, 65 and 80% in volume of coconut fiber – CF and Plantmax® complementary) and five triple superphosphate – TSP rates (P = 0; 0.1; 0.2; 0.4 and 0.8 g dm⁻³) with three replications, three leach samples of two container-grown by plot was collected weekly during 28 days. Electric conductivity (EC) and pH were measured in the 900 collected leach samples and the nutrients P, Ca, Mg and K were quantified in weekly average samples. The leach pH increased with the time, independent of substrate, till similar values to water irrigation and later fall, and that variation was directly proportional to substrate CF amount. The TSP rates increase, reduced leach pH and increased EC and those variations were larger with CF proportion increase. Independent of substrate, EC, nutrients content and its nutrients amount in leach decreased quickly with time. The supply TSP increased all nutrients leaching. Ca, Mg and K losses were proportional to its substrate nutrients content, while applied P leaching was inversely proportional to phosphate adsorption capacity of substrate.

Keywords: Leaching; Nutrient loss; Growing media; Soilless; Cocont coir dust; Phosphorus

2.1 Introdução

Nos sistemas de produção de mudas em recipientes com substratos, em ambiente protegido ou semiprotégido, é intenso o uso de fertilizantes e de irrigação, sendo preocupantes as perdas de nutrientes, principalmente naqueles sistemas abertos onde a água de irrigação não re-circula e é descartada. Essas perdas são muito elevadas para nutrientes considerados móveis, como o N (THOMAS; PERRY JR., 1980; BIRRENKOTT; CRAIG; MCVEY, 2005), mas também podem ser bastante expressivas para aqueles considerados de baixa mobilidade no solo, como o P (YEAGER; BARRETT, 1984; KU; HERSHEY, 1997; GODOY; COLE, 2000).

Para garantir o sucesso na produção de mudas de cacau por estaquia é indispensável que a estaca tenha folha remanescente madura, visando, principalmente, garantir o suprimento de carboidratos e nutrientes minerais móveis e, que a umidade do ar ao seu redor seja próxima a 100%, para que não ocorra a desidratação do tecido, queda das folhas remanescentes e subsequente morte da estaca (PYKE, 1931; EVANS, 1951; MURRAY, 1954).

Em câmaras de enraizamento fechadas é fácil manter a umidade relativa do ar elevada, mas em viveiros de produção de mudas, onde é rápida a perda de água por evaporação para o ambiente, faz-se necessário o uso de irrigação intermitente com alta frequência. No Instituto Biofábrica de Cacau (IBC), Ilhéus-BA, na fase de enraizamento das estacas de cacau é utilizada irrigação intermitente a cada cinco minutos por 30 segundos, por 12 horas diárias. Nos primeiros anos de funcionamento do IBC foram utilizados bicos com vazão de 100 L h^{-1} , mas atualmente utilizam-se bicos com vazão de 40 L h^{-1} . Essa vazão atual, para uma área irrigada de 4 m^2 por bico, representa uma lâmina de irrigação teórica de 12 mm por dia, desconsiderada a água da chuva.

De modo geral, recomenda-se a utilização de fertilizantes fosfatados em adubação pré-plantio em substratos (YEAGER; BARRETT, 1984; WILLIAMS; NELSON, 1996; BATAGLIA; FURLANI, 2004). Essa prática, quando bem utilizada, favorecerá o

desenvolvimento da planta (GODOY; COLE, 2000), mas o uso de doses elevadas de P, além de serem antieconômicas, podem causar danos ao ambiente, devido ao carreamento desse nutriente pela água drenada, principalmente quando se utilizam fertilizantes solúveis, de liberação rápida (BROSCHAT, 1995; GODOY; COLE, 2000), elevada lâmina de água de irrigação (KU; HERSHEY, 1997), substratos com baixa capacidade de adsorção de P (YEAGER; WRIGHT, 1982; MARCONI; NELSON, 1984; WILLIAMS; NELSON, 1996) e plantas com taxas de enraizamento e de absorção de nutrientes lentas. Poder-se-ia pensar também, que a macroporosidade alta de muitos substratos poderia favorecer a eluviação de partículas sólidas do fertilizante, fato não comprovado para fertilizante solúvel por Yeager e Barrett (1984), que avaliando o P radioativo oriundo de lixiviado de substratos, concluíram que a lixiviação ocorreu apenas após a dissolução do superfosfato.

Estudos que avaliam as alterações químicas do lixiviado são importantes para a compreensão da dinâmica dos nutrientes no sistema, que, por sua vez, são subsídios para os estudos que visam à utilização racional dos fertilizantes e a minimização dos impactos dos mesmos no ambiente. Para a produção de mudas cítricas cultivadas em substrato, Bataglia et al. (2005) concluíram que o monitoramento da CE do lixiviado foi uma prática eficiente para evitar o suprimento excessivo ou deficiente de nutrientes; enquanto Birrenkott, Craig e Mcvey (2005) afirmaram que é possível o uso de sistema de coleta de lixiviado para monitorar a disponibilização de nutrientes por fertilizantes de liberação controlada e dependente da temperatura.

O objetivo deste trabalho foi avaliar as alterações no pH e na condutividade elétrica do lixiviado, bem como a lixiviação dos nutrientes (P, K, Ca e Mg) em sistema de produção de mudas de cacau por estaquia, submetidas à irrigação intermitente e cultivadas em tubetes com substratos adubados com doses de superfosfato triplo.

2.2 Material e Métodos

O experimento foi instalado em julho de 2005 em viveiro de produção de mudas do Instituto Biofábrica de Cacau (IBC), com laterais e teto de tela plástica do tipo sombrite 50%, no município de Ilhéus-BA. Sendo constituído por um fatorial 5 x 5: cinco

substratos (misturas, em volume, de 20, 35, 50, 65 e 80% de fibra de coco – FC, complementadas com Plantmax[®] – Pmax) e cinco doses de P (0; 0,1; 0,2; 0,4 e 0,8 g dm⁻³ de P, na forma de superfosfato triplo moído) aplicadas no preparo dos substratos para o plantio das estacas de cacau. O delineamento foi o de blocos casualizados, com três repetições, sendo a parcela formada por dois tubetes, com uma estaca herbácea de cacau por tubete em forma de cone, com as seguintes dimensões: 19 cm de comprimento, 5 cm de diâmetro na parte superior e capacidade para 288 cm³.

Os dois substratos originais foram peneirados (5 mm) visando eliminar as partículas grosseiras. O Plantmax[®] (Pmax) utilizado foi o “florestal estaca”, que é um substrato comercial composto de casca de pinus compostada, vermiculita expandida, carvão granulado e turfa. Os sete substratos, Pmax, FC e as cinco misturas destes, foram caracterizados quimicamente: pH, condutividade elétrica (CE) e nutrientes, pelo método holandês H₂O 1:1,5 v/v (SONNEVELD; ENDE; DIJK, 1974), CTC (BRASIL, 2006) e P remanescente (P-rem), adaptado de Alvarez V. et al. (2000), que foi o teor de P da solução de equilíbrio, após a agitação por uma hora, de 10 cm³ de substrato com 100 mL de solução de CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹ contendo 60 mg L⁻¹ de P, com repouso de cinco minutos e filtragem. Em amostra moída, determinou-se o teor total de C e de N em analisador elementar. Com os resultados do P-rem, para os dois substratos originais, fez-se a curva de adsorção de P com doses sugeridas por Alvarez V. et al. (2000).

Utilizou-se sistema irrigação do tipo nebulização intermitente automática, com água do rio Almada, programado para funcionar por 30 segundos a cada cinco minutos, no intervalo entre 06 e 18 horas, sendo o mesmo desligado nos períodos com chuva. Utilizaram-se bicos com vazão teórica de 40 L h⁻¹, para pressão entre 250 a 300 kPa e instalados numa configuração quadrática, com distância de 2 m entre bicos.

Os coletores de lixiviado eram vidros âmbar de capacidade para um litro e foram instalados abaixo dos tubetes. Sacos plásticos vazados, presos à parte inferior dos tubetes funcionaram como condutores do lixiviado até os coletores.

Durante 28 dias, foram coletadas três amostras semanais do lixiviado, com intervalo de dois ou três dias entre coletas. O lixiviado foi medido e nele determinaram-se o pH e a condutividade elétrica (CE). Amostras com 2% do volume coletado foram

retiradas e acondicionadas em geladeira, até a formação das amostras compostas semanais, nas quais determinaram-se: P (colorimetria), Ca e Mg (espectrometria de absorção atômica) e K (fotometria de chama).

Durante a dosagem de P no lixiviado, observou-se leitura de absorbância para os tratamentos que não receberam P, a qual variou de acordo com o substrato e com a semana de amostragem. Essa leitura pode ser devida à presença de P nativo e ou de compostos orgânicos lixiviados dos substratos, que foram detectados pelo espectrofotômetro. Por isso, para o cálculo da concentração efetiva de P lixiviado, em relação ao aplicado, as leituras médias semanais dos tratamentos que receberam P, para cada substrato e diluição, foram subtraídas daquelas que não receberam P. Yeager e Wright (1982), quantificando a lixiviação de P nativo em substrato à base de casca de pinus, constataram perda de 68 mg de P por kg de substrato, no primeiro dia; sendo que essa perda decresceu expressivamente com o tempo, chegando a menos de 3 mg kg⁻¹ de P, no 36º dia de coleta do lixiviado.

Os valores de pH e CE do lixiviado das 12 coletas e os teores, os conteúdos e conteúdos acumulados semanais de P, K, Ca, e Mg foram submetidos à análise de variância e de regressão, sendo aceitos os modelos que apresentassem todos os coeficientes significativos a até 10% de probabilidade, pelo teste F e o maior coeficiente de determinação ajustado. Para o pH e a CE, as regressões foram feitas para cada substrato, visando obter superfícies de resposta em função da dose de P e do tempo. Para os nutrientes, o substrato, expresso em porcentagem de FC, foi incluso no modelo, obtendo-se volumes de respostas.

2.3 Resultados e Discussão

Durante o período experimental, a média das coletas da água de irrigação, oriunda do rio Almada, indicou: CE 0,088 dS m⁻¹, pH 7,34 e teores, em mg L⁻¹, de 2,1; 0,1; 0,9 e < 0,1, para Ca, Mg, K e P, respectivamente. A irrigação média efetiva, calculada a partir dos volumes amostrados nas saídas dos bicos de irrigação, apontou lâmina diária em torno de 16 mm, 33% superior à lâmina teórica. Isso ocorreu porque o tempo efetivo médio de cada irrigação foi superior aos 30 segundos, ficando em torno

de 35 segundos e a pressão efetiva de trabalho na linha de irrigação, em alguns momentos, foi superior a 300 kPa. Em experimento avaliando lâminas de irrigação para enraizamento de mudas clonais de cacau, porém utilizando bicos de vazão teórica de 20 e 100 litros por hora, Ramos et al. (2006) encontrou, respectivamente, lâminas de irrigação efetiva 66% superior e 5% inferior à lâmina teórica.

Somada à lâmina de irrigação, houve também a precipitação pluviométrica, que foi de 133,6 mm durante o período dos 28 dias de coleta do lixiviado.

A CTC, expressa por unidade de massa, das misturas entre FC e Pmax variou pouco, apesar de o Pmax ter CTC 30% superior à da FC (Tabela 2.1). Isso ocorreu devido à grande diferença de densidade entre a FC e o Pmax, que foi respectivamente de 0,08 e 0,49 kg dm⁻³. O valor da CTC de 450 mmol_c kg⁻¹ para a FC está dentro da faixa encontrada por Verhagen (1999) para 17 amostras, que variou entre 347 e 485 mmol_c kg⁻¹. Quando se expressa a CTC por unidade de volume, essa variação foi diretamente proporcional à porcentagem dos substratos originais nas misturas, sendo a CTC do Pmax 752% superior à da FC (Figura 2.1).

O substrato Pmax foi mais rico em S, Ca e Mg, enquanto a FC apresentou maiores teores de cátions monovalentes (K e Na), além de ter relação C/N mais elevada (Tabela 2.1).

Outra característica química que merece atenção é o P-rem, pois é um bom indicativo da capacidade de adsorção de fosfato do material, entre outras aplicações (ALVAREZ V. et al., 2000), além de ser uma metodologia simples, barata e rápida de ser executada, ou seja, facilmente adaptável à rotina de qualquer laboratório de análise de solo. O P-rem aumentou linearmente com o aumento da proporção de FC no substrato (Figura 2.1), indicando que quanto maior a porcentagem de FC, menor será a adsorção de P pelo substrato. Esse raciocínio é ratificado quando se compara a recuperação de P em solução, após 24 horas de contato com os substratos, pois há adsorção de P pelo Pmax, enquanto a FC libera P para a solução, ou seja, ocorre dessorção (Figura 2.2), certamente porque o teor de P em solução na FC é alto (Tabela 2.1).

Tabela 2.1 – Análise química^{1/} dos substratos: fibra de coco (FC), Plantmax (Pmax) e suas misturas (FC:Pmax)

FC:Pmax	C	N	C/N	CTC	pH	CE	P	S	K	Na	Ca	Mg
%, v/v	g kg ⁻¹			mmol _c kg ⁻¹		dS m ⁻¹	mg L ⁻¹					
Pmax	282	8,3	34	585	5,2	1,1	1,5	161	91	16	115	51
20:80	307	8,0	38	530	5,2	1,1	1,6	156	113	59	105	48
35:65	312	7,8	40	495	5,3	1,0	1,8	126	134	88	83	53
50:50	318	7,7	41	505	5,3	0,9	1,6	99	150	127	58	42
65:35	320	7,3	44	505	5,3	0,9	1,8	78	195	190	40	35
80:20	325	6,6	49	495	5,3	0,8	2,5	43	205	206	15	20
FC	451	3,7	121	450	5,6	0,8	7,9	2	288	265	1	4

^{1/} Metodologias: C e N totais, por analisador elementar; pH, CE e elementos no extrato de H₂O 1:1,5 v/v (SONNEVELD; ENDE; DIJK, 1974) e CTC (BRASIL, 2006).

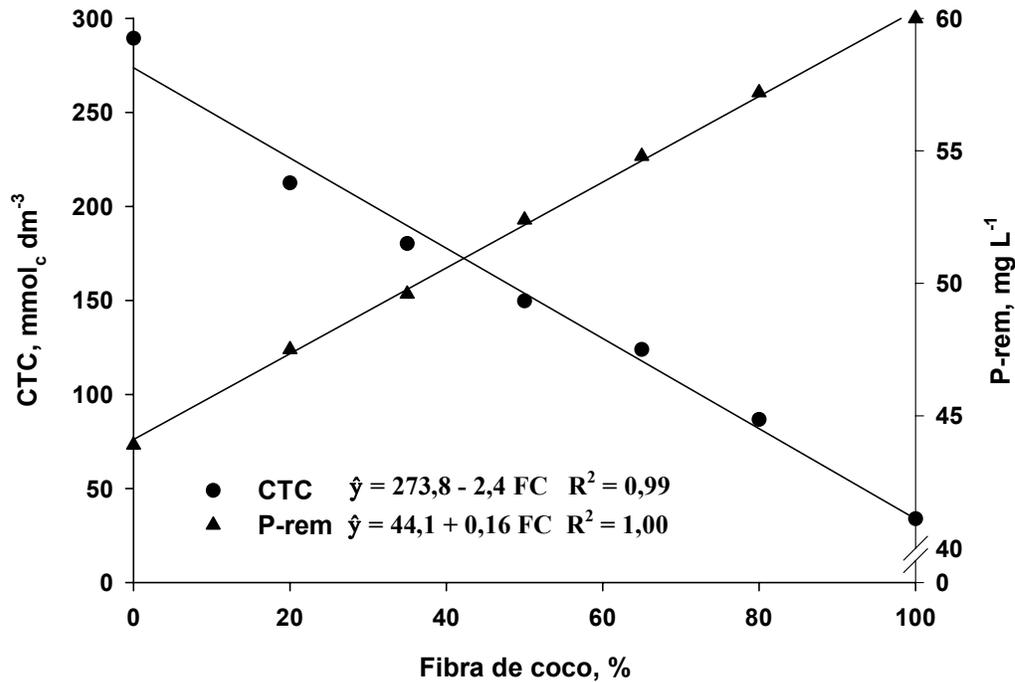


Figura 2.1 – CTC e P remanescente (P-rem) em função da porcentagem de fibra de coco (FC) no substrato

Tabela 2.2 – Equações de regressão ajustadas do pH e da CE do lixiviado em função da dose de P (g dm^{-3}) e do tempo (T – dia) e respectivos coeficientes de determinação, para cada substrato, misturas de fibra de coco (FC) e Plantmax (Pmax)

FC:Pmax	Equações de regressão	R ²
% v/v	----- pH -----	
20:80	$\hat{y} = 4,78 - 1,17^{**} P + 0,24^{\circ} P^2 + 0,19^{**} T - 0,0039^{**} T^2 + 0,0109^{**} PT$	0,91
35:65	$\hat{y} = 4,65 - 1,63^{**} P + 0,79^{\circ} P^2 + 0,21^{**} T - 0,0044^{**} T^2 + 0,0075^{\circ} PT$	0,93
50:50	$\hat{y} = 4,72 - 1,86^{**} P + 1,23^{**} P^2 + 0,23^{**} T - 0,0052^{**} T^2 + 0,0153^{**} PT$	0,91
65:35	$\hat{y} = 4,48 - 1,94^{**} P + 0,96^{**} P^2 + 0,28^{**} T - 0,0065^{**} T^2 + 0,0162^{**} PT$	0,90
80:20	$\hat{y} = 4,51 - 1,95^{**} P + 0,99^{**} P^2 + 0,31^{**} T - 0,0075^{**} T^2 + 0,0134^{**} PT$	0,89
	----- CE (dS m^{-1}) -----	
20:80	$\hat{y} = 0,01 + 3,28^{**} T^{-1} + 1,64^{**} P T^{-1}$	0,95
35:65	$\hat{y} = -0,06 + 3,89^{**} T^{-1} + 0,59^{*} P T^{-1}$	0,96
50:50	$\hat{y} = -0,06 + 3,48^{**} T^{-1}$	0,93
65:35	$\hat{y} = -0,16 + 5,23^{**} T^{-1}$	0,98
80:20	$\hat{y} = -0,15 + 3,94^{**} T^{-1} + 0,86^{**} P T^{-1}$	0,96

^{*}, ^e e ^o, para p < 1; 5 e 10%, respectivamente, pelo teste F.

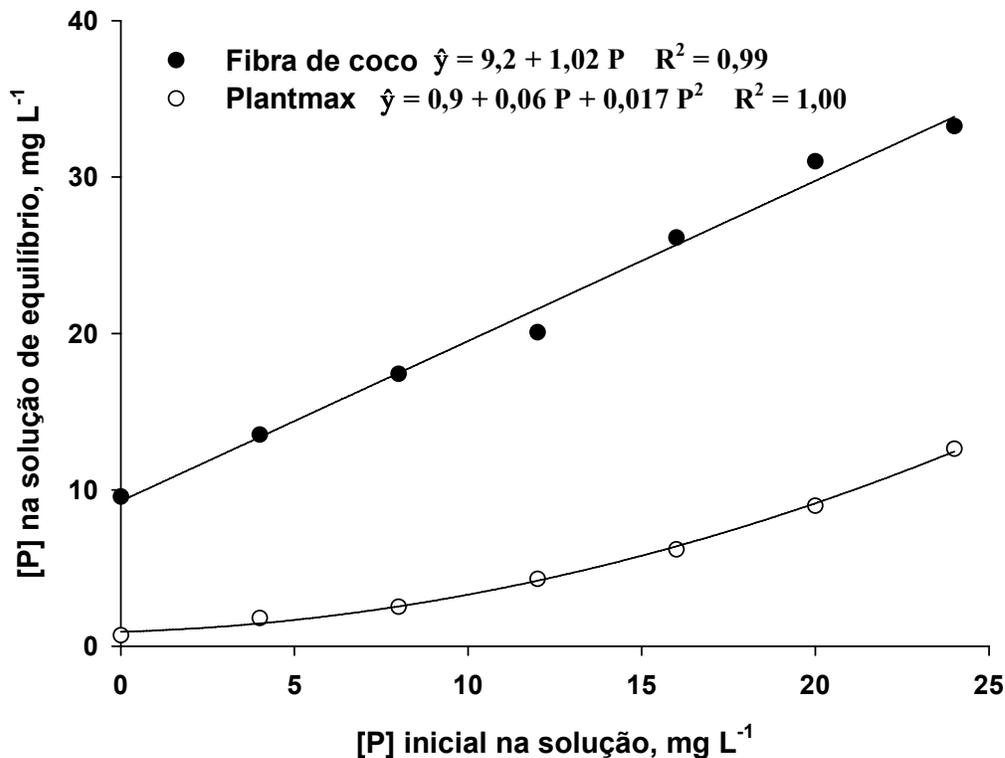


Figura 2.2 – Recuperação de P, após 24 horas de contato de 2,00 g dos substratos fibra de coco e Plantmax com 50 mL de solução com P

A isoterma de adsorção de P pelo Pmax é apresentada na figura 2.3, onde se observa que a capacidade máxima de adsorção de P por esse substrato gira por volta de 300 mg kg^{-1} , ou seja, ainda é uma adsorção relativamente baixa, quando comparada com a adsorção de P por solos minerais. Williams e Nelson (1996) encontraram uma adsorção máxima de P para um substrato com 70% de turfa e 30% de perlita em torno de 250 mg dm^{-3} e concluíram que a adição de 320 mg dm^{-3} de Al, na forma de sulfato de alumínio, aumentou a adsorção e reduziu a lixiviação de P, sem comprometer o desenvolvimento das mudas de crisântemo.

Independente do substrato, o pH do lixiviado apresentou efeito quadrático significativo com o tempo e com o P aplicado, sendo a interação P x tempo também significativa (Tabela 2.2 e Figura 2.4a). Na verdade, todas as interações entre tempo, dose de P e tipo de substrato foram significativas para o pH do lixiviado (Tabela 2.2).

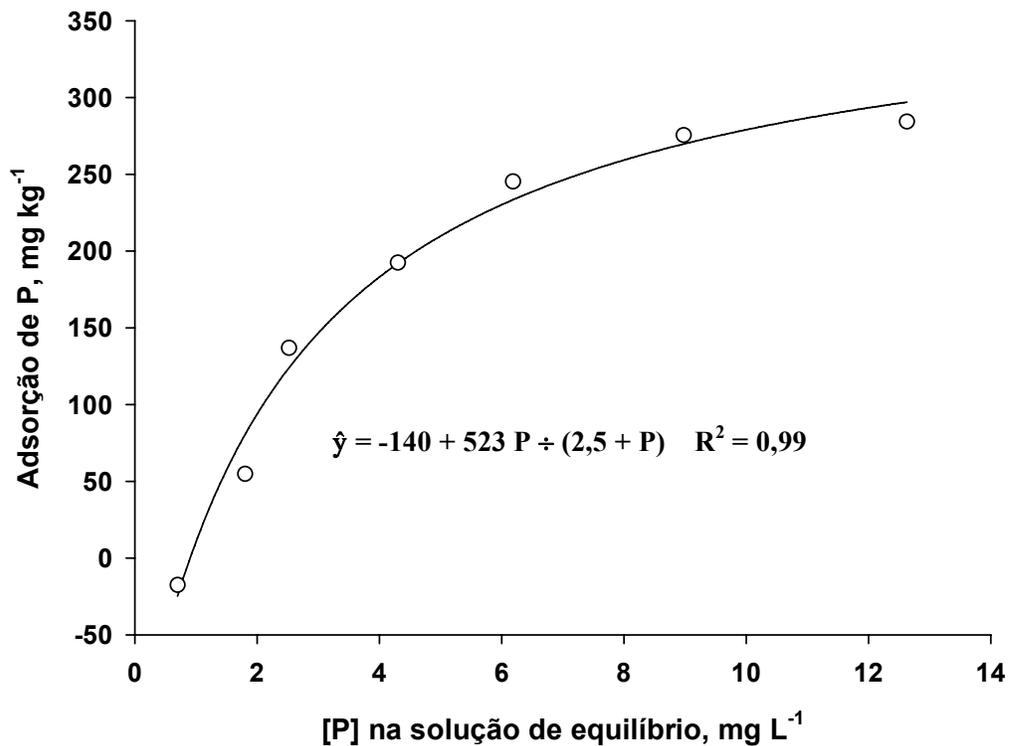


Figura 2.3 – Adsorção de P pelo substrato Plantmax em função da concentração de P na solução de equilíbrio

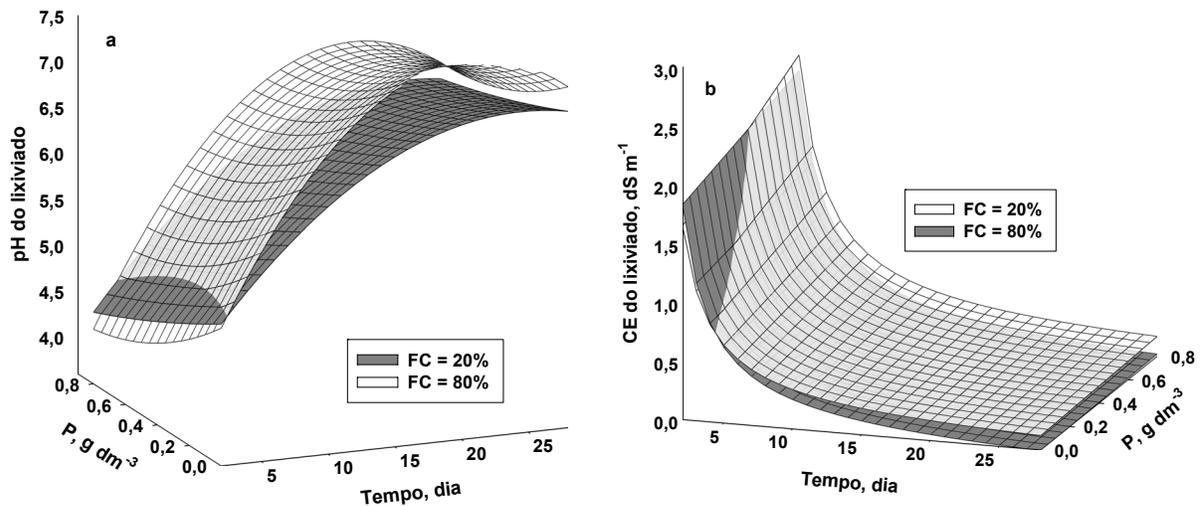


Figura 2.4 – pH (a) e condutividade elétrica – CE (b) do lixiviado em função do tempo e da dose de P, para os substratos com 20 e 80% de fibra de coco (FC)

O pH do lixiviado aumentou com o tempo (Figura 2.4a), alcançando valores próximos ao pH da água de irrigação. A partir do 24^o dia, em média, iniciou tendência de queda, período próximo àquele apontado por Evans (1951) e Sacramento et al. (2001) como o início da produção das raízes, o que sugere possível início da absorção de nutrientes, com conseqüente alteração do pH do substrato e do seu lixiviado. Quanto maior a porcentagem de FC no substrato, mais rápida foi a alteração do pH do lixiviado (Figura 2.4a); para o substrato com 80% de FC e 20% de Pmax esse equilíbrio foi atingido a partir do 14^o dia, evidenciado o pequeno tamponamento do mesmo.

O aumento da dose de P, na forma de superfosfato triplo (SFT), reduziu o valor do pH do lixiviado, sendo essa redução maior com o aumento da proporção de FC no substrato (Tabela 2.2). Certamente a acidez residual presente no SFT e ou o deslocamento de íons H⁺, para a solução do substrato, pelo Ca²⁺ presente no SFT contribuíram para o abaixamento do pH do lixiviado. Porém, se observa que essa variação do pH, apesar de significativa, foi de magnitude bem inferior, quando comparada com aquela provocada pelo tempo (Figura 2.4a).

Para a CE do lixiviado, as interações duplas entre substrato com o P e com o tempo foram significativas. Para três substratos, a interação P x tempo também foi significativa (Tabela 2.2), evidenciando o efeito do fertilizante de P em aumentar a CE

do lixiviado, principalmente nos primeiros dias após a aplicação do mesmo e o início da lixiviação (Figura 2.4b).

Independente do substrato, a CE decresceu rapidamente com o tempo (Tabela 2.2), sendo essa queda pouco mais acentuada quanto maior o teor de FC no substrato (Figura 2.4b). Em média, a CE do lixiviado passou de 2,04 para 0,24 dS m⁻¹ entre a primeira e a quinta coleta, ou seja, num intervalo de 12 dias, alcançando valor médio de 0,13 dS m⁻¹ aos 21 dias após o início do experimento. Para os substratos mais ricos em Pmax, a CE do lixiviado alcançou valores levemente superiores aos da água de irrigação, enquanto que para aqueles mais ricos em FC a CE do lixiviado ficou semelhante ao da água de irrigação. Kerr e Hanan (1985) também observaram decréscimo rápido da CE do lixiviado de 10 substratos salinizados, lavados com lâminas de 10 mm de soluções diluídas de CaCl₂ e NaCl.

Na tabela 2.3 são apresentadas as equações de regressão ajustadas (volumes de resposta) do teor, do conteúdo e do conteúdo acumulado de P, K, Ca e Mg no lixiviado em função da dose de P, da porcentagem de FC e do tempo. Na figura 2.5 são apresentadas algumas superfícies de resposta, oriundas de cortes desses volumes, para o conteúdo lixiviado acumulado, de cada nutriente.

Comparando os coeficientes de determinação das equações de regressão de teor e de conteúdo de nutrientes no lixiviado, observa-se que estes foram maiores para o conteúdo, independente do nutriente analisado (Tabela 2.3), evidenciando que as equações de regressão para conteúdo foram melhores ajustadas, o que comprova o óbvio: a lixiviação de nutrientes depende do volume lixiviado. Apesar de se utilizar uma mesma lâmina, num sistema de irrigação que apresenta coeficiente de uniformidade elevado, em torno de 97%, os substratos FC e Pmax apresentam capacidades de retenção e drenagem de água distintas (Siqueira e Almeida, 2005), sem contar com os possíveis efeitos de “guarda-chuva” e de “calha” das folhas remanescentes das estacas de cacau, que podem, respectivamente, reduzir a água efetiva que chega ao substrato, por efeito de cobertura parcial do tubete vizinho; ou aumentá-la, devido a direcionar a água captada pela folha para a base da estaca e conseqüentemente para o tubete. O uso do conteúdo pode também minimizar possível efeito de diluição, devido à captura

de água não oriunda da lixiviação do tubete, visto que o sistema de coleta utilizado não era hermeticamente fechado.

Tabela 2.3 – Equações de regressão ajustadas do teor ou do conteúdo de nutrientes no lixiviado em função da dose de P^{1/} (g dm⁻³), da porcentagem de fibra de coco no substrato (FC – %) e do tempo (T – dia) e respectivos coeficientes de determinação

Nutriente	Equações de regressão	R ²
----- Teor (mg L ⁻¹) -----		
P	$\hat{y} = 0,3 - 41,0^* T^{-1} - 0,96^{**} P FC + 576^{**} P T^{-1} + 0,86^{**} FC T^{-1} + 14,4^{**} P FC T^{-1}$	0,95
K	$\hat{y} = -20,0 + 846^{**} T^{-1} - 0,44^{**} FC + 7,4^{**} FC T^{-1}$	0,91
Ca	$\hat{y} = -20,1 - 12,6^{**} P + 0,16^{**} FC + 536^{**} T^{-1} + 321^{**} P T^{-1} - 4,9^{**} FC T^{-1}$	0,86
Mg	$\hat{y} = -12,8 - 4,6^{**} P + 0,07^{**} FC + 368^{**} T^{-1} + 236^{**} P T^{-1} - 2,6^{**} FC T^{-1} - 1,7^{**} P FC T^{-1}$	0,87
----- Conteúdo (mg por tubete) -----		
P	$\hat{y} = 0,1 + 15,0^{**} P - 0,89^{**} P FC + 179^{**} P T^{-1} + 14,5^{**} P FC T^{-1}$	0,97
K	$\hat{y} = -4,0 - 9,2^{**} P - 0,33^{**} FC + 567^{**} T^{-1} + 3,6^{**} FC T^{-1} + 3,5^{**} P FC T^{-1}$	0,96
Ca	$\hat{y} = -11,2 - 7,9^{**} P + 0,08^{**} FC + 346^{**} T^{-1} + 214^{**} P T^{-1} - 3,1^{**} FC T^{-1}$	0,92
Mg	$\hat{y} = -6,1 + 249^{**} T^{-1} + 73^{**} P T^{-1} - 1,8^{**} FC T^{-1}$	0,90
----- Conteúdo acumulado (mg por tubete) -----		
P	$\hat{y} = 0,2 + 134^{**} P + 0,67^{**} P FC - 697^{**} P T^{-1} + 4,7^{**} P FC T^{-1}$	0,99
K	$\hat{y} = 165 - 0,22^* FC - 664^{**} T^{-1} + 0,40^{**} P FC + 3,7^{**} FC T^{-1}$	0,83
Ca	$\hat{y} = 56,8 + 28,1^{**} P - 0,56^{**} FC - 57,0^{**} T^{-1} + 0,13^* P FC - 77^{**} P T^{-1}$	0,88
Mg	$\hat{y} = 47,9 + 21,0^{**} P - 0,45^{**} FC - 60^{**} T^{-1} - 130^{**} P T^{-1} + 1,3^{**} P FC T^{-1}$	0,85

* e **, para p < 1 e 5%, respectivamente, pelo teste F.

^{1/} Nas equações, o fertilizante (superfosfato triplo – SFT) é expresso em doses de P; o SFT utilizado tinha 19,0% de P (solúvel em CNA + água), 16,4% de Ca e 2,0% de S.

O tempo foi determinante na lixiviação dos nutrientes (Tabela 2.3), visto que os teores e os conteúdos dos nutrientes no lixiviado reduziram rapidamente com o tempo, sendo as maiores perdas observadas na primeira semana e, obviamente, o conteúdo acumulado de nutrientes lixiviados aumentou com o tempo (Figura 2.5). Os teores médios no lixiviado das quatro semanas analisadas foram respectivamente de: 41,2; 4,2; 3,3 e 2,3 mg L⁻¹, para o Ca; 31,0; 4,4; 3,2 e 2,0 mg L⁻¹, para o Mg e 136, 30, 17 e 10 mg L⁻¹, para o K.

Para o P, as perdas acumuladas até os 28 dias variaram de 39 a 74% do P aplicado, sendo que em média 63% dessa perda ocorreu na primeira semana. A lixiviação elevada de P em substratos formados por misturas de casca de pinus, turfa e

areia também foram observadas por Yeager e Barrett (1984), que encontraram perdas médias acumuladas de 30, 55 e 71% dos 261 mg dm⁻³ do P aplicado, após um, sete e 21 dias, respectivamente.

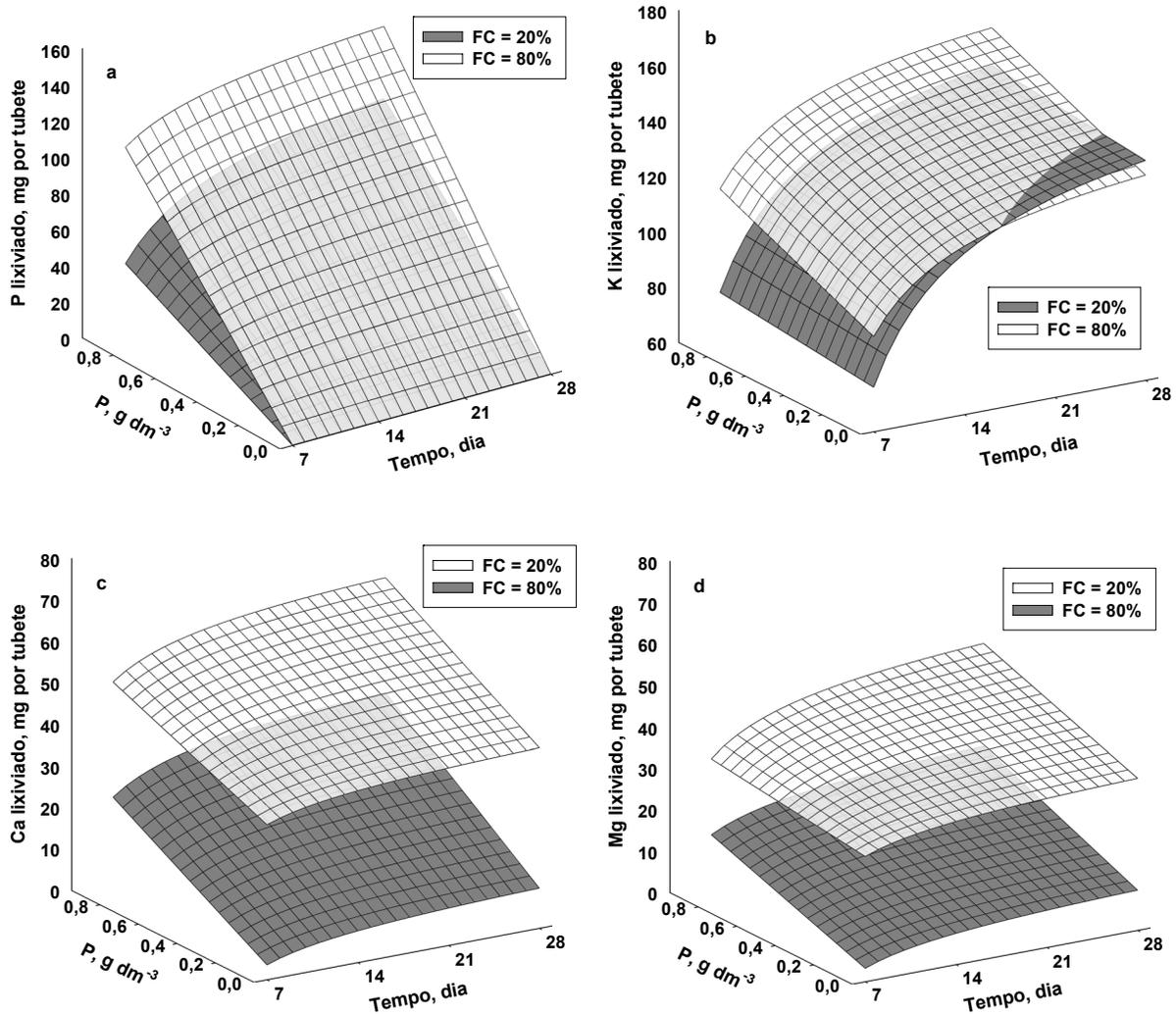


Figura 2.5 – Lixiviação acumulada de P (a), K (b), Ca (c) e Mg (d) em função do tempo e da dose de P, para os substratos com 20 e 80% de fibra de coco (FC)

A adição de SFT aumentou a lixiviação de K, Ca e Mg (Tabela 2.3 e Figuras 2.5b, 2.5c e 2.5d); apenas o teor de K no lixiviado não foi afetado significativamente pelas doses desse fertilizante (Tabela 2.3). O Ca presente no STF certamente favoreceu a sua própria lixiviação e a dos demais cátions. Como esperado, a lixiviação

do P foi proporcional à dose aplicada, sendo essa perda mais expressiva, quanto maior a proporção de FC no substrato e o tempo decorrido (Figura 2.5a), provavelmente devido às interações significativas entre P e as demais variáveis independentes, substrato e tempo (Tabela 2.3).

A lixiviação dos cátions foi influenciada pelo substrato (Tabela 2.3), quanto maior a porcentagem de FC no substrato menor foi a lixiviação de Ca e Mg (Figuras 2.5c e 2.5d, respectivamente), certamente porque esse substrato era muito pobre nesses nutrientes (Tabela 2.1). Para o K, o conteúdo no lixiviado foi alterado significativamente pelo substrato (Tabela 2.3), sendo o contrário do observado para Ca e Mg, ou seja, quanto maior a porcentagem de FC maior foi a perda de K (Figura 2.5b), resultado que pode ser explicado pelo mesmo motivo anterior, riqueza do substrato, sendo que a FC apresentava teor elevado de K (Tabela 2.1).

A lixiviação de P foi inversamente proporcional à capacidade de adsorção de P pelo substrato, ou seja, quanto mais rico em FC era o substrato, menor era sua capacidade de adsorção de P, inferida pelo P-rem (Tabela 2.1), e maior foi a lixiviação de P (Figura 2.5a). Essa relação inversa entre adsorção e lixiviação de P em substratos também foi constatada por Marconi e Nelson (1984) e Williams e Nelson (1996).

2.4 Conclusões

O pH do lixiviado variou com o substrato, o tempo e a dose de superfosfato triplo, sendo o tempo o fator que mais influenciou essa variação.

Independente do substrato, a condutividade elétrica e o teor e o conteúdo de nutrientes no lixiviado decresceram rapidamente com o tempo, mas aumentaram com a adição do superfosfato triplo.

As perdas de cátions básicos foram proporcionais à riqueza do nutriente no substrato, enquanto a lixiviação do P aplicado foi inversamente proporcional à capacidade de adsorção de fosfato do substrato.

Referências

- ALVAREZ V., V.H.; NOVAIS, R.F.; DIAS, L.E.; OLIVEIRA, J.A. Determinação e uso do fósforo remanescente. **Boletim Informativo - Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, n.1, p.27-32, 2000.
- 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. **Anais...** Viçosa: UFV, 2004. p. 106-128.
- BATAGLIA, O.C.; QUAGGIO, J.A.; ABREU, M.F.; BOAVENTURA, P.S.R. Nutrient uptake and leaching on citrus nursery production in substrate with two fertilizer management programs. **Acta Horticulturae**, Hauge, v.697, p.281-284, 2005.
- BIRRENKOTT, B.A.; CRAIG, J.L.; MCVEY, G.R. Effects of substrate type on plant growth and nitrate leaching in cut flower production of oriental lily. **Hortscience**, Alexandria, v.40, p.2135-2137, 2005.
- BRASIL. Instrução Normativa n.46, de 12 de setembro de 2006. Aprova os métodos analíticos oficiais para análise de substratos e condicionadores de solos. **Diário Oficial da União**, Brasília, 14 set. 2006. Seção 1, p. 2-3.
- BROSCHAT, T.K. Nitrate, phosphate, and potassium leaching from container-grown plants fertilized by several methods. **Hortscience**, Alexandria, v.30, p.74-77, 1995.
- EVANS, H. Investigations on the propagation of cacao. **Tropical Agriculture**, Trinidad, v.28, n.7/12, p.147-203, 1951.
- GODOY, A.; COLE, J.C. Phosphorus source affects phosphorus leaching and growth of containerized Spirea. **Hortscience**, Alexandria, v.35, p.1249-1252, 2000.
- KERR, G.P; HANAN, J.J. Leaching of container media. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v.110, n.4, p.474-480, 1985.
- KU, C.S.M.; HERSHEY, D.R. Growth response, nutrient leaching, and mass balance for potted poinsettia. II. Phosphorus. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v.122, n.3 p.459-464, 1997.

MARCONI, D.J.; NELSON, P.V. Leaching of applied phosphorus in container media. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v.22, n.3, p.275-285, 1984.

MURRAY, D.B. A new technique in the vegetative propagation of cacao. **Report on Cacao Research**, Trinidad, ano.1953, p.53-55, 1954.

PYKE, E.E. The vegetative propagation of *Theobroma cacao* by softwood cuttings. **Tropical Agriculture**, Trinidad, v.8, n.9, p.249, 1931.

RAMOS, A.; SOUZA JR., J.O.; MARROCOS, P.C.L.; SODRÉ, G.A.; BRITO, A.M.L.; OLIVEIRA, G.S.; PACRECO JR., R.G. Sobrevivência e enraizamento de mudas de cacau clonadas em diferentes regimes hídricos. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE SUBSTRATOS PARA PLANTAS, 5., 2006, Ilhéus. **Anais...** Ilhéus: CEPLAC, 2006. p. 165.

SACRAMENTO, C.K.; FARIA, J.C.; PALACIOS, J.B.; CERQUEIRA, L.S. Enraizamento e crescimento de estacas de cacauzeiro (clone TSH 1188) em função do tempo de estaqueamento. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FISILOGIA VEGETAL, 8., 2001, Ilhéus. **Anais...** Ilhéus: SBFV, 2001. 1 CD-ROM.

SIQUEIRA, P.R.; ALMEIDA, H.A. Uso de um dispositivo "lisimétrico" para medida do balanço hídrico em mudas clonais de cacau cultivadas em tubetes. In: INTERNATIONAL COCOA RESEARCH CONFERENCE, 14., 2003, Accra. **Proceedings...** Sabah: Cocoa Producers' Alliance, 2005. p. 487-492.

SONNEVELD, C.; ENDE, J. van der; DIJK, P.A. van. Analysis of growing media by means of a 1:1½ volume extract. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.5, n.3, p.183-202, 1974.

THOMAS, S.; PERRY JR. Ammonium nitrogen accumulation and leaching from an all pine bark medium. **Hortscience**, Alexandria, v.15, p.824-824, 1980.

VERHAGEN, J.B.G.M. CEC and the saturation of the adsorption complex of coir dust. **Acta Horticulturae**, Hauge, v.481, p.151-155, 1999.

WILLIAMS, K.A.; NELSON, P.V. Modifying a soilless root medium with aluminum influences phosphorus retention and *Chrysanthemum* growth. **Hortscience**, Alexandria, v.31, n.3, p.381-384, 1996.

YEAGER, T.H.; WRIGHT, R.D. Pine bark – Phosphorus relationships. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.13, n.1, p.57-66, 1982.

YEAGER, T.H.; BARRETT, J.E. Phosphorus leaching from ³²P-superphosphate-amended soilless container media. **Hortscience**, Alexandria, v.19, n.2, p.216-217, 1984.

3 DISPONIBILIDADE DE NUTRIENTES EM SUBSTRATOS ADUBADOS COM DOSES DE FÓSFORO PARA O CULTIVO DE MUDAS CLONAIS DE CACAU

Resumo

O experimento, com cinco proporções dos substratos fibra de coco e Plantmax® (variando de 20 a 80% de cada um deles) e cinco doses de P no plantio ($P = 0; 0,1; 0,2; 0,4$ e $0,8 \text{ g dm}^{-3}$), foi instalado em viveiro de produção de mudas do Instituto Biofábrica de Cacau, Ilhéus-BA. O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, com três repetições e cada parcela tinha inicialmente 27 estacas de cacau (uma estaca por tubete de 288 cm^3), clone PH 16, sendo a parcela útil de 12 plantas. Em cobertura, a partir dos 60 dias, foram feitas dez adubações, com 40 mg dm^{-3} de N e 20 mg dm^{-3} de K por semana; fez-se uma adubação complementar, para todos os tratamentos, com 20 mg dm^{-3} de P aos 115 dias. O experimento foi colhido após 150 dias de cultivo, sendo as plantas subdivididas em: folha diagnóstica-1 e folha diagnóstica-2 (terceira folha do primeiro e do segundo lançamentos, respectivamente), demais folhas e caule. Esse material foi analisado quimicamente (macro e micronutrientes). O substrato foi amostrado e analisado por metodologias utilizadas para solo (Mehlich-1, resina de troca iônica, KCl, $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$, DTPA e H_2O quente) e específicas para substrato (CAT e H_2O 1:1,5). A terceira folha do primeiro lançamento maduro foi a mais indicada para ser utilizada como folha diagnóstica para a produção de mudas de cacau. As metodologias utilizadas para avaliar a fertilidade de solos e as específicas para substrato mostraram-se boas indicadoras da disponibilidade de P, K e Ca nos substratos. As metodologias utilizadas para análise de solo também apontaram correlações significativas entre Cu no substrato e na planta. As correlações entre os teores dos nutrientes no substrato variaram de acordo com as metodologias e os elementos.

Palavras-chave: Análise química de substrato; Extratores de nutrientes; Fibra de coco; Nutrição; *Theobroma cacao*

Abstract

Nutrients availability in phosphorus fertilized potting mix for rooted cocoa tree cutting growth

The experiment was carried out in the Biofábrica Cocoa Institute nursery at Ilhéus, Bahia, Brazil, using five coconut fiber and Plantmax® substrates proportions (from 20 to 80% of each one) and five P rates ($P = 0; 0.1; 0.2; 0.4$ and 0.8 g dm^{-3}) applied at cuttings transplanting day. Three replications were arranged in a randomized complete block design, using initially 27 cocoa cuttings of clone PH 16 per plot (one cutting per 288 cm^3 container-grown), whereas 12 plants were used for determinations. Starting 60 days after the transplanting (DAT), doses of N and K, respectively, 40 and 20 mg dm^{-3} , were added to the substrate surface, once a week and an additional P fertilization with 20 mg dm^{-3} was used for all treatments at 115 DAT. The plants were

picked after 150 DAT and they were divided into: diagnostic leaf-1 and diagnostic leaf-2 (third leaf from first and second mature branches, respectively), other leaves and stems. These plant parts were analyzed for macro and micronutrients. Substrates were analyzed, using soil fertility methodologies (Mehlich-1, ionic change resin, KCl, $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$, DTPA and hot H_2O) and specific substrate methodologies (CAT and H_2O 1:1,5). Third leaf from first mature branch (diagnostic leaf-1) was the most indicated as cocoa nursery trees production diagnostic leaf. Soil fertility methodologies and those substrate specific showed to be good indicators to P, K and Ca availability in substrate. Soil analysis methodologies also indicated significant correlations between Cu concentration in substrate and plant tissues. Correlations among nutrients content in substrate changed according to methodologies and elements.

Keywords: Substrate testing; Analysis of growing media; Soilless; Cocont coir dust; Nutrition; *Theobroma cacao*

3.1 Introdução

Ao contrário da análise de solos, para o qual já se desenvolveram muitos estudos com boas correlações entre teores no solo e absorção pelas plantas ou produtividade, para substratos ainda não existem extratores ideais (BATAGLIA; FURLANI, 2004). Segundo Abreu et al. (2002), quando os meios de crescimento usados em recipientes eram solos, os métodos de análise de solo proporcionavam resultados aceitáveis, mas com a mudança na composição dos substratos, incluindo turfa e materiais inertes, esses métodos tornaram-se inadequados.

No Brasil, as pesquisas que avaliaram a disponibilidade de nutrientes em substratos são ainda mais escassas, inclusive há necessidade de se comparar metodologias consagradas para análise de solos e aquelas preconizadas em outros países para análises de substratos, uma vez que muitos dos substratos nacionais são bastante diferentes daqueles utilizados na Europa e nos Estados Unidos. Além disso, a quase totalidade dos laboratórios brasileiros de análises de solo não dispõe de espectrômetro de emissão atômica, aparelho indispensável para a dosagem simultânea de elementos em baixas concentrações, comumente encontrados em extratos oriundos de algumas metodologias típicas para substratos, utilizadas em outros países.

Segundo Alt e Peters (1993) e Alt (2001), um método de análise química e econômica de substratos deve cumprir as seguintes condições: ser facilmente

adaptável à análise de rotina, extrair simultaneamente macro e micronutrientes em um único extrato e resultar em boa indicação da disponibilidade de nutrientes para as plantas. Além destas características podem-se acrescentar: a metodologia deve apresentar boa reprodutibilidade e repetibilidade, não gerar resíduos potencialmente tóxicos e ter custo acessível. É importante ressaltar também que extratores multi-elementares, apesar de serem desejáveis, nem sempre conseguem retratar boa disponibilidade para todos os nutrientes.

Os extratores aquosos são os mais empregados, diferenciando-se entre si pela proporção entre a água e o substrato, pela umidade prévia do material, a tomada da alíquota em peso ou volume (ABREU; ABREU; BATAGLIA, 2002), a agitação e o período de extração (ABREU et al., 2006). Dentre os métodos aquosos avaliados por Furlani et al. (2005) e Abreu et al. (2006) para a caracterização química de substratos, o método holandês (H_2O 1:1,5) e o extrato de saturação seriam os mais recomendados, pois permitiram discriminar mais eficientemente o efeito de fertilizantes, estimar melhor a disponibilidade de nutrientes e a sua necessidade de reposição. Contudo, o extrato de saturação é um método bastante trabalhoso e demorado, não sendo adequado para rotina (ABREU; ABREU; BATAGLIA, 2002), apesar de ser utilizado rotineiramente nos Estados Unidos (WARNCKE, 1986) e considerado um método de referência para análise de substratos (ABREU et al., 2006).

Outra metodologia que merece destaque é o método CAT ($CaCl_2$ -DTPA), que tem como principal vantagem possibilitar a mensuração simultânea de vários nutrientes: íons trocáveis, exceto Ca e Cl, fósforo disponível e micronutrientes (ALT; PETERS, 1993). Bataglia e Furlani (2004) também afirmaram que os extratores que têm mostrado o melhor desempenho para análise de diversos nutrientes nos substratos são: o método CAT, H_2O 1:1,5 e o extrato de saturação.

No Brasil, a legislação recente sobre métodos analíticos para análise de substrato, quanto à caracterização química, só regulamenta a determinação do pH, da condutividade elétrica e da CTC, preconizando a metodologia H_2O 5:1 (BRASIL, 2006).

O objetivo deste trabalho foi verificar se as metodologias utilizadas no Brasil para a avaliação da fertilidade de solos e duas das metodologias utilizadas na Europa para substratos correlacionam-se com a absorção de nutrientes por mudas de cacau

cultivadas em substratos à base de Plantmax® e fibra de coco. Objetivou-se também definir a melhor folha para ser utilizada como diagnóstica e avaliar a correlação dos teores de nutrientes extraídos entre as metodologias.

3.2 Material e Métodos

O experimento foi instalado em julho de 2005, em viveiro de produção de mudas, com laterais e teto de tela plástica do tipo sombrite 50%, no Instituto Biofábrica de Cacau (IBC), em Ilhéus, Bahia. Sendo composto por fatorial completo 5 x 5: cinco substratos e cinco doses de P aplicadas no plantio das estacas (0; 0,1; 0,2; 0,4 e 0,8 g dm⁻³ de P, na forma de superfosfato triplo moído). Os substratos utilizados foram cinco misturas (20, 35, 50, 65 e 80%, em volume) dos substratos fibra de coco (FC) e Plantmax® (Pmax – substrato comercial, recomendado para produção de mudas de espécies florestais propagadas por estaquia, composto de casca de pinus compostada, vermiculita expandida, carvão granulado e turfa). Os substratos originais foram peneirados, em peneira de abertura de malha de 5 mm.

O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, com três repetições. A parcela inicial era formada por bandeja com 27 tubetes de 288 cm³ e uma estaca de cacauero do clone PH 16 por tubete. Utilizaram-se estacas apicais semi-herbácea, 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⁻¹ de AIB em talco e a profundidade de estaqueamento em torno de 6 cm. A parcela útil foi mantida com 12 plantas, sendo que as demais plantas sobreviventes foram identificadas e ficaram como sobressalentes para reposição, se necessário.

A partir do 60 dias, foram feitas adubações semanais com 40 e 20 mg dm⁻³ de N e de K, respectivamente, na forma de uréia e cloreto de potássio; fez-se no total dez adubações com N e K. Aos 115 dias, fez-se uma adubação complementar, para todos os tratamentos, com 0,02 g dm⁻³ de P, na forma de fosfato monoamônico. Os fertilizantes foram aplicados na forma líquida, sendo utilizado 2,0 mL da solução por tubete.

O controle fitossanitário, no total de nove aplicações durante os 150 dias de cultivo, seguiu o adotado pelo IBC, com a utilização de fungicidas, acaricidas e inseticidas, à base de mancozeb, óxido cuproso, endosulfan e methamidophos, com oito, duas, três e duas aplicações, respectivamente.

A irrigação utilizada também foi semelhante à adotada pelo IBC: nebulização intermitente automática, com água do rio Almada, com funcionamento do sistema das 06 às 18 horas, sendo o mesmo desligado nos períodos com chuva. Utilizaram-se bicos com vazão teórica de 40 litros por hora, para pressão entre 250 a 300 kPa, e área irrigada de 4 m² por bico. Na fase de enraizamento, 60 primeiros dias, a irrigação foi efetuada a cada cinco minutos, durante 30 segundos; posteriormente o número de irrigações foi reduzido gradativamente, até alcançar três irrigações diárias. O tempo de irrigação foi ajustado de acordo com a fase de desenvolvimento das mudas e as condições climáticas.

O experimento foi colhido após 150 dias de cultivo, sendo a parte aérea emitida subdividida em quatro partes: folha diagnóstica-1 (FD1) e folha diagnóstica-2 (FD2), respectivamente, terceira folha do primeiro lançamento (folha coriácea, completamente madura e de coloração verde-escuro) e terceira folha do segundo lançamento (folha também coriácea, completamente expandida, mas que ainda não estava completamente madura, apresentando coloração verde-cana); demais folhas e caule. A parte aérea remanescente da estaca original foi descartada.

O material vegetal foi lavado (rápida imersão em: água corrente, solução de detergente neutro 0,1%, água corrente, solução de HCl 3%, água destilada e água destilada novamente); para FD1 e FD2, após a solução de detergente, fez-se lavagem mecânica, esfregando-se levemente a superfície da folha com chumaço de algodão embebido com a solução de detergente. Optou-se por essa lavagem rigorosa, devido ao elevado uso de agrotóxicos contendo nutrientes. Posteriormente, procedeu-se a secagem em estufa com circulação forçada de ar a 65 °C, por três dias; depois o material foi pesado, moído e analisado quimicamente, de acordo com EMBRAPA (1999).

O substrato também foi amostrado e analisado por duas metodologias específicas para substrato utilizadas na Europa e por metodologias aplicadas no Brasil para análise de solo.

As amostras analisadas por metodologias específicas para substratos não sofreram tratamento prévio. Utilizaram-se o método holandês, H₂O 1:1,5 v/v (SONNEVELD; ENDE; DIJK, 1974; SONNEVELD, 1988; SONNEVELD; ELDEREN, 1994) e o método CAT – 0,01 mol L⁻¹ CaCl₂ + 0,002 mol L⁻¹ DTPA, 1:5 v/v (ALT; PETERS, 1993; ALT, 2001). Os elementos foram dosados por espectrometria de emissão atômica (ICP-OES).

Para as análises por metodologia para solo, as amostras foram secas em estufa (45 °C), peneiradas (2 mm) e analisadas por metodologias utilizadas para solo no Brasil, de acordo com EMBRAPA (1999): Mehlich-1 (P, K, Cu, Fe, Mn e Zn); KCl 1,0 mol L⁻¹ (Ca e Mg); resina de troca iônica (P); Ca(H₂PO₄)₂, 500 mg L⁻¹ de P (S-SO₄⁻²); DTPA (Cu, Fe, Mn e Zn) e H₂O quente, em CaCl₂ 0,125% (B). 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).

Correlacionaram-se os teores dos nutrientes no substrato com suas respectivas concentrações na FD1 e FD2 e com o conteúdo em compartimentos da parte aérea da planta. Os teores de cada nutriente no substrato, extraídos por cada metodologia, também foram correlacionados entre si.

3.3 Resultados e Discussão

De modo geral, houve correlação positiva e altamente significativa para os nutrientes P, K, Ca e Cu, entre os teores no substrato e as concentrações e os conteúdos dos mesmos em compartimentos da planta (Tabelas 3.1 e 3.2). Essas correlações foram maiores para FD1 do que para FD2, tanto para concentração quanto para conteúdo, indicando que FD1 é a folha mais apropriada para ser utilizada como folha diagnóstica; além de ser a folha que se encontrava completamente madura.

Ao se confrontar as correlações entre a concentração versus o conteúdo destes nutrientes em FD1, ou mesmo com o conteúdo total na parte aérea (Tabelas 3.1

e 3.2), observaram-se correlações de magnitude similar para Ca e Cu, porém estas foram maiores para concentração em relação ao conteúdo para P e K, fato que deve ter ocorrido por que outro fator de produção restringiu o pleno crescimento da planta, concentrando esses dois nutrientes.

Para P, os melhores extratores foram H₂O, CAT e Mehlich (Tabela 3.1). Alt, Peters e Fokken (1994) também encontraram correlações significativas entre os teores de P em substratos orgânicos, especialmente para extratores mais fracos (CAT e CaCl₂), com a concentração e o conteúdo de P na planta; porém nesse caso as soluções mais ácidas ou tamponadas não foram boas indicadoras da disponibilidade de P. Esses autores afirmam que o método CAT seria mais apropriado, pois além de apresentar estreita correlação com o P absorvido, extraiu quantidades similares ao acumulado pela planta. Em outro trabalho, Alt (2001) também apresentou estreita relação entre P no substrato, extraído por H₂O e CAT, com as concentrações na planta; apontou também superioridade para o método CAT e sugeriu que esse fato ocorreria devido ao caráter de ácido fraco do DTPA, presente no método CAT, que constituiria vantagem para estimar o P disponível. Handreck (1995a), comparando 10 metodologias de extração de P em substrato a base de composto de casca de pinus e areia 5:1, verificou que os melhores extratores foram: Olsen, DTPA, CAT e H₂O, sendo o Mehlich o que apresentou o pior resultado.

Mehlich e CAT foram os melhores extratores para avaliar a disponibilidade de K (Tabela 3.1), enquanto que Handreck (1995b) mostrou elevada correlação entre o teor de K extraído por DTPA 2 mmol L⁻¹ com a concentração desse nutriente em petúnia cultivada em turfa e perlita 5:1. Os extratores KCl e H₂O apresentaram correlações semelhantes entre o Ca no substrato e na planta (Tabela 3.1).

A H₂O foi inapropriada para avaliar a disponibilidade de Cu nos substratos; sendo que para DTPA e Mehlich as correlações com a absorção pela planta foram significativas (Tabela 3.2). A literatura aponta correlações estreitas entre concentrações de Cu em plantas e em substratos orgânicos, para diferentes extratores: H₂O e DTPA 5 mmol L⁻¹ para pepino (KREIJ; MARTIGNON; ELDEREN, 1993), DTPA 2 mmol L⁻¹ para crisântemo (HANDRECK, 1990) e o método CAT para petúnia (BUCHER; SCHENK, 2000). Handreck (1994), avaliando seis extratores e cinco espécies cultivadas em casca

de pinus compostada, constatou que a eficiência dos extratores para avaliar a disponibilidade de Cu variou de acordo com a espécie, sendo o DTPA 2 mmol L^{-1} eficiente para três delas e Mehlich, $\text{NH}_4\text{OAc } 0,5 \text{ mol L}^{-1}$ e $\text{CaCl}_2 0,01 \text{ mol L}^{-1}$ eficientes para duas das cinco espécies estudadas.

Correlações significativas também foram verificadas para as concentrações de Fe em FD1 e de Zn em FD2, porém os valores dos coeficientes foram baixos (Tabela 3.2), indicando pouca confiabilidade dos extratores em avaliar a efetiva disponibilidade desses nutrientes para as plantas. Bucher e Schenk (1997) também encontraram correlação pequena entre a concentração de Zn em petúnias com o Zn extraído por H_2O e CAT em substrato orgânico, com pH variável; nesse trabalho, os extratores salinos, $\text{CaCl}_2 0,1 \text{ mol L}^{-1}$ e $\text{NH}_4\text{OAc } 1 \text{ mol L}^{-1}$, foram os melhores para descrever a influência do pH na disponibilidade de Zn. Para o Fe, Kreij, Elderen e Basar (1996) também encontraram correlação baixa entre as concentrações desse nutriente em crisântemo com o Fe no substrato à base de turfa, extraído por cinco metodologias; os autores argumentam que isso pode ter ocorrido devido ao pequeno crescimento das plantas no inverno.

Apesar da variação dos teores de Mg, S, B e Mn nos substratos (Tabelas 3.3 e 3.4) e de suas concentrações na planta (Tabelas 3.1 e 3.2), foram constatadas correlações baixas e geralmente não significativas, entre os teores no substrato, independente do método de extração, com os nutrientes absorvidos pelas plantas. Das metodologias avaliadas por Kreij, Benchaalal e Elderen (1993), a H_2O foi o único extrator que mostrou correlação significativa entre o Mn no substrato com a concentração em plantas de crisântemo.

Pode-se supor que a correlação negativa entre Mg- H_2O com a concentração de Mg em FD1 (Tabela 3.1) foi devido à correlação alta entre Mg e Ca no substrato ($r=0,91^{***}$, para o extrator H_2O) e sua interação negativa, ou seja, substratos ricos em Ca são também ricos em Mg e o Ca inibiria a absorção do Mg. Mesmo raciocínio poderia ser utilizado para explicar a correlação negativa entre Mn-Mehlich com a concentração de Mn em FD1 (Tabela 3.2), onde há correlação alta entre Fe e Mn no substrato ($r=0,65^{***}$, para Mehlich) e também há interação negativa entre os mesmos.

Tabela 3.1 – Coeficientes de correlação linear simples (r) entre o teor no substrato e a concentração ou o conteúdo de macronutrientes em compartimentos da planta, amplitude e coeficiente de variação para cada compartimento da planta (n=75)

Extrator	-- Concentração ^{1/} --		----- Conteúdo ^{1/} -----			
	FD1	FD2	FD1	FD2	FT	PA
	P					
Resina	0,54 ^{***}	0,21 [*]	0,25 [*]	-0,06 ^{ns}	0,21 [*]	0,34 ^{***}
Mehlich	0,64 ^{***}	0,22 [*]	0,33 ^{**}	-0,09 ^{ns}	0,19 ^{ns}	0,31 ^{**}
H ₂ O	0,68 ^{***}	0,43 ^{***}	0,37 ^{***}	0,10 ^{ns}	0,12 ^{ns}	0,20 [*]
CAT	0,68 ^{***}	0,27 ^{**}	0,37 ^{***}	-0,01 ^{ns}	0,20 [*]	0,32 [*]
Amplitude ^{2/}	1,4 – 2,3	1,9 – 3,1	0,2 – 0,6	0,5 – 1,2	2,9 – 5,8	4,1 – 7,3
CV (%)	9	9	19	20	11	11
	K					
Mehlich	0,58 ^{***}	0,36 ^{***}	0,35 ^{***}	-0,01 ^{ns}	0,36 ^{***}	0,44 ^{***}
H ₂ O	0,41 ^{***}	0,30 ^{**}	0,28 ^{**}	0,02 ^{ns}	0,30 ^{**}	0,34 ^{**}
CAT	0,53 ^{***}	0,35 ^{***}	0,27 ^{**}	0,01 ^{ns}	0,31 ^{**}	0,39 ^{***}
Amplitude ^{2/}	13 – 20	14 – 25	2,1 – 4,6	3,6 – 10,1	25 – 50	36 – 65
CV (%)	10	11	16	21	13	12
	Ca					
KCl	0,43 ^{***}	0,58 ^{***}	0,30 ^{**}	0,32 ^{**}	0,47 ^{***}	0,47 ^{***}
H ₂ O	0,39 ^{***}	0,44 ^{***}	0,33 ^{**}	0,25 [*]	0,38 ^{***}	0,35 ^{***}
Amplitude ^{2/}	8,5 – 14,6	3,3 – 8,3	1,4 – 3,3	0,8 – 3,1	10 – 23	14 – 30
CV (%)	12	21	20	28	16	15
	Mg					
KCl	-0,10 ^{ns}	0,30 ^{**}	-0,14 ^{ns}	-0,01 ^{ns}	0,10 ^{ns}	0,15 ^{ns}
H ₂ O	-0,28 ^{**}	-0,01 ^{ns}	-0,07 ^{ns}	-0,08 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,07 ^{ns}
CAT	-0,01 ^{ns}	0,10 ^{ns}	0,03 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,12 ^{ns}	0,12 ^{ns}
Amplitude ^{2/}	3,5 – 6,1	2,0 – 4,7	0,6 – 1,5	0,6 – 2,0	5,2 – 11,1	7,4 – 13,8
CV (%)	11	15	17	24	13	12
	S					
Ca(H ₂ PO ₄) ₂	0,19 ^{ns}	0,18 ^{ns}	0,25 [*]	0,07 ^{ns}	-0,06 ^{ns}	-0,06 ^{ns}
H ₂ O	-0,03 ^{ns}	-0,04 ^{ns}	0,17 ^{ns}	0,12 ^{ns}	-0,01 ^{ns}	0,00 ^{ns}
CAT	-0,01 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,20 [*]	0,09 ^{ns}	0,21 [*]	0,21 [*]
Amplitude ^{2/}	1,1 – 2,0	1,0 – 1,6	0,2 – 0,4	0,3 – 0,6	1,5 – 3,9	1,9 – 3,7
CV (%)	12	11	20	19	15	14

***, **, * e ns: respectivamente, significativo a 0,1; 1; 5% e não significativo pelo teste t.

^{1/} Concentração em g kg⁻¹; conteúdo em mg por folha, para FD1 e FD2 (folhas diagnósticas 1 e 2, respectivamente) e em mg por planta, para FT (folhas totais) e PA (parte aérea).

^{2/} Valores mínimo e máximo encontrados para a concentração ou o conteúdo de macronutrientes em cada compartimento da planta.

Tabela 3.2 – Coeficientes de correlação linear simples (r) entre o teor no substrato e a concentração ou o conteúdo de micronutrientes em compartimentos da planta, amplitude e coeficiente de variação para cada compartimento da planta (n=75)

Extrator	-- Concentração ^{1/} --		----- Conteúdo ^{1/} -----			
	FD1	FD2	FD1	FD2	FT	PA
			B			
H ₂ O quente	-0,20*	-0,20*	-0,16 ^{ns}	-0,05 ^{ns}	-0,06 ^{ns}	-0,07 ^{ns}
H ₂ O	-0,14 ^{ns}	0,09 ^{ns}	0,04 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,15 ^{ns}	0,13 ^{ns}
Amplitude ^{2/}	21 – 43	17 – 43	4 – 11	6 – 18	34 – 86	44 – 95
CV (%)	15	16	21	24	52	15
			Cu			
DTPA	0,53 ^{***}	0,23*	0,56 ^{***}	0,18 ^{ns}	0,50 ^{***}	0,54 ^{***}
Mehlich	0,51 ^{***}	0,22*	0,54 ^{***}	0,20*	0,49 ^{***}	0,50 ^{***}
H ₂ O	0,10 ^{ns}	0,11 ^{ns}	0,13 ^{ns}	0,05 ^{ns}	0,12 ^{ns}	0,15 ^{ns}
Amplitude ^{2/}	24 – 109	6 – 33	4 – 24	1 – 9	44 – 179	79 – 324
CV (%)	33	40	36	40	39	35
			Fe			
DTPA	0,27 ^{**}	-0,03 ^{ns}	0,19*	-0,08 ^{ns}	-0,14 ^{ns}	-0,13 ^{ns}
Mehlich	0,29 ^{**}	-0,01 ^{ns}	0,21*	0,00 ^{ns}	0,03 ^{ns}	0,04 ^{ns}
H ₂ O	0,21*	-0,12 ^{ns}	0,12 ^{ns}	0,20*	0,15 ^{ns}	0,12 ^{ns}
Amplitude ^{2/}	135 – 311	94 – 228	28 – 85	26 – 87	205 – 1368	272 – 1407
CV (%)	13	13	23	24	46	41
			Mn			
DTPA	0,15 ^{ns}	0,09 ^{ns}	0,23*	0,07 ^{ns}	0,29 ^{**}	0,31 ^{**}
Mehlich	-0,28 ^{**}	0,03 ^{ns}	-0,17 ^{ns}	-0,09 ^{ns}	-0,08 ^{ns}	-0,09 ^{ns}
H ₂ O	0,19*	0,01 ^{ns}	0,38 ^{***}	0,15 ^{ns}	0,20*	0,23*
Amplitude ^{2/}	246 – 610	101 – 268	46 – 133	27 – 107	258 – 1003	315 – 1058
CV (%)	20	28	23	33	22	21
			Zn			
DTPA	0,12 ^{ns}	0,24*	0,17 ^{ns}	0,08 ^{ns}	0,27 ^{**}	0,24*
Mehlich	0,01 ^{ns}	0,28 ^{**}	0,09 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,12 ^{ns}	0,15 ^{ns}
H ₂ O	0,10 ^{ns}	0,27 ^{**}	0,18 ^{ns}	0,14 ^{ns}	0,19*	0,22*
Amplitude ^{2/}	38 – 98	39 – 71	7 – 23	10 – 27	54 – 131	85 – 176
CV (%)	21	14	28	22	13	13

***, **, * e ns: respectivamente, significativo a 0,1; 1; 5% e não significativo pelo teste t.

^{1/} Concentração em mg kg⁻¹; conteúdo em µg por folha, para FD1 e FD2 (folhas diagnósticas 1 e 2, respectivamente) e em µg por planta, para FT (folhas totais) e PA (parte aérea).

^{2/} Valores mínimo e máximo encontrados para a concentração ou o conteúdo de micronutrientes em cada compartimento da planta.

Para muitos nutrientes há correlação estreita entre os teores extraídos por distintas metodologias e para outros não (Tabelas 3.3 e 3.4). Para o P, nutriente que constitui uma variável independente no experimento, essas correlações foram altamente significativas para as quatro metodologias avaliadas, sendo as correlações observadas maiores para os extratores Mehlich, Resina e CAT, apesar da magnitude de seus teores extraídos ser bastante variável (Tabela 3.3). Baumgarten (2004) também obteve correlação estreita entre o P extraído pelos métodos CAT, H₂O 1:5 e CAL (lactato e acetato de cálcio) para 20 substratos ricos em turfa.

Na tabela 3.3 verificam-se para os cátions básicos (Ca, Mg e K) correlações elevadas entre seus teores na solução do substrato, extraídos pela H₂O, com os teores trocáveis, extraídos por Mehlich (K) ou KCl (Ca e Mg), indicando relação estreita entre os fatores intensidade e quantidade; apesar de que para a extração em água as amostras não sofrerem tratamento prévio, enquanto que para as metodologias típicas para análise de solo, as amostras foram secas e peneiradas. Kreij et al. (1995), avaliando 14 substratos minerais, também observaram correlação estreita entre os teores de Ca e Mg extraídos por H₂O 1:10 com Ca e Mg trocáveis, extraídos com NH₄OAc 0,5 mol L⁻¹. Handreck (1995b) e Baumgarten (2004) também encontraram correlações altas entre os teores de cátions básicos extraídos por H₂O (1:1,5 ou 1:5) e DTPA 2 mmol L⁻¹ ou CAT, para dezenas de substratos ricos em matéria orgânica.

Os teores de K extraídos pelo método CAT correlacionaram-se estreitamente com os teores encontrados nas outras duas metodologias, fato não observado para Mg (Tabela 3.3). Esses resultados convergem parcialmente com os encontrados por Baumgarten (2004), que obteve correlação estreita para K e Mg extraídos pelos métodos CAT, H₂O 1:5 e CAL.

Enxofre extraído pelo método CAT também não mostrou boas correlações com as demais metodologias, especialmente com Ca(H₂PO₄)₂; a melhor correlação foi observada entre os extratores Ca(H₂PO₄)₂ e H₂O (Tabela 3.3). Houve problemas na dosagem dos micronutrientes no extrato do método CAT, por isso, estes resultados não foram utilizados.

Tabela 3.3 – Coeficientes de correlação linear simples (r) entre o teor de macronutrientes no substrato extraído por diferentes metodologias, amplitude e coeficiente de variação (n=75)

Extrator	Mehlich	H ₂ O	CAT	Amplitude ^{1/}	CV (%)
P					
Resina	0,89 ^{***}	0,65 ^{***}	0,89 ^{***}	35 – 232	48
Mehlich		0,68 ^{***}	0,93 ^{***}	57 – 363	48
H ₂ O			0,82 ^{***}	0,9 – 3,9	38
CAT				5,2 – 30,6	43
K					
Mehlich		0,81 ^{***}	0,92 ^{***}	64 – 173	26
H ₂ O 1:1,5			0,79 ^{***}	3,1 – 7,0	19
CAT				9,0 – 22,0	20
Ca					
KCl	nd	0,79 ^{***}	nd	856 – 2332	26
H ₂ O			nd	1,8 – 6,4	32
Mg					
KCl	nd	0,63 ^{***}	-0,08 ^{ns}	210 – 588	30
H ₂ O			-0,04 ^{ns}	0,8 – 2,4	27
CAT				20 – 46	19
S					
Ca(H ₂ PO ₄) ₂	nd	0,41 ^{***}	0,11 ^{ns}	0,2 – 29,2	56
H ₂ O			0,31 ^{**}	0,1 – 3,7	55
CAT				2,2 – 13,9	36

***, **, * e ns: respectivamente, significativo a 0,1; 1; 5% e não significativo pelo teste t.

nd: não determinado.

^{1/} Teores mínimo e máximo encontrados para cada metodologia; unidades para as metodologias para solo em mg dm⁻³ e para as específicas para substrato em mg L⁻¹.

Ferro foi o único micronutriente que apresentou correlação estreita entre os teores extraídos pelas metodologias testadas. Para os demais micronutrientes catiônicos, o extrator H₂O apresentou correlações baixas com as metodologias Mehlich e DTPA (Tabela 3.4). Sonneveld e Kreij (1995) também encontraram correlações baixas entre os teores de micronutrientes catiônicos extraídos com H₂O, DTPA 2 mmol L⁻¹ e CAT. Por outro lado, os autores encontraram estreitas correlações dos micronutrientes extraídos pela H₂O com aqueles extraídos por soluções salinas (CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹ e NH₄OAc 0,5 mol L⁻¹), exceto para Cu.

Os teores dos micronutrientes catiônicos extraídos por Mehlich e DTPA correlacionaram-se significativamente, sendo as maiores correlações observadas para Cu, Fe e Zn (Tabela 3.4).

Tabela 3.4 – Coeficientes de correlação linear simples (r) entre o teor de micronutrientes no substrato extraído por diferentes metodologias, amplitude e coeficiente de variação (n=75)

Extrator	Mehlich	H ₂ O	Amplitude ^{1/}	CV (%)
		B		
H ₂ O quente	nd	-0,04 ^{ns}	0,55 – 0,95	10
H ₂ O			0,01 – 0,34	127
		Cu		
DTPA	0,87 ^{***}	0,07 ^{ns}	1,4 – 6,4	38
Mehlich		0,08 ^{ns}	0,5 – 4,7	53
H ₂ O			0,01 – 0,06	41
		Fe		
DTPA	0,79 ^{***}	0,52 ^{***}	113 – 270	23
Mehlich		0,56 ^{***}	141 – 236	13
H ₂ O			0,26 – 1,12	33
		Mn		
DTPA	0,30 ^{**}	0,33 ^{**}	20 – 57	22
Mehlich		-0,05 ^{ns}	34 – 98	23
H ₂ O			0,04 – 0,13	27
		Zn		
DTPA	0,62 ^{***}	0,22 [*]	3,9 – 12,8	19
Mehlich		0,33 ^{**}	4,9 – 12,4	20
H ₂ O			0,01 – 0,05	28

***, **, * e ns: respectivamente, significativo a 0,1; 1; 5% e não significativo pelo teste t.
nd: não determinado.

1/ Teores mínimo e máximo encontrados para cada metodologia; unidades para as metodologias para solo em mg dm⁻³ e para as específicas para substrato em mg L⁻¹.

O B só foi extraído com H₂O, metodologias para solo (H₂O quente) e para substrato (H₂O 1:1,5), mas não houve correlação significativa entre esses métodos. A metodologia utilizada para substrato mostrou variabilidade bem superior à utilizada para solo (Tabela 3.4) e nenhuma das duas correlacionou-se positivamente com o B absorvido pelas plantas (Tabela 3.2).

3.4 Conclusões

A terceira folha do primeiro lançamento maduro foi a mais indicada para ser utilizada como folha diagnóstica para a produção de mudas de cacau.

As metodologias utilizadas no Brasil para avaliar a fertilidade de solos e as específicas para substrato (CAT e H₂O 1:1,5) foram boas indicadores da fertilidade de P, K e Ca em substratos compostos de fibra de coco e Plantmax[®].

Os teores de Cu extraídos por metodologias para solo (Mehlich e DTPA) correlacionaram-se significativamente com o absorvido pelas plantas.

Houve grande variação na magnitude da correlação dos teores dos nutrientes, extraídos por distintas metodologias.

Referências

ABREU, M.F.; ABREU, C.A.; BATAGLIA, O.C. Uso da análise química na avaliação da qualidade de substratos e componentes. In: ENCONTRO NACIONAL DE SUBSTRATOS PARA PLANTAS, 3., 2002, Campinas. **Anais...** Campinas: IAC, 2002. p. 17-28.

ABREU, C.A.; FURLANI, A.M.C.; FURLANI, P.R.; ABREU, C.A.; BATAGLIA, O.C. Quest of water extract analysis of micronutrients in soilless organic substrates. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.37, n.15/20, p.2327-2338, 2006.

ALT, D. Advantages and disadvantages of CAT-method for the chemical analysis of horticultural substrates as compared to several other extraction solutions. **Acta Horticulturae**, Hauge, v.548, p.655-661, 2001.

ALT, D.; PETERS, I. Analysis of macro and trace elements in horticultural substrates by means of the CaCl₂/DTPA Method. **Acta Horticulturae**, Hauge, v.342, p.287-292, 1993.

ALT, D.; PETERS, I.; FOKKEN, H. Estimation of phosphorus availability in composts and compost/peat mixtures by different extraction methods. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.25, n.11-12, p.2063-2080, 1994.

BATAGLIA, O.C.; FURLANI, P.R. Nutrição mineral e adubação para cultivos em substratos com atividade química. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE SUBSTRATOS PARA PLANTAS, 4., 2004, Viçosa. **Anais...** Viçosa: UFV, 2004. p. 106-128.

BAUMGARTEN, A. CEN-Methods (European standards) for determining plant available nutrients – a comparison. **Acta Horticulturae**, Hauge, v.644, p.343-349, 2004.

BRASIL. Instrução Normativa n.46, de 12 de setembro de 2006. Aprova os métodos analíticos oficiais para análise de substratos e condicionadores de solos. **Diário Oficial da União**, Brasília, 14 set. 2006. Seção 1, p. 2-3.

BUCHER, A.S.; SCHENK, M.K. Characterization of phytoavailable copper in compost-peat substrates and determination of a toxicity level. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v.125, n.6, p.765-770, 2000.

BUCHER, A.S.; SCHENK, M.K. Critical level of phytoavailable zinc in bio compost-peat substrates (refereed). **Acta Horticulturae**, Hauge, v.450, p.343-348, 1997.

EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília, 1999. 370 p.

FURLANI, A.M.C.; ABREU, M.F.; ABREU, C.A.; FURLANI, P.R.; BATAGLIA, O.C. Determination of available macronutrients, Na, Cl, pH and EC in coir substrate incubated with mineral fertilizers. **Acta Horticulturae**, Hauge, v.697, p.109-115, 2005.

HANDRECK, K.A. Extractants for assessing the availability of copper to *Chrysanthemum morifolium* cultivar 'Yellow Mandalay' growing in soil-less media. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v.44, n.3-4, p.323-334, 1990.

HANDRECK, K.A. Total and extractable copper and zinc as assessors of phytotoxicity in soilless potting media. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.25, n.13-14, p.2313-2340, 1994.

HANDRECK, K.A. Extractants for assessing plant-available phosphorus in soilless potting media. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.26, n.3-4, p.329-338, 1995a.

HANDRECK, K.A. Testing for calcium, magnesium and potassium in soilless potting media: differences and similarities between extractants. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.26, n.3-4, p.339-359, 1995b.

KREIJ, C.; BENCHALAL, K.; ELDEREN, C.W. van. Comparison of water, ammonium acetate, and DTPA to assess the availability of manganese in peat substrates.

Communication in Soil Science and Plant Analysis, New York, v.24, n.9/10, p.927-937, 1993.

KREIJ, C.; ELDEREN, C.W. van; BASAR, H. Iron availability peat substrates as assessed by water, calcium chloride, ammonium acetate, DTPA and calcium

chloride/DTPA. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.27, n.5/8, p.1813-1827, 1996.

KREIJ, C.; MARTIGNON, G.; ELDEREN, C.W. van. Comparison of water, DTPA, and nitric acid as extractants to assess the availability of copper in peat substrates.

Communication in Soil Science and Plant Analysis, New York, v.24, n.3/4, p.227-236, 1993.

KREIJ, C.; ELDEREN, C.W. van; MEINKEN, E.; FISCHER, P. Extraction methods for chemical quality control of mineral substrates. **Acta Horticulturae**, Hauge, v.401, p.61-70, 1995.

SONNEVELD, C. Analytical methods for substrates in the Netherlands. **Acta Horticulturae**, Hauge, v.221, p.413-416, 1988.

SONNEVELD, C.; ELDEREN, C.W. van. Chemical analysis of peaty growing media by means of water extraction. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.25, n.19/20, p.3199-3208, 1994.

SONNEVELD, C.; KREIJ, C. Standardisation of chemical analysis of growing media. **Acta Horticulturae**, Hauge, v.401, p.569-574, 1995.

SONNEVELD, C.; ENDE, J. van der; DIJK, P.A. van. Analysis of growing media by means of a 1:1½ volume extract. **Communication in Soil Science and Plant**

Analysis, New York, v.5, n.3, p.183-202, 1974.

WARNCKE, D.D. Analyzing greenhouse growth media by the saturation extraction method. **Hortscience**, Alexandria, v.21, n.2, p.223-225, 1986.

4 SUBSTRATO E ADUBAÇÃO FOSFATADA PARA A PRODUÇÃO DE MUDAS CLONAIIS DE CACAU

Resumo

Para avaliar o efeito de substratos e da adubação fosfatada sobre a produção de mudas de cacauzeiro, definir doses recomendáveis e níveis críticos de P, utilizou-se um fatorial $5 \times 5 + 1$: cinco substratos (misturas de fibra de coco – FC e Plantmax®), cinco doses de P no plantio (de zero a $0,8 \text{ g dm}^{-3}$) 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 P ($0,02 \text{ g dm}^{-3}$) em todos os tratamentos. Aos 150 dias foram avaliados: diâmetro, altura, área foliar, 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 a 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 a 275 g m^{-3} . O nível crítico de P no substrato variou de acordo com o extrator e o substrato e o nível crítico foliar foi de $1,75 \text{ g kg}^{-1}$ de P.

Palavras-chave: *Theobroma cacao*; Nutrição; Nível crítico; Cultivo sem solo; Fibra de coco

Abstract

Potting mix and phosphate fertilization for rooted cocoa tree cutting production

To evaluate potting mix and phosphate fertilization effect on rooted cocoa tree cuttings production, and to define advisable rates and P critical levels, a factorial experiment was carried out using $5 \times 5 + 1$: five substrate (coconut fiber – CF and Plantmax® mix), five P rates in the planting (from 0 to 0.8 g dm^{-3}) and an additional treatment (applied P on 30th day). The initial and useful plots contained 27 cuttings and 12 rooted cuttings (one cutting per container). Starting from 62nd day, weekly fertilizations were applied with N and K and on 120th day P (0.02 g dm^{-3}), in all treatments. On 150th day they were appraised: diameter, height, leaf area, dry matter in shoots and roots (fine and thick), concentration and nutrients content in plant. The cuttings mortality was not influenced by the treatments. The biometric and nutrition variables responded to treatments, being best results obtained with 30 to 55% of CF and P rates between 136 and 275 g m^{-3} . The P critical level in substrate varied in agreement with extractor and substrate.

Keywords: *Theobroma cacao*; Nutrition; Critical level; Soilless crop; Coconut coir dust

4.1 Introdução

A cacauicultura do sudeste da Bahia atravessa 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 dessa região.

Visando auxiliar a recuperação e a renovação da lavoura de cacau 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, o adensamento de áreas afetadas e 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 e a necessidade de calibração de P (MARROCOS; SODRÉ, 2004; SOUZA JR. et al., 2006).

A fonte desse excesso de Fe pode ser o Plantmax® (Pmax), que juntamente com a fibra de coco (FC), na proporção volumétrica 1:1, compõem o substrato utilizado no IBC, para a produção de mudas de cacau (MARROCOS; SODRÉ, 2004; SOUZA JR. et al., 2006). Vale ressaltar que a FC é um produto natural, renovável, abundante no Brasil e em outros países tropicais, de custo menor e, a princípio, isento de patógenos. Além de não apresentar substâncias fitotóxicas (NOGUERA, 2000), propiciar boa aderência das raízes ao substrato, facilitar a retirada da muda do tubete (CORREIA et al., 2003) e ter atributos físicos bons como: densidade baixa, porosidade total alta, capacidade de aeração elevada, apesar de ter capacidades de retenção de água total e disponível menores (NOGUERA, 2000; ABAD, 2005).

É 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 produção de mudas de espécies florestais,

como *Eucalyptus* e *Pinus*, em tubetes, os manuais nacionais recomendam doses de P que variam de 130 g m^{-3} (GONÇALVES; RAIJ; GONÇALVES, 1997) a 655 g m^{-3} (BARROS; NOVAIS, 1999).

O objetivo deste trabalho foi avaliar a sobrevivência, o crescimento e a nutrição de mudas de cacauero 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 fertilização fosfatada, bem como se determinou o substrato mais eficiente e econômico, a dose recomendável de P e os níveis críticos na folha e no substrato, para esse nutriente.

4.2 Material e Métodos

O experimento foi instalado em julho de 2005, em viveiro de produção de mudas, com as laterais e o teto de tela plástica do tipo sombrite 50%, 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 repetições. Os substratos utilizados foram cinco proporções (20, 35, 50, 65 e 80%, em volume) dos substratos fibra de coco (FC) e Plantmax florestal estaca® (Pmax – substrato comercial, composto de casca de pinus compostada, vermiculita expandida, carvão granulado e turfa).

As doses de P no plantio foram: 0; 0,1; 0,2; 0,4 e 0,8 g dm^{-3} , na forma de superfosfato triplo (SFT) moído, 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 $0,2 \text{ g dm}^{-3}$ de P aplicado em cobertura aos 30 dias após o estaqueamento.

Os substratos originais foram peneirados, em peneira de abertura de malha de 5 mm e caracterizados química e fisicamente: pH, condutividade elétrica (CE) e nutrientes, pelo método holandês H_2O 1:1,5 v/v (SONNEVELD; ENDE; DIJK, 1974), CTC e densidade (BRASIL, 2006), curva de retenção de água (DE BOOD; VERDONCK, 1972) e granulometria em peneiras de 0,25; 0,50; 1,0; 2,0 e 4,0 mm. Em amostra seca ao ar e peneirada (2,0 mm), determinaram-se também os teores

disponíveis por metodologias de solo, de acordo com EMBRAPA (1999): resina de troca iônica (P); KCl 1,0 mol L⁻¹ (Ca, Mg e Al); Mehlich-1 (K); Ca(H₂PO₄)₂, 500 mg L⁻¹ de P (S-SO₄⁻²); DTPA (Cu, Fe, Mn e Zn) e H₂O quente, em CaCl₂ 0,125% (B). Para a análise dos teores totais, procedeu-se moagem da amostra, seguida por digestão nítrico-perclórica, de acordo com EMBRAPA (1999).

No extrato H₂O 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); espectrometria de absorção atômica (Ca, Mg, Cu, Fe, Mn e Zn); Al por titulação, de acordo com metodologia proposta por Yuan (1959), que visa separar a acidez trocável em Al trocável e H trocável. C e N totais foram determinados diretamente em amostras moídas, por analisador elementar.

A parcela inicial foi formada por uma bandeja com 27 tubetes de 288 cm³ e uma estaca de cacauero do clone PH 16 por tubete. Utilizaram-se estacas apicais semi-herbácea, 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⁻¹ de 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⁻³ de N e de K, respectivamente, na forma de uréia e cloreto de potássio, num total de 10 adubações. Aos 120 dias, fez-se uma adubação complementar, para todos os tratamentos, com 0,02 g dm⁻³ de P, na forma de fosfato monoamônico. Os fertilizantes foram aplicados na forma líquida, sendo utilizado 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 utilizada também foi semelhante à adotada pelo IBC: nebulização intermitente automática, com água do rio Almada. O sistema funcionou das 06 às 18 horas, sendo desligado nos períodos com chuva. Utilizaram-se bicos com vazão teórica de 40 litros por hora, para pressão entre 250 a 300 kPa, e área irrigada de 4 m² por

bico. Nos primeiros 60 dias, a irrigação foi efetuada a cada 5 minutos; 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 ficaram 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 a distância de aproximadamente um centímetro do ponto de brotamento; 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 substrato foi amostrado e procedeu-se a análise de P por quatro metodologias: duas específicas para substratos utilizadas na Europa, H₂O 1:1,5 v/v (SONNEVELD; ENDE; DIJK, 1974) e o método CAT – 0,01 mol L⁻¹ CaCl₂ + 0,002 mol L⁻¹ DTPA, 1:5 v/v (ALT; PETERS, 1993), sendo o P dosado por ICP-OES; e duas utilizadas no Brasil para solo, Mehlich-1 e resina de troca iônica (EMBRAPA, 1999), sendo que nesse caso as amostras foram secas em estufa (45 °C), peneiradas (2 mm) e o P dosado por colorimetria.

O material vegetal da parte aérea (folhas e caule) foi lavado com rápida imersão em: água corrente, solução de detergente neutro 0,1%, água corrente, solução de HCl 3% e finalmente com duas lavagens com água destilada. Para a 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 elevado uso de agrotóxicos que continham nutrientes.

O sistema radicular foi lavado e, após seco, foi removido o substrato que ainda permanecia aderido às raízes, as quais foram separadas em raízes finas e grossas, cujo 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 °C, por três dias, posteriormente foram pesadas para se obter: matéria seca da parte aérea (MSPA), que foi a soma das matérias seca das folhas e do caule; matéria seca das raízes finas (MSRF), das raízes grossas (MSRG) e das raízes total (MSRT = MSRF + MSRG); além da 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% de probabilidade, pelo teste F e o maior coeficiente de determinação ajustado.

As doses recomendáveis de P e os níveis críticos na folha e no substrato foram calculados para se 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®) 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% de probabilidade, pelo teste F.

4.3 Resultados e Discussão

A análise química evidenciou que o Plantmax® (Pmax) é um substrato com maiores teores de elementos solúveis, disponíveis e totais que a fibra de coco (FC), exceto para K (Tabela 4.1), sendo um substrato com maior CTC, ou seja, que tem maior atividade química, além de possuir valores adequados de CE e de pH (Tabela 4.2), para substratos comerciais, de acordo com Baumgarten (2002). A FC apresentou pH levemente superior e CE levemente inferior ao do Pmax, sendo também considerados adequados (BAUMGARTEN, 2002), porém com CTC pequena (Tabela 4.2), o que favorece a lixiviação de cátions e requer aumento na frequência das adubações.

Na tabela 4.1, chama a atenção os teores altos de Fe total e disponível no Pmax, fato também constatado por Marrocos e Sodré (2004), que também apontam

correlação estreita entre as formas totais e solúveis de Fe em substratos utilizados na produção de mudas de cacau, com conseqüente surgimento de problemas de toxidez desse elemento nas plantas.

Tabela 4.1 – Teores de nutrientes e Al solúveis, disponíveis e totais dos substratos fibra de coco (FC) e Plantmax (Pmax)

Substrato	C	N	P	S	K	Ca	Mg	Al	B	Cu	Fe	Mn	Zn
Teor solúvel ^{1/}													
----- mg L ⁻¹ -----													
Pmax	nd	nd	1,5	161	91	115	51	0,6	0,07	0,04	0,10	1,19	0,04
FC	nd	nd	7,9	2	288	1	4	0,0	0,19	0,01	0,02	0,03	0,01
Teor disponível ^{2/}													
mg dm ⁻³ mmol _c dm ⁻³ mg dm ⁻³													
Pmax	nd	nd	203	868	17	129	65	1,1	1,2	0,7	98	38	5,0
FC	nd	nd	16	5	29	3	10	0,0	0,8	0,1	1	2	1,0
Teor total ^{3/}													
----- g kg ⁻¹ -----													
Pmax	282	8,3	1,6	5,7	4,2	7,0	12,7	nd	8	21	14625	207	48
FC	451	3,7	0,4	0,5	13,4	0,8	1,6	nd	24	2	657	35	17

^{1/} Teor solúvel: extrato de H₂O 1:1,5 v/v (SONNEVELD; ENDE; DIJK, 1974).

^{2/} Teor disponível: P (resina de troca iônica); S-SO₄⁻² (Ca(H₂PO₄)₂, 500 mg L⁻¹ de P); K (Mehlich-1), Ca e Mg (KCl 1,0 mol L⁻¹); Cu, Fe, Mn e Zn (DTPA) e B (H₂O quente, em CaCl₂ 0,125%), de acordo com EMBRAPA (1999); e Al (KCl 1,0 mol L⁻¹), de acordo com Yuan (1959).

^{3/} Teor total: C e N, por análise elementar e os demais elementos por digestão nítrico-perclórica, de acordo com EMBRAPA (1999).

nd: não determinado.

Tabela 4.2 – Análises^{1/} física e química dos substratos fibra de coco (FC) e Plantmax (Pmax)

Substrato	pH	CE	CTC	DS	PT	EA	AFD	AT	AD
		dS m ⁻¹	mmol _c dm ⁻³	kg dm ⁻³	----- m ³ m ⁻³ -----				
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
----- Distribuição granulométrica (g g ⁻¹) -----									
		< 0,25 mm	0,25-0,5 mm	0,5-1,0 mm	1,0-2,0 mm	2,0-4,0 mm	> 4,0 mm		
Pmax		0,29	0,13	0,26	0,19	0,11	0,02		
FC		0,16	0,17	0,35	0,26	0,06	0,00		

^{1/} Metodologias: pH e CE (condutividade elétrica), Sonneveld, Ende e Dijk (1974); CTC e DS (densidade seca), 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 e Verdonck (1972).

A relação C/N da FC é elevada (121:1), o que poderia favorecer a imobilização de N. Entretanto esse efeito foi descartado por Noguera (2000), devido, possivelmente, ao teor alto de lignina do material, o que refletiria numa atividade microbiana baixa.

O Pmax apresentou densidade mais elevada, baixo espaço de aeração (macroporos) e distribuição das frações granulométricas mais uniforme (Tabela 4.2), sendo que essa combinação de partículas de tamanhos diferentes pode levar a uma redução da porosidade (FERMINO, 2002). A FC mostrou ser um substrato pouco denso, mais poroso, com maior espaço de aeração e com maior capacidade de armazenamento de água disponível (Tabela 4.2), evidenciando ter bons atributos físicos (NOGUERA, 2000; ABAD, 2005), além de ter maior abundância da fração compreendida entre 0,5 e 1,0 mm, resultado semelhante ao encontrado por Noguera (2000), para amostras de FC de várias procedências.

A mortalidade média das mudas aos 90, 120 e 150 dias foi de 30, 35 e 36%, respectivamente, valores superiores aos encontrados por Faria e 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), onde foram observadas precipitações pluviais freqüentes e temperaturas mais baixas. A sobrevivência das mudas não foi afetada pelos substratos, doses ou épocas de adubação com P.

A adição de P aumentou todas as variáveis biométricas avaliadas até o ponto de produção máxima, visto que foram observados efeitos linear e quadrático ou raiz-quadrático significativos do P (Figuras 4.1a, 4.1b, 4.1c, 4.1e e 4.1f), exceto para a MSRF, onde o P apresentou apenas efeito linear negativo (Figura 4.1a), ou seja, o fertilizante fosfatado reduziu a produção de raízes finas, fato também constatado por Mackay e 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 4.1d).

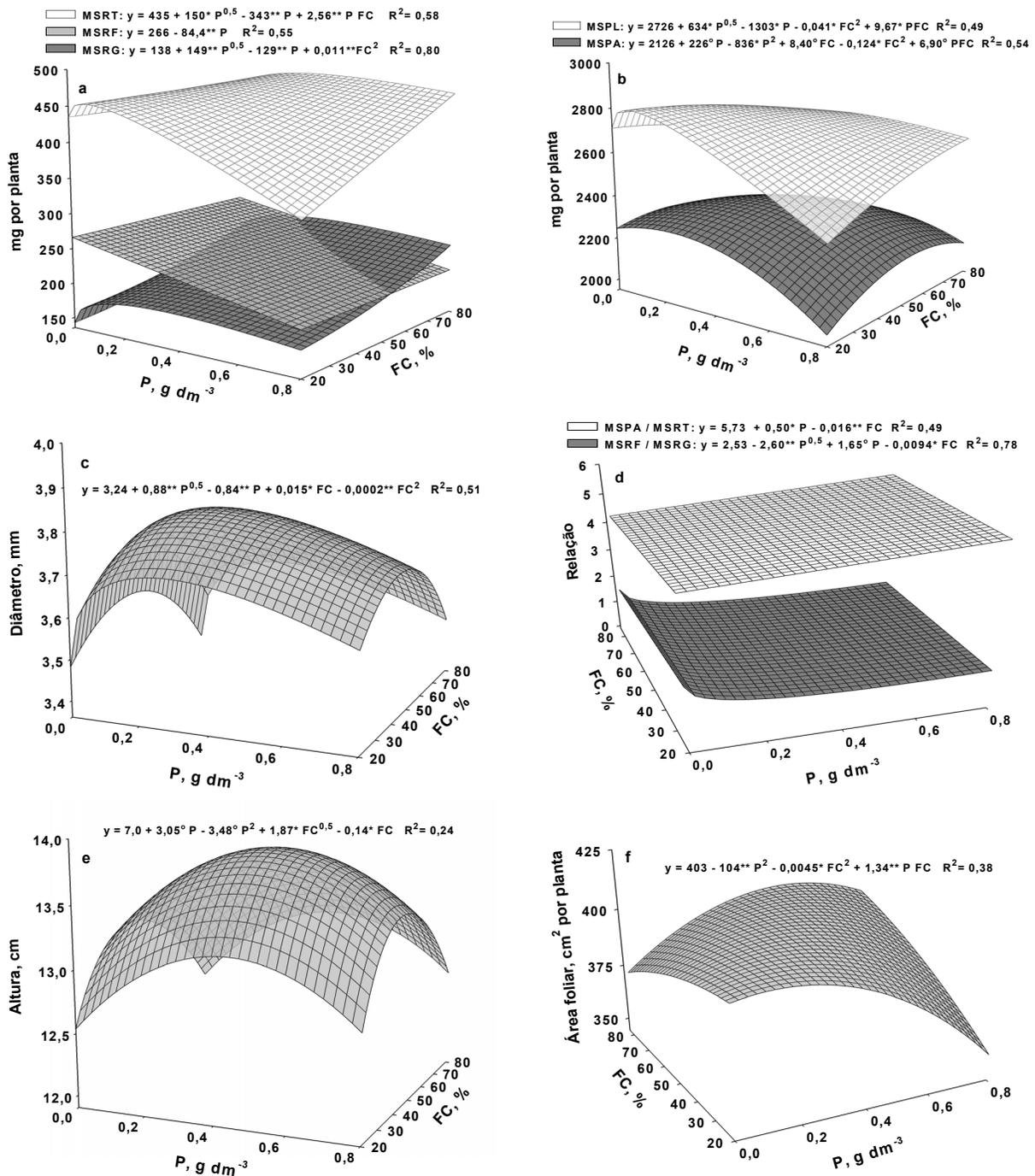


Figura 4.1 – Variáveis biométricas de mudas de cacauero, clone PH 16 aos 150 dias, em função da dose de P e da porcentagem de fibra de coco (FC) no substrato: (a) matéria seca das raízes grossas – MSRG, raízes finas – MSRF e raízes totais – MSRT; (b) matéria seca da parte aérea – MSPA e da planta – MSPL; (c) diâmetro; (d) relação MSRF / MSRG e MSPA / MSRT; (e) altura e (f) área foliar. **, * e ^o, significativo a 1, 5 e 10%, respectivamente, pelo teste F

A porcentagem de FC no substrato também gerou pontos de máxima produção para MSPA, MSPL, diâmetro, altura e área foliar (Figuras 4.1b, 4.1c, 4.1e e 4.1f) e não afetou a MSRF, mas o aumento de FC no substrato incrementou a MSRG e, conseqüentemente, a MSRT (Figura 4.1a). Interações significativas, entre dose de P e porcentagem de FC foram observadas para MSRT, MSPA, MSPL e área foliar (Figuras 4.1a, 4.1b e 4.1f), evidenciando que o efeito de P depende do substrato utilizado.

As equações de regressão selecionadas para altura e área foliar, apesar de significativas, tiveram coeficientes de determinação baixos (Figuras 4.1e e 4.1f), indicando preditividade baixa desses modelos.

As produções máximas para MSPA e diâmetro foram alcançadas com substrato com 43% de FC e 311 g m⁻³ de P e 45% de FC e 274 g m⁻³ 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% (Tabela 4.3).

Tabela 4.3 – Doses recomendáveis de P (DRP) para se obter 99% da produção máxima da matéria seca da parte aérea e níveis críticos (NC) na folha e no substrato, de acordo com a porcentagem de fibra de coco (FC) e Plantmax® (Pmax) no substrato, com respectivo custo^{1/} do substrato adubado com P – Clone PH 16, aos 150 dias

FC:Pmax	DRP	Custo ^{1/}	NC na folha	NC no substrato ^{2/}			
				H ₂ O	CAT	Mehlich	Resina
%, v/v	g m ⁻³	R\$ m ⁻³	g kg ⁻¹	-- mg L ⁻¹ --	---	mg dm ⁻³	---
30:70	173	180	1,77	1,57	16,9	199	124
35:65	137	174	1,75	1,47	15,1	179	112
40:60	136	168	1,74	1,44	14,2	166	104
45:55	156	162	1,73	1,45	13,8	156	99
50:50	198	157	1,74	1,52	13,9	149	95
55:45	275	152	1,76	1,66	14,6	141	93

^{1/} Custo dos insumos colocados no Instituto Biofábrica de Cacau, Ilhéus-BA; preços tomados em junho de 2007: Plantmax® – R\$ 212,80 por m³; fibra de coco – R\$ 98,00 por m³ e superfosfato simples (78,3 g kg⁻¹ de P) – R\$ 600,00 por tonelada.

^{2/} Metodologias: H₂O 1:1,5 (SONNEVELD; ENDE; DIJK, 1974) e CAT – 0,01 mol L⁻¹ CaCl₂ + 0,002 mol L⁻¹ DTPA (Alt; Peters, 1993), sendo o P dosado por ICP-OES; Mehlich e Resina (EMBRAPA, 1999), sendo o P dosado por colorimetria.

As doses recomendáveis de P variaram de 136 a 275 g m⁻³, sendo essas menores para os substratos com proporções de FC:Pmax intermediárias (Tabela 4.3). O limite inferior dessa faixa é semelhante à fertilização de base, de 130 g m⁻³ de P, recomendada por Gonçalves, Rajj e Gonçalves (1997) para a produção de mudas de eucalipto e pinus em substrato e em tubetes. Minami (2000), sem especificar a cultura, sugeriu uma adubação mínima, para substrato a base de material orgânico e vermiculita, de 80 a 160 g m⁻³ de P.

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 g m⁻³ de P (Tabela 4.3).

Para cada mistura FC:Pmax foi determinado o nível crítico foliar (Tabela 4.3), a partir da substituição da dose recomendável e do respectivo teor de FC no substrato na equação da concentração de P na folha diagnóstica (Figura 4.2a). Como a variação do nível crítico foliar foi pequena (Tabela 4.3), pode-se considerar uma concentração média de 1,75 g kg⁻¹ de P, valor que é semelhante a 1,8 g kg⁻¹, sugerido por Rajj, Cantarella e Quaggio. (1997), mas é inferior a 2,0 g kg⁻¹, indicado por Malavolta (2006), para cacauzeiros adultos, como adequado.

De forma geral, observa-se que os modelos para a concentração dos nutrientes na folha diagnóstica (Figura 4.2), em função da dose de SFT e da porcentagem de FC no substrato, foram melhor ajustados que aqueles para conteúdo na parte aérea (Figura 4.3), 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, R² = 0,90, foi o da concentração de P na folha (Figura 4.2a), nutriente que é uma das variáveis independentes deste trabalho, porém os modelos da concentração de outros nutrientes também apresentaram bons ajustes, em especial Zn, N, K, S e Mn (Figuras 4.2c, 4.2b e 4.2d), indicando que os fatores em estudo explicaram, com boa confiabilidade, a adsorção desses nutrientes.

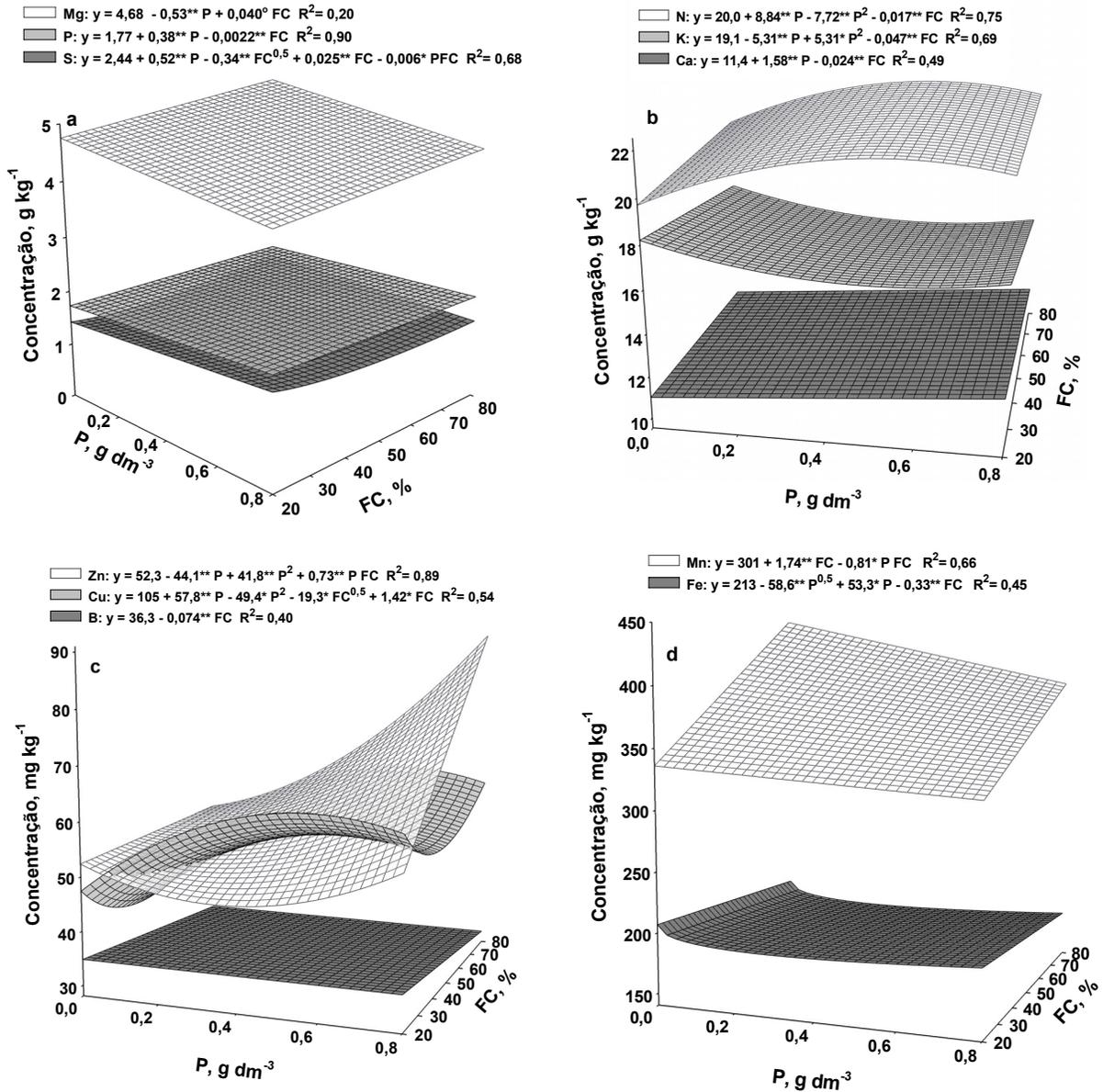


Figura 4.2 – Concentração de nutrientes na folha diagnóstica de mudas de cacauero, clone PH 16 aos 150 dias, em função da dose de P e da porcentagem de fibra de coco (FC) no substrato: (a) Mg, P e S; (b) N, K e Ca; (c) Zn, Cu e B e (d) Mn e Fe. **, * e $^{\circ}$, significativo a 1, 5 e 10%, respectivamente, pelo teste F

Os modelos para as concentrações na folha (Figura 4.2) e de seus respectivos conteúdos na parte aérea das mudas (Figura 4.3) apresentam comportamento semelhante para a maioria dos nutrientes, exceto para S, Ca, Zn e Fe.

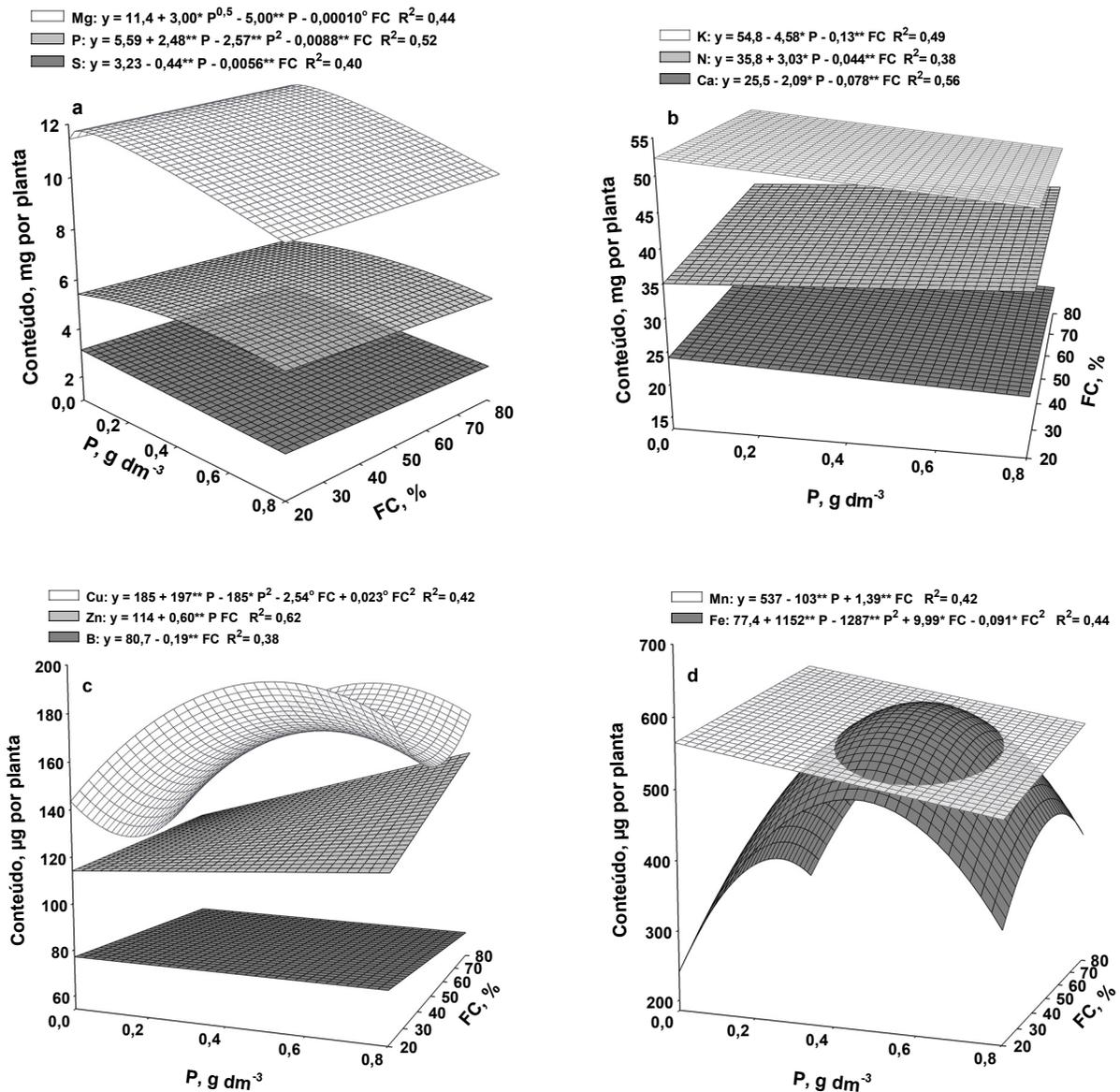


Figura 4.3 – Conteúdo de nutrientes na parte aérea de mudas de cacaueteiro, clone PH 16 aos 150 dias, em função da dose de P e da porcentagem de fibra de coco (FC) no substrato: (a) Mg, P e S; (b) K, N e Ca; (c) Cu, Zn e B e (d) Mn e Fe. **, * e $^{\circ}$, significativo a 1, 5 e 10%, respectivamente, pelo teste F

A adubação com superfosfato triplo (SFT) aumentou as concentrações de S e de Ca na folha (Figuras 4.2a e 4.2b), provavelmente porque o fertilizante utilizado tinha 2,0% de S e 16,4% de Ca, favorecendo sua absorção pelas raízes e seu armazenamento na folha diagnóstica (primeiro ramo emitido), mas, por outro lado, reduziu o acúmulo total desses nutrientes na parte aérea da planta (Figuras 4.3a e

4.3b), possivelmente porque as doses maiores de SFT restringiram o crescimento da parte aérea (Figura 4.1b), além disso, 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 4.3c), possivelmente devido ao fornecimento de Zn pelo próprio fertilizante que continha 0,04% de Zn. Contudo, sua concentração na folha foi inicialmente reduzido, possivelmente devido ao 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 4.2c), por causa do menor crescimento da parte aérea das plantas nos substratos muito ricos em FC (Figura 4.1b).

A concentração de Fe na folha diagnóstica foi maior nos extremos das doses de P (Figura 4.2d), possivelmente devido ao efeito de concentração, visto que, nessa situação, a produção de MSPA foi menor (Figura 4.1b). Porém a magnitude dessa variação no modelo foi discreta (Figura 4.2d), especialmente quando comparada à observada entre as unidades experimentais, que foi de 135 a 311 mg kg⁻¹ de Fe na folha diagnóstica. Por sua vez, a variação no conteúdo de Fe na parte aérea foi expressiva, apresentando um comportamento tipicamente quadrático para P e FC (Figura 4.3d), semelhante à produção de MSPA (Figura 4.1b), 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⁻¹ de Fe. Ao se comparar esse limite superior com valores sugeridos como normais por Raij, Cantarella e Quaggio (1997) e Malavolta (2006), pode-se concluir que o mesmo deve ser tóxico, fato também constatado por Marrocos e Sodré (2004) e Souza Jr. et al. (2006).

A adubação com SFT além de aumentar a absorção de P (Figuras 4.2a e 4.3a), aumentou também a concentração e o conteúdo de N e Cu na planta (Figuras 4.2b, 4.2c, 4.3b e 4.3c), mas diminuiu a absorção de Mg, K e Mn (Figuras 4.2a, 4.2b, 4.2d, 4.3a, 4.3b e 4.3d). O aumento das doses de SFT favoreceu a lixiviação de K e Mg

(Capítulo 2 – Figuras 2.5b e 2.5d) 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. Porém, esse autor também aponta que há inibição não competitiva do P com o Cu, fato aqui não observado.

De forma geral, o aumento da proporção de FC no substrato reduziu a concentração e o conteúdo de nutrientes na planta (Figuras 4.2 e 4.3), exceto para os micronutrientes catiônicos. A disponibilidade natural pequena da maioria dos nutrientes e a CTC baixa da FC (Tabela 4.1), certamente favoreceram o suprimento menor de nutrientes às plantas e a perda maior por lixiviação.

A FC é mais pobre em Fe (Tabela 4.1) e seu aumento da composição do substrato favoreceu a redução da concentração desse nutriente na folha, mas a magnitude dessa variação no modelo foi discreta (Figura 4.2d). Contudo, o seu conteúdo na planta, como já discutido, apresentou um efeito quadrático e variação ampla (Figura 4.3d), sugerindo que apenas a alteração do substrato não seria suficiente para eliminar possíveis problemas de toxidez de Fe. Fatores como pH e condições de oxi-redução 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 da lâmina de água efetiva que chega a cada tubete poder variar, o que influencia as condições de oxi-redução.

A concentração e o conteúdo de Zn e de Mn na planta foram maiores com o aumento de FC no substrato (Figuras 4.2c, 4.2d, 4.3c e 4.3d), apesar da FC ser mais pobre nesses nutrientes (Tabela 4.1). Esse resultado pode ser devido à menor disponibilidade de P nos substratos ricos em FC (Figura 4.4), 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 que houve oito aplicações de Mancozeb, fungicida/acaricida que contem Zn e Mn, que pode ter influenciado na absorção desses nutrientes e que a disponibilidade de Mn depende das condições de

oxi-redução e pH do substrato (LINDSAY, 1979) e sua absorção é inibida pelo Fe (MALAVOLTA, 2006).

Foram calculados os níveis críticos de P no substrato, para quatro metodologias de extração (Tabela 4.3), a partir da substituição das doses recomendáveis no plantio mais os $0,02 \text{ g dm}^{-3}$ de P aplicado aos 120 dias, nas equações de P recuperado em função de P total adicionado (Figura 4.4). Independente da metodologia, observam-se bons ajustes para os modelos do P recuperado em função do P total adicionado e da porcentagem de FC no substrato (Figura 4.4). Porém a capacidade de extração variou muito entre as metodologias sendo: Mehlich > resina > CAT > H₂O (Figura 4.4), conseqüentemente o nível crítico de P no substrato também variou com a metodologia utilizada (Tabela 4.3).

O nível crítico de P no substrato também variou de acordo com sua composição, em especial para as metodologias típicas de análise de solo, Mehlich-1 e resina, sendo que o nível crítico foi maior quanto menor a porcentagem de FC no substrato (Tabela 4.3). Como para os extratores H₂O e CAT, essa variação foi pequena (Tabela 4.3), pode-se admitir um nível crítico médio de $1,5 \text{ mg L}^{-1}$ e de 15 mg L^{-1} de P, respectivamente.

A época de adubação foi analisada por contraste, sendo que a aplicação de P em cobertura, aos 30 dias após o estaqueamento, em relação à adubação de base, no preparo do substrato, apesar de ter aumentado a disponibilidade de P no substrato, em média 68% pelos quatro métodos de extração utilizados, não resultou em qualquer 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. Como a adubação com P no momento da preparação do substrato é mais prática de ser realizada, ela deve ser recomendada.

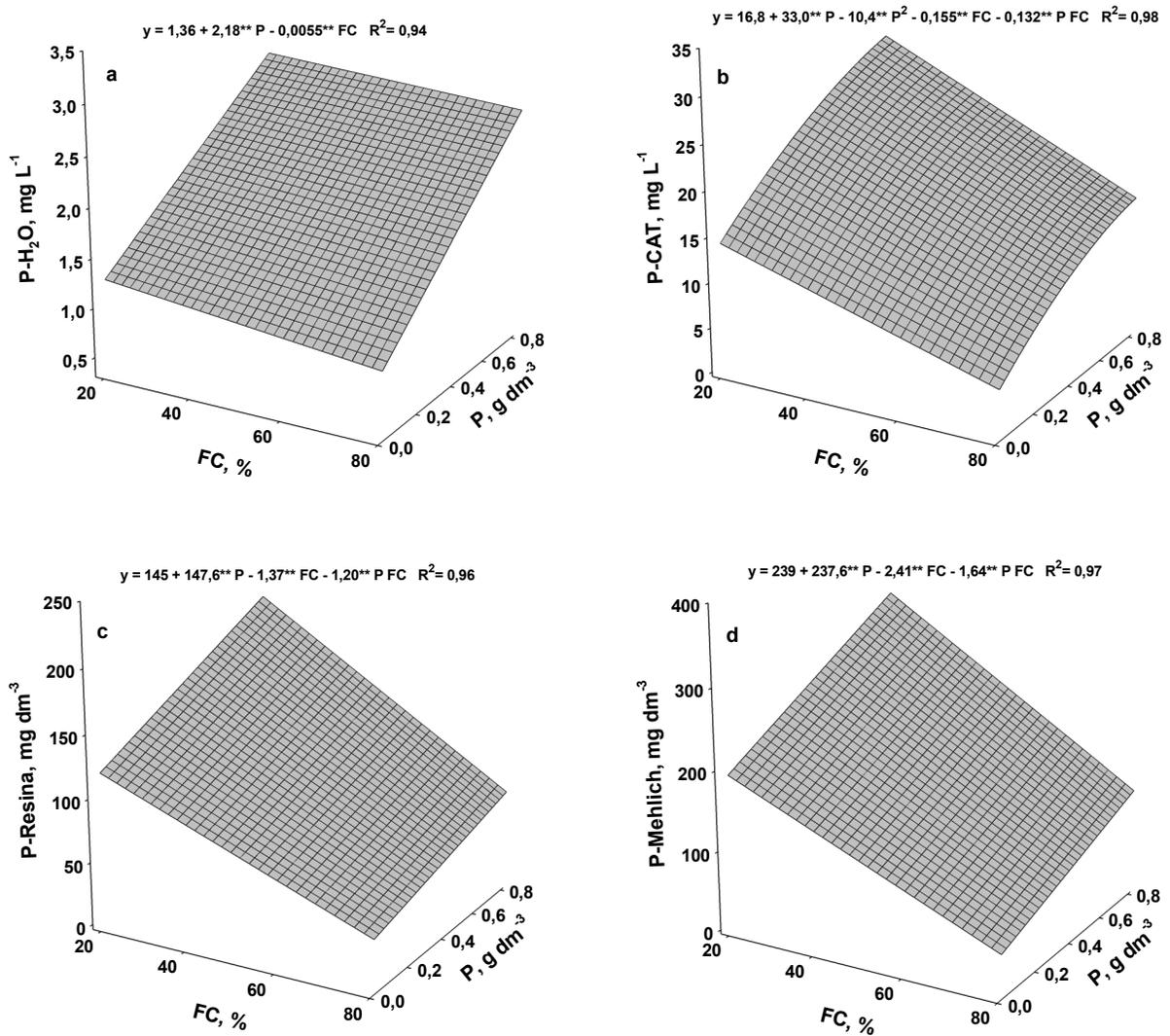


Figura 4.4 – Teor de P no substrato, para quatro metodologias de extração, após 150 dias de cultivo com mudas clonais de cacau, em função da dose de P total (P no plantio mais 0,02 g dm⁻³ em cobertura) e da porcentagem de fibra de coco (FC) no substrato: (a) H₂O; (b) CAT; (c) Resina e (d) Mehlich-1. **, significativo a 1% pelo teste F

4.4 Conclusões

A sobrevivência das mudas não foi afetada por substratos, doses ou épocas de aplicação de P.

A adição de P em cobertura, apesar de aumentar a disponibilidade e a absorção de P, não resultou em incremento das variáveis de crescimento da muda de cacau.

As variáveis biométricas e nutricionais responderam à aplicação de P e à composição do substrato.

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.

O nível crítico foliar de P foi de $1,75 \text{ g kg}^{-1}$ e o nível crítico no substrato variou de acordo com a metodologia de extração e com a composição do substrato.

Referências

- ABAD, M.; FONTES, F.; CARRIÓN, C.; NOGUERA, V. Physical properties of various coconut coir dusts compared to peat. **Hortscience**, Alexandria, v.40, n.7, p.2138-2144, 2005.
- ALT, D.; PETERS, I. Analysis of macro and trace elements in horticultural substrates by means of the $\text{CaCl}_2/\text{DTPA}$ Method. **Acta Horticulturae**, Hauge, v.342, p.287-292, 1993.
- BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F. Eucalipto. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ V., V.H. (Ed.). **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa: 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. **Anais...** Viçosa: UFV, 2004. p. 106-125.
- BAUMGARTEN, A. Methods of chemical and physical evaluation of substrates for plants. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE SUBSTRATO PARA PLANTAS, 3., 2002, Campinas. **Anais...** Campinas: IAC, 2002. p. 7-15.

BRASIL. Instrução Normativa n.46, de 12 de setembro de 2006. Aprova os métodos analíticos oficiais para análise de substratos e condicionadores de solos. **Diário Oficial da União**, Brasília, 14 set. 2006. Seção 1, p. 2-3.

CORREIA, D.; ROSA, M.F.; NORÕES, E.R.V.; ARAÚJO, F.B. Uso do pó da casca de coco na formulação de substratos para formação de mudas enxertadas de cajueiro anão precoce. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.25, n.3, p.557-558, 2003.

De BOODT, M.; VERDONCK, O. The physical properties of the substrates in horticulture. **Acta Horticulturae**, Hauge, v.26, p.37-44, 1972.

EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília, 1999. 370 p.

FARIA, J.C.; SACRAMENTO, C.K. Enraizamento e crescimento de estacas herbáceas do cacauero (clones CEPEC 42, TSH 516 e TSH 1188) em função da aplicação do ácido indolbutílico (AIB). **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.25, n.1, p.192-194, 2003.

FERMINO, M.H. O uso da análise física na avaliação da qualidade de componentes e substratos. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE SUBSTRATO PARA PLANTAS, 3., 2002, Campinas. **Anais...** Campinas: IAC, 2002. p. 29-37.

GONÇALVES, J.L.M.; RAIJ, B. van; GONÇALVES, J.C. Florestais. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C (Ed.). **Recomendação de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. 2^a ed. Campinas: Instituto Agrônomo, 1997. p. 247-259. (Boletim Técnico, 100).

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

MACKAY, A.D.; BARBER, S.A. Effect of soil moisture and phosphate level on root hair growth of corn roots. **Plant and Soil**, Hague, v.86, n.3, p.321-331, 1985.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: CERES, 2006. 631 p.

MARROCOS, P.C.; SODRÉ, G.A. Sistema de produção de mudas de cacauzeiros. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE SUBSTRATO PARA PLANTAS, 4., 2004, Viçosa. **Anais...** Viçosa: UFV, 2004. p. 283-311.

MINAMI, K. Adubação em substrato. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE SUBSTRATO PARA PLANTAS, 1., 1999, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: Genesis, 2000. p. 147-152.

NOGUERA M., P. **Caracterización y evaluación del residuo de fibra de coco: un nuevo material para el cultivo en sustrato.** 2000. 226 p. Thesis (Doctor of Chemistry) - Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, 2000.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. Estimulantes. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. (Ed.). **Recomendação de adubação e calagem para o estado de São Paulo.** 2ª ed. Campinas: Instituto Agrônomo, 1997. p. 93-95. (Boletim Técnico, 100).

SONNEVELD, C.; ENDE, J. van der; DIJK, P.A. van. Analysis of growing media by means of a 1:1½ volume extract. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.5, n.3, p.183-202, 1974.

SOUZA JR., J.O.; RAMOS, A.; BRITO, A.M.L.; SODRÉ, G.A.; CARMELLO, Q.A.C. Diagnóstico nutricional de mudas clonais de cacau produzidas pelo Instituto Biofábrica de cacau (IBC), em Ilhéus, Bahia, no ano de 2005. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE SUBSTRATOS PARA PLANTAS, 5., 2006, Ilhéus. **Anais...** Ilhéus: CEPLAC, 2006. p. 160.

WILLIAMS, K.A.; NELSON, P.V. Modifying a soilless root medium with aluminum influences phosphorus retention and Chrysanthemum growth. **Hortscience**, Alexandria, v.31, n.3, p.381-384, 1996.

YUAN, T.L. Determination of exchangeable hydrogen in soils by a titration method. **Soil Science**, Baltimore, v.88, p.164-167, 1959.

5 UREIA PARA A PRODUÇÃO DE MUDAS CLONAIS DE CACAU EM SUBSTRATO

Resumo

O experimento foi instalado em viveiro de produção de mudas do Instituto Biofábrica de Cacau, em Ilhéus, Bahia, em julho de 2006. Constituiu de um fatorial 2 x 5 (duas formas de adubação e cinco doses de uréia), em blocos casualizados, com quatro repetições. A parcela útil foi constituída por 12 mudas clonais de cacauero cultivadas em tubetes, contendo 288 cm³ de substrato (50% de fibra de coco e 50% de Plantmax®). O substrato foi corrigido com 3,20 kg m⁻³ de calcário e adubado com 2,68 kg m⁻³ de superfosfato simples. Os tratamentos foram aplicados entre o 82º até o 138º dia, com as seguintes doses semanais de N: 0, 20, 40, 60 e 80 mg dm⁻³ via substrato e 0,0; 2,25; 4,5; 9,0 e 13,5 g L⁻¹ via foliar. Para todos os tratamentos, fez-se a adubação complementar com P, K, S, Zn e B via substrato. Aos 145 dias as plantas foram colhidas, sendo avaliados: diâmetro, altura, área foliar, matéria seca da parte aérea (MSPA), concentração de nutrientes na folha diagnóstica e conteúdo de nutrientes na parte aérea. As variáveis biométricas e nutricionais responderam aos tratamentos. A adubação via substrato proporcionou produção máxima superior à adubação foliar, para MSPA, altura e área foliar. As doses recomendáveis de N, calculadas para obtenção de 99% da produção máxima, variaram de acordo com a variável biométrica de 43 a 76 mg dm⁻³ para adubação via substrato e de 9,1 a 11,7 g L⁻¹ para a adubação foliar. O nível crítico foliar de N, para obtenção de 99% da produção máxima da MSPA, foi de 23,1 g kg⁻¹.

Palavras-chave: *Theobroma cacao*; Nutrição; Adubação foliar; Nível crítico; Cultivo sem solo; Nitrogênio

Abstract

Urea for rooted cocoa tree cutting production in potting mix

The experiment was set up in a rooted cutting breeding nursery of the Cocoa Biofactory Institute, in Ilheus, Bahia, in July 2006. It was a factorial 2 x 5 (two fertilizing treatments and five urea doses), in random blocks with four repetitions. The useful plot was composed by 12 cocoa rooted cuttings in containers, containing 288 cm³ of potting mix (50% coconut fiber and 50% Plantmax®). Potting mix was liming with 3.20 kg m⁻³ and fertilized with 2.68 kg m⁻³ of simple superphosphate. They were applied in the experiments between 82nd and 138th day, with the following weekly doses of N: 0, 20, 40, 60 and 80 mg dm⁻³ via substrate and 0.0, 2.25, 4.5, 9.0 and 13.5 g L⁻¹ via foliar. For all treatments, it was made complement fertilization with P, K, S, Zn and B via potting mix. On 145th day, plants were harvested, being evaluated: diameter, height, foliar area, shoot dry matter (SDM), nutrients concentration in the diagnostic leaf and nutrient content in the aerial part. The biometric and nutrient variables responded to treatments. Fertilizer via substrate provided maximum production higher than foliar fertilization, for SDM, height and foliar area. The N recommendable doses, assessed to obtain 99% of maximum production, varied according to the biometric variable from 43 to 76 mg dm⁻³ for fertilization via substrate and from 9.1 to 11.7 g L⁻¹ for foliar fertilization. The N foliar critical level, to obtain 99% of maximum production of SDM, was 23.1 g kg⁻¹.

Keywords: *Theobroma cacao*; Nutrition; Foliar fertilizer; Critical level; Soilless crop; Nitrogen

5.1 Introdução

Distúrbios nutricionais têm sido observados no sistema de produção de mudas de cacau clonal, no Instituto Biofábrica de Cacau (MARROCOS; SODRÉ, 2004; SOUZA JR. et al., 2006), sendo que após pesquisas de calibração da calagem (CAMPOS et al., 2006) e de adubação com P nos substratos (CARMELLO; SOUZA JR., 2006b), o nitrogênio e o potássio foram considerados os nutrientes mais desbalanceados, para o atual sistema (SOUZA JR. et al., 2006). O N, além de ser o nutriente que limita bastante o crescimento de mudas de cacau (MORAIS et al., 1979), pode ser perdido por volatilização e, em ambiente com irrigação constante, sofre perdas elevadas por lixiviação.

A calagem deve ser efetuada no preparo do substrato (BATAGLIA; FURLANI, 2004; CAMPOS et al., 2006) e o P também pode ser adicionado nesse momento, desde que o substrato tenha capacidade de adsorvê-lo e liberá-lo posteriormente (WILLIAMS; NELSON, 1996; BATAGLIA; FURLANI, 2004; CARMELLO; SOUZA JR., 2006b). Porém, a lixiviação elevada, implica que a adubação dos nutrientes mais móveis deva ser realizada em pós-plantio, após o enraizamento da estaca e quando ela começa emitir ramos novos.

O IBC ainda adota adubação pós-plantio em cobertura com fertilizante sólido, mistura de grânulos (NPK 11-30-17) ou PGMix® (NPK 14-16-18 mais micronutrientes), aplicado manual, na dose aproximada de 1,0 g por tubete, com intervalo de aplicações em torno de 21 dias. Essa prática é ineficiente, pois há adição de doses altas de fertilizantes, falta uniformidade de aplicação (dose e nutriente) e requer muita mão-de-obra, o que gera desbalanço nutricional, desuniforme no desenvolvimento das mudas, perda elevada de nutrientes por lixiviação e custo alto de adubação.

Para melhorar a eficiência dessa adubação, é necessário que os nutrientes sejam fornecidos de maneira balanceada e de forma mais automatizada. As principais

opções seriam: fertirrigação, aplicação de solução de nutrientes direcionada ao substrato e adubação foliar.

Para a produção de mudas de cacau pelo IBC, a fertirrigação pode ser uma opção (RAMOS et al., 2006), porém sua implementação não é simples, devido à diversidade do sistema de produção: 20 viveiros, com área total de 40.000 m², contendo além de mudas de cacau, mudas de outras frutíferas, de pupunha e de essências florestais em fases distintas de desenvolvimento e com regimes de irrigação diferenciados. Além disso, o sistema é aberto e a água em excesso seria drenada e carregaria os fertilizantes, sem falar nas áreas dos corredores e nos espaços entre tubetes e entre bandejas que receberiam fertilizantes, os quais obviamente seriam perdidos para o ambiente.

Por outro lado, a aplicação de solução direcionada ao tubete ou a adubação na folha demandaria menor quantidade de fertilizante e causariam impacto menor ao ambiente, além de ser mais fácil calibrar a adubação de acordo com a demanda da espécie, ou até mesmo do clone, e de sua fase de desenvolvimento.

Mudas de cacau são indiferentes à fonte de N, seja ela nítrica, amoniacal ou combinações destas (SANTANA; EZETA; MORAIS, 1980) e respondem similarmente à aplicação de uréia, quando comparada com ao sulfato de amônio, desde que não haja deficiência de enxofre (MIRANDA; MORAIS, 1971).

Para mudas e plantas adultas de cacau, encontraram-se pesquisas utilizando adubação foliar com concentração de uréia variando de 5 a 10 g L⁻¹ (JARAMILLO, 1952, 1953; MORAIS et al., 1979; QUINTERO et al., 1991) a até 50 g L⁻¹ (CAIN, 1956), sendo a taxa de absorção considerada rápida, pois folhas em diferentes estágios de maturação absorvem em média 60 e 90% da uréia aplicada após duas horas, pelas faces adaxial e abaxial, respectivamente (CAIN, 1956).

O objetivo desse trabalho foi comparar a eficiência das adubações no substrato e foliar com uréia para o crescimento de mudas clonais de cacau e definir doses recomendáveis e nível crítico foliar de N.

5.2 Material e Métodos

O experimento foi instalado em viveiro de produção de mudas, com laterais e teto de tela plástica do tipo sombrite 50%, no Instituto Biofábrica de Cacau (IBC), em Ilhéus, Bahia, em julho de 2006.

Para a produção das mudas por propagação vegetativa foram utilizadas estacas apicais semi-herbácea, de ramos plagiotrópicos de cacauzeiros do clone PH 16, com aproximadamente 18 cm de comprimento, contendo três folhas, com 1/2 a 2/3 do limbo foliar remanescente. Elas foram tratadas na base com 6 g kg⁻¹ de AIB em talco e estaqueadas em tubetes de 288 cm³, contendo substrato; sendo a profundidade de estaqueamento em torno de 6 cm. Foram preparados 1512 tubetes, com uma estaca por tubete.

O substrato utilizado foi formado, em volume, por 50% de fibra de coco (FC) e 50% de Plantmax[®] (Pmax – substrato comercial, recomendado para produção de mudas de espécies florestais propagadas por estaquia, composto de casca de pinus compostada, vermiculita expandida, carvão granulado e turfa). Ambos os substratos foram peneirados (5 mm) e posteriormente misturados em betoneira, onde receberam calcário e superfosfato simples, ambos peneirados (0,84 mm), nas doses respectivas de 3,20 kg m⁻³ e 2,68 kg m⁻³, definidas em experimentos anteriores (CAMPOS et al., 2006; CARMELLO; SOUZA JR., 2006b).

Utilizou-se irrigação automática do tipo nebulização intermitente, com água do rio Almada, com funcionamento do sistema das 06 às 18 horas, sendo o mesmo desligado nos períodos com chuva. Utilizaram-se bicos com vazão teórica e efetiva, respectivamente, de 40 e 52 litros por hora, com área irrigada de 4 m² por bico. Para a fase de enraizamento, adotou-se um período de 45 dias, onde a irrigação foi efetuada a cada 5 minutos, durante 25 a 30 segundos. Até os 95 dias, gradativamente, o intervalo entre irrigações foi sendo reduzido e o tempo de irrigação foi aumentando, até atingir três irrigações diárias, às 7:00, 11:00 e 15:00 horas, sendo que nessa fase o sistema de irrigação passou a ser administrado manualmente. O tempo de irrigação foi ajustado de acordo com a fase de desenvolvimento das mudas e as condições climáticas, até alcançar 10 a 15 minutos por irrigação.

O controle fitossanitário, num total de sete aplicações durante o período do experimento, foi semelhante ao adotado pelo IBC, com a utilização de fungicidas, acaricidas e inseticidas, à base de mancozeb, endosulfan, methamidophos, deltamethrin e óxido cuproso, com, respectivamente, três, duas, duas, uma e uma aplicações.

A partir da 11ª semana, os tratamentos e as parcelas foram identificados, sendo a parcela útil mantida com 12 mudas. Além dessas, mais 43 mudas por tratamento foram identificadas e mantidas como sobressalentes para a possível reposição nas parcelas úteis, se necessário.

O experimento foi um fatorial 2 x 5: duas formas de adubação com uréia (no substrato ou foliar) e cinco doses, em delineamento de blocos ao acaso, com quatro repetições. Os tratamentos foram aplicados semanalmente, sempre após a última irrigação diária, num total de nove adubações, entre o 82º até o 138º dia após o estaqueamento.

Para a adubação no substrato, as doses semanais de N foram 0, 20, 40, 60 e 80 mg dm⁻³, aplicadas na forma líquida, sendo utilizado 2,0 mL da solução por tubete; após essa adubação ligava-se o sistema de irrigação por aproximadamente dois minutos, apenas para auxiliar a penetração da solução no substrato, sem gerar lixiviação.

Para as adubações foliares com soluções de uréia, separaram-se espacialmente as parcelas por tratamentos, para evitar possível contaminação entre os mesmos, e esperava-se a evaporação da água remanescente sobre as folhas, oriunda da última irrigação, para se fazer às aplicações foliares com soluções com concentrações de N de 0,0; 2,25; 4,5; 9,0 e 13,5 g L⁻¹. Pulverizavam-se as mudas até o início do escorrimento foliar das soluções.

A partir do 82º dia, todos os tratamentos também receberam adubação complementar semanal, via substrato, com K, S, Zn e B, nas doses respectivas de 30; 12,7; 0,5 e 0,1 mg dm⁻³, na forma de sulfato de potássio, sulfato de zinco e ácido bórico, sendo utilizado 1,0 mL da solução por tubete. Na segunda e na sexta adubações também se aplicou P (20 mg dm⁻³), na forma de fosfato monoamônico.

Aos 145 dias, avaliaram-se: diâmetro da haste principal, com auxílio de paquímetro digital, tomando-se duas medidas perpendiculares entre si e à distância de aproximadamente um centímetro do ponto de brotamento; 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), definida em experimento anterior (CARMELLO; SOUZA JR., 2006a), 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 (rápida imersão em: água corrente, solução de detergente neutro 0,1%, água corrente, solução de HCl 3%, água destilada e água destilada novamente). As amostras foram secas em estufa com circulação forçada de ar a 65 °C, por três dias, posteriormente foram pesadas para se obter: matéria seca da parte aérea (MSPA), que foi a soma das matérias seca das folhas e do caule. As amostras de folhas e caule foram posteriormente moídas e analisadas quimicamente, de acordo com EMBRAPA (1999), visando obter-se a concentração de nutrientes na folha diagnóstica e o conteúdo total de nutrientes na parte aérea das plantas.

Os resultados foram submetidos à análise de variância, sendo o fator quantitativo, doses de N, submetido à análise de regressão, com coeficientes linear e quadrático ou raiz-quadrático, sendo aceitos os modelos que apresentaram todos os coeficientes significativos a até 10% de probabilidade, pelo teste F e o maior coeficiente de determinação ajustado. As doses recomendáveis de N foram calculadas para se obter 99% da produção máxima das variáveis biométricas e, a partir da dose recomendável para MSPA, determinou-se o nível crítico foliar.

Os valores máximos estimados das variáveis biométricas e dos nutrientes na planta para a obtenção da produção máxima de MSPA foram analisados por contraste, entre as formas de adubação (substrato e foliar), sendo os contrastes considerados significativos a até 5% de probabilidade, pelo teste F.

5.3 Resultados e Discussão

As variáveis biométricas avaliadas responderam à adição de N, apresentando pontos de produção máxima, visto que houve efeitos linear e quadrático ou raiz-quadrático significativos (Figura 5.1). Independente da forma de adubação, as variáveis altura e diâmetro (Figuras 5.1c, 5.1d, 5.1e e 5.1f) apresentaram comportamento raiz-quadrático, evidenciando taxa de resposta inicial maior em relação à MSPA que apresentou comportamento quadrático (Figuras 5.1a e 5.1b), o que confere resposta inicial menor.

Para a adubação foliar, as doses semanais para obtenção da produção máxima variaram de 10,9 a 13,5 g L⁻¹ de N ou 24 a 30 g L⁻¹ de uréia (Tabela 5.1). Essas doses são superiores às utilizadas por Jaramillo (1952, 1953), Morais et al. (1979) e Quintero et al. (1991), de 5 a 10 g L⁻¹ de uréia. Vale ressaltar que se observou queima das bordas e, principalmente, do ápice foliar, para a dose de 13,5 g L⁻¹ de N.

Para a adubação no substrato, as doses semanais para obtenção da produção máxima variaram de acordo com a característica considerada, de 63 a 80 mg dm⁻³ de N (Tabela 5.1). Essas doses são inferiores à média semanal obtida por Decarlos Neto et al. (2002), para a obtenção de altura máxima de porta-enxertos de citros em tubetes aos 120 dias, que foi de 152 mg dm⁻³ de N, porém esses autores utilizaram tubete de dimensão pequena, contendo apenas 14% do volume de substrato utilizado neste experimento. Por sua vez, Esposti e Siqueira (2004), também estudando a adubação de porta-enxertos de citros, porém cultivados por 305 dias e em tubete grande, contendo 3,8 dm³ de substrato, chegaram a dose média quinzenal de 29 mg dm⁻³ de N para obtenção da produção máxima para diâmetro, MSPA, altura e área foliar.

As doses recomendáveis, calculadas para a obtenção de 99% da produção máxima, também variaram de acordo com a variável biométrica considerada, sendo a amplitude de 43 a 76 mg dm⁻³ de N, para a adubação no substrato e de 9,1 a 11,7 g L⁻¹ de N (20 a 26 g L⁻¹ de uréia), para a adubação foliar (Tabela 5.1).

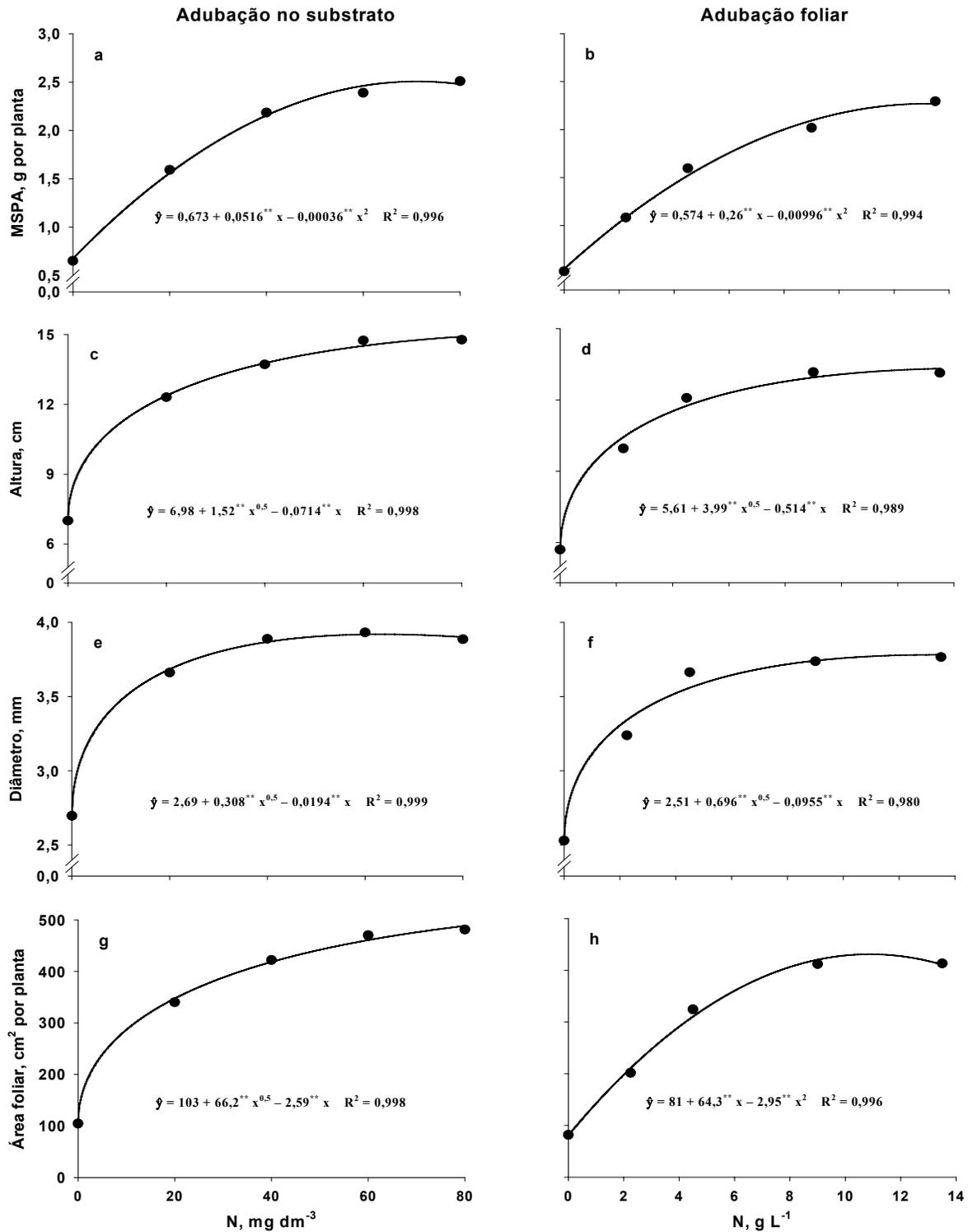


Figura 5.1 – Matéria seca da parte aérea – MSPA (a, b), altura (c, d), diâmetro (e, f) e área foliar (g, h) de mudas de cacaueteiro, clone PH 16 aos 145 dias, em função da dose de nitrogênio e forma de adubação: no substrato (a, c, e, g) ou foliar (b, d, f, h). **, significativo a 1% pelo teste F

Tabela 5.1 – Doses semanais de N para obtenção da produção máxima e doses recomendáveis para se obter 99% da produção máxima para matéria seca da parte aérea (MSPA), altura, diâmetro e área foliar (AF) de mudas de cacau e nível crítico foliar (NCF – para obtenção de 99% da produção máxima de MSPA), de acordo com a forma de adubação – Clone PH 16, aos 145 dias

Forma de adubação	Dose de N para produção máxima				--- Dose recomendável de N ---				NCF
	MSPA	Altura	Diâmetro	AF	MSPA	Altura	Diâmetro	AF	
	----- mg dm ⁻³ (substrato) e g L ⁻¹ (foliar) -----								g kg ⁻¹
Substrato	71	80	63	80	63	71	43	76	22,9
Foliar	13,2	13,5	13,3	10,9	11,7	11,1	9,1	9,7	23,3

Independente da forma de adubação, o diâmetro foi a variável que resultou nas doses recomendáveis menores (Tabela 5.1), fato também encontrado por Esposti e Siqueira (2004) para porta-enxertos de citros. As doses recomendáveis maiores foram obtidas para área foliar para a adubação no substrato e para MSPA para a adubação foliar (Tabela 5.1).

A adubação com uréia, independente de sua forma de aplicação, aumentou a concentração de N na folha, reduziu a concentração de K e de Zn e mostrou um efeito tipicamente quadrático para P (Figura 5.2). O efeito de diluição explica a redução nas concentrações de K e de Zn, nutrientes que inclusive foram fornecidos semanalmente pós-plantio, mas cujas concentrações foliares nos tratamentos com maiores doses de N ficaram abaixo daquelas consideradas adequadas para cacauzeiros adultos por Malavolta (2006) e próximas ao limite inferior da faixa considerada adequada por Raij, Cantarella e Quaggio (1997), sugerindo uma possível deficiência desses nutrientes. O efeito de diluição também explica a redução inicial da concentração de P, com o aumento das doses de N (Figuras 5.2a e 5.2b), porém a adubação nitrogenada pode ter favorecido o desenvolvimento do sistema radicular, o que estimularia a absorção de P e, conseqüentemente, o aumento de sua concentração foliar.

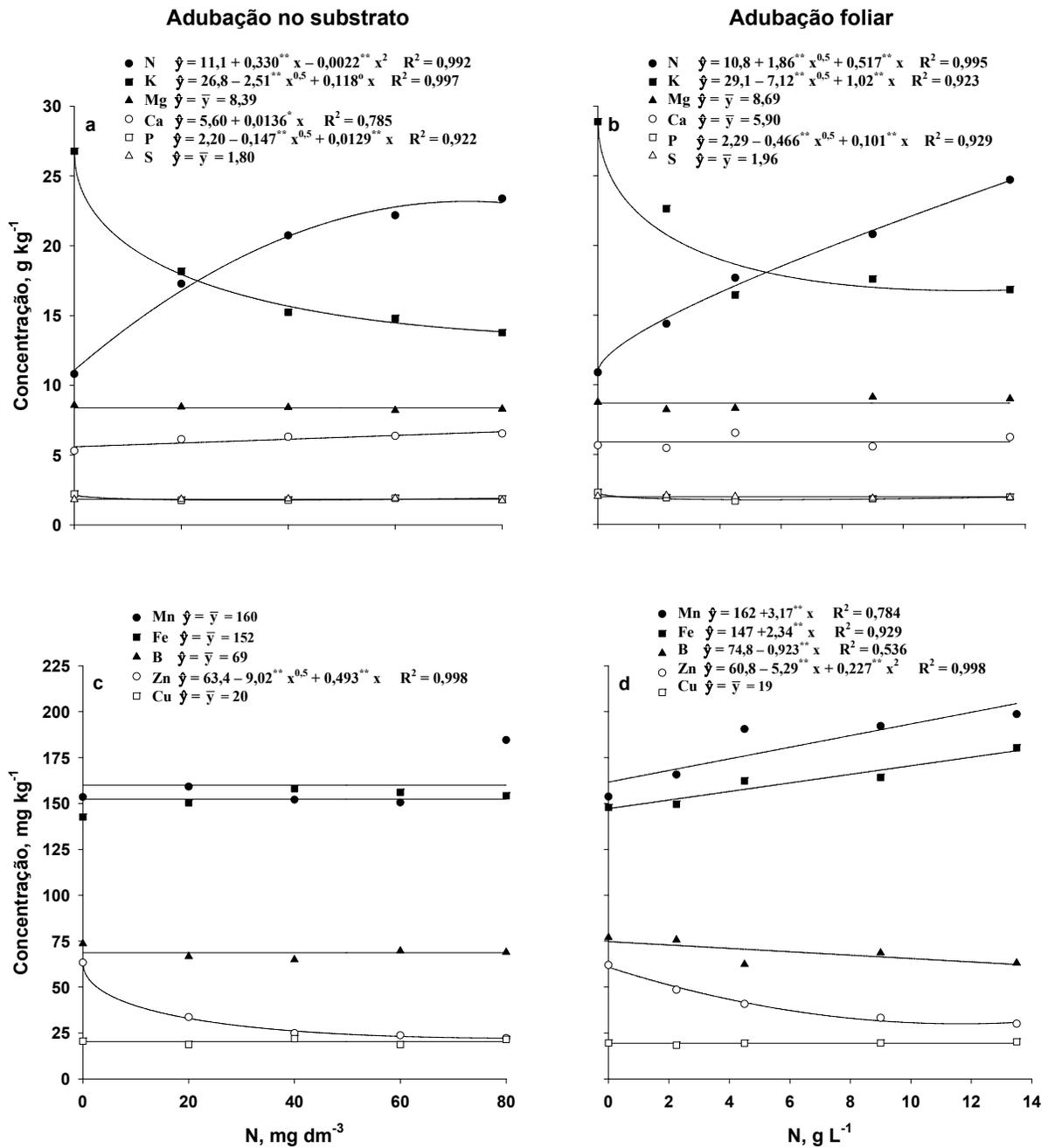


Figura 5.2 – Concentração de macro (a, b) e micronutrientes (c, d) na folha diagnóstica de mudas de cacaueteiro, clone PH 16 aos 145 dias, em função da dose de nitrogênio e forma de adubação: no substrato (a, c) ou foliar (b, d). **, * e ⁰, significativo a 1, 5 e 10%, respectivamente, pelo teste F

A adubação com uréia no substrato aumentou também a concentração foliar de Ca, mas não afetou a concentração dos demais nutrientes (Figuras 5.2a e 5.2c). Ruschel et al. (2004), também observaram que a adubação nitrogenada no substrato afetou as concentrações de Ca em folhas de mudas de limoeiro, apresentando resposta quadrática. Segundo Basso (1995), as fontes de N podem afetar a nutrição de Ca por: alterar o pH externo; competição com NH_4^+ ou estimulação pelo NO_3^- na absorção de Ca; melhorar o transporte de Ca no xilema, pois o NO_3^- é o ânion acompanhante preferencial no transporte de Ca dentro da planta.

A adubação foliar com uréia não alterou a concentração na folha de Ca, Mg, S e Cu, mas reduziu a concentração de B e aumentou a de Fe e Mn (Figura 5.2).

Independente da forma de adubação, o aumento da dose de uréia favoreceu o acúmulo de todos os nutrientes na parte aérea das mudas de cacau (Figura 5.3), por causa do incremento da concentração de alguns nutrientes (Figura 5.2), mas principalmente, devido ao aumento da matéria seca (Figuras 5.1a e 5.1b). Para a adubação no substrato, a variação do incremento no conteúdo de nutrientes foi: $\text{N} > \text{Mn} > \text{P} > \text{Fe} \cong \text{S} \cong \text{B} \cong \text{Mg} \cong \text{Ca} > \text{K} > \text{Zn} > \text{Cu}$. Seqüência semelhante à observada para a adubação foliar: $\text{N} > \text{Fe} \cong \text{P} \cong \text{Mn} \cong \text{S} \cong \text{Mg} \cong \text{Ca} \cong \text{B} > \text{K} > \text{Zn} > \text{Cu}$.

A análise por contraste das produções máximas estimadas dentro do espaço experimental, entre as duas formas de fornecimento de uréia, apontou que a adubação no substrato foi superior à foliar para MSPA, altura e área foliar (Tabela 5.2), com incrementos respectivos de 10, 12 e 13%. Porém vale ressaltar que a adubação foliar seria mais fácil de ser implementada em um sistema massal de produção de mudas, desde que houvesse o fornecimento dos outros nutrientes não supridos satisfatoriamente pelo substrato e o aumento da freqüência de adubação.

Para os nutrientes na planta, estimados para a obtenção da máxima produção de MSPA, a análise por contraste entre as duas formas de adubação revelou incremento significativo para a adubação foliar para as concentrações na folha diagnóstica de Fe, Mn e Zn, na ordem de 17, 27 e 36%, respectivamente, e para a adubação no substrato para os conteúdos na planta de P, B e Cu, na ordem de 12, 18 e 31% respectivamente (Tabela 5.3).

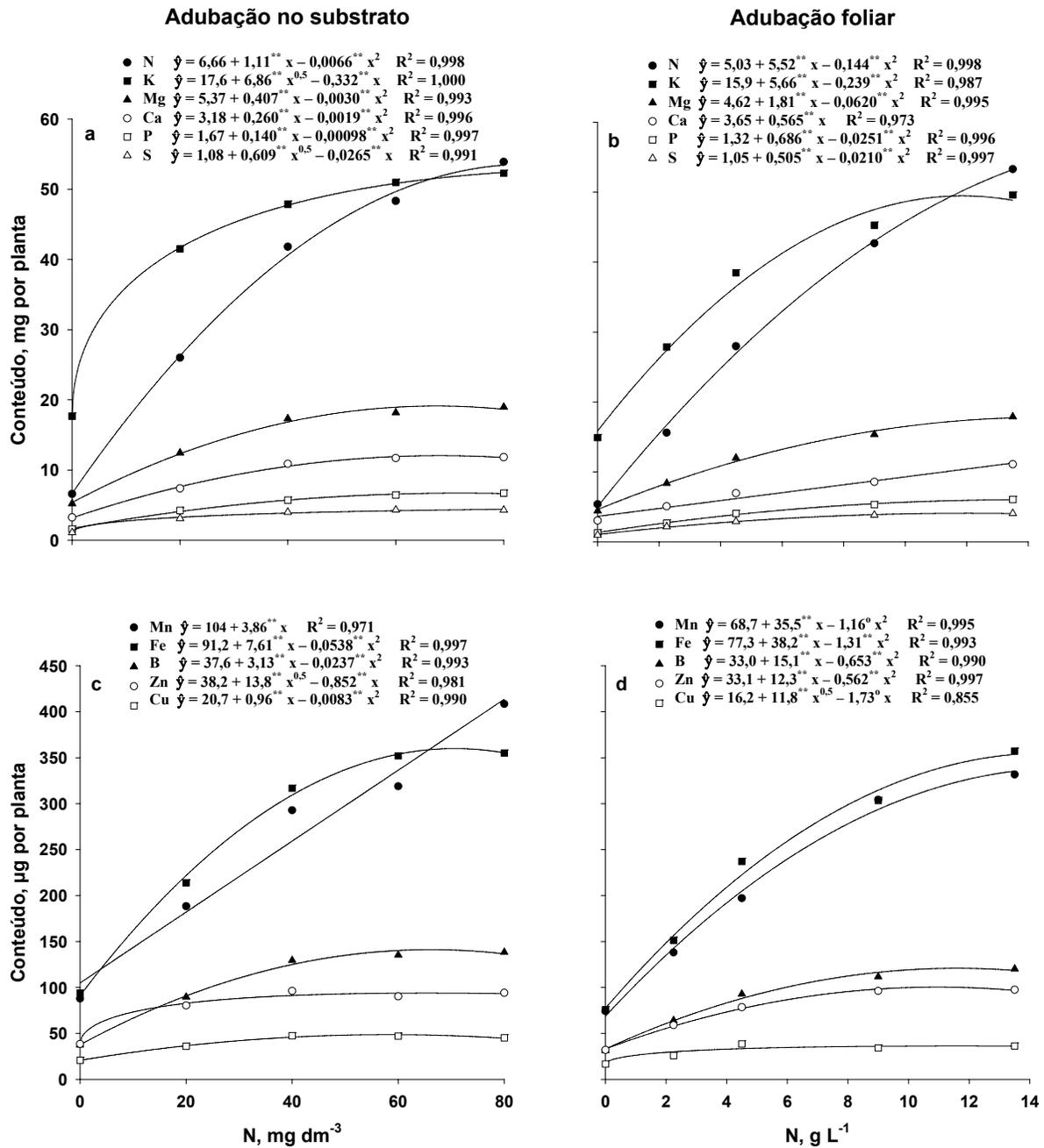


Figura 5.3 – Conteúdo de macro (a, b) e micronutrientes (c, d) na parte aérea de mudas de cacaueteiro, clone PH 16 aos 145 dias, em função da dose de nitrogênio e forma de adubação: no substrato (a, c) ou foliar (b, d). ** e *, significativo a 1 e 5%, respectivamente, pelo teste F

As concentrações estimadas de N na folha diagnóstica para obtenção da produção máxima da MSPA não diferiram significativamente (Tabela 5.3) e, conseqüentemente, os níveis críticos foliares de N, calculados para obtenção de 99% da produção máxima da MSPA, foram semelhantes entre as duas formas de adubação (Tabela 5.1), podendo-se admitir uma concentração média de 23,1 mg kg⁻¹ de N, valor que é superior aos 20 g kg⁻¹ apontado por Malavolta (2006), como adequado para cacauzeiros adultos, mas está dentro da faixa de suficiência de 20 a 25 g kg⁻¹ sugerida por Raij, Cantarella e Quaggio (1997) também para cacauzeiros. Para mudas de cacau, cultivadas em solução nutritiva, Loué (1962) concluiu que havia deficiência média de N, quando a concentração foliar encontrava-se entre 20 a 22 g kg⁻¹ e ligeira quando a concentração era de 23 g kg⁻¹ de N.

Tabela 5.2 – Contrastes dos valores estimados para a produção máxima da matéria seca da parte aérea (MSPA), altura, diâmetro e área foliar de mudas de cacau, de acordo com a forma de adubação – Clone PH 16, aos 145 dias

Forma de adubação	MSPA g por planta	Altura Cm	Diâmetro mm	Área foliar cm ² por planta
Substrato	2,51	14,9	3,92	488
Foliar	2,27	13,3	3,78	431
Contraste ^{1/}	0,24*	1,6**	0,14 ^{ns}	57**

^{1/} Diferença entre a adubação via substrato e foliar; * e ** significativo a 1 e 5%, respectivamente, pelo teste F.

Tabela 5.3 – Contrastes das concentrações e dos conteúdos de nutrientes estimados para a produção máxima da matéria seca da parte aérea, de mudas de cacau, de acordo com a forma de adubação – Clone PH 16, aos 145 dias

Forma de adubação	Concentração na folha diagnóstica											
	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn	
	g kg ⁻¹						mg kg ⁻¹					
Substrato	23,2	1,9	14,1	6,6	8,4	1,8	69	20	152	160	22	
Foliar	24,4	1,9	16,8	5,9	8,7	2,0	63	19	178	204	30	
Contraste ^{1/}	-1,2 ^{ns}	0,0 ^{ns}	-2,7 ^{ns}	0,7 ^{ns}	-0,3 ^{ns}	-0,2 ^{ns}	6 ^{ns}	1 ^{ns}	-26**	-44**	-8*	
	Conteúdo na parte aérea da planta											
	mg por planta						µg por planta					
Substrato	52,4	6,7	51,8	12,0	19,1	4,3	141	47	360	379	94	
Foliar	52,8	6,0	49,0	11,1	17,7	4,1	119	36	353	334	97	
Contraste ^{1/}	-0,4 ^{ns}	0,7*	2,8 ^{ns}	0,9 ^{ns}	1,4 ^{ns}	0,2 ^{ns}	22*	11*	7 ^{ns}	45 ^{ns}	-3 ^{ns}	

^{1/} Diferença entre a adubação via substrato e foliar; * e ** significativo a 1 e 5%, respectivamente, pelo teste F.

5.4 Conclusões

As variáveis de crescimento e nutricionais responderam às formas e doses de adubação com uréia.

Para aplicações semanais, a adubação no substrato foi superior à adubação foliar.

As doses recomendáveis de N variaram de acordo com a variável biométrica de 43 a 76 mg dm⁻³ para adubação no substrato e de 9,1 a 11,7 g L⁻¹ para a adubação foliar.

O nível crítico foliar médio de N foi de 23,1 g kg⁻¹.

Referências

BASSO, C. **Influence of potassium, calcium, and magnesium availability in the soil on nutrients in leaves and fruits, and the evolution of surface wax and nutrients during apple fruit development.** Raleigh, North Carolina State University, 1995. 109 p. Thesis (Doctor of Philosophy) – North Carolina State University, Raleigh, 1995.

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. **Anais...** Viçosa: UFV, 2004. p. 106-128.

CAIN, J.C. Absorption and metabolism of urea by leaves of coffee, cacao and banana. **Proceedings of the American Society for Horticultural Science**, Geneva, v.67, p.279-286, 1956.

CAMPOS, V.P.; GATTWARD, J.N.; SOUZA JR., J.O.; MENEZES, A.A.; PAIVA, A.Q.; SACRAMENTO, C.K.; ALMEIDA, A.A.F; FARIA, J.C.F. Biomassa e pH do substrato em função do calcário e do substrato na propagação vegetativa do cacauzeiro. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE SUBSTRATOS PARA PLANTAS, 5., 2006, Ilhéus. **Anais...** Ilhéus: CEPLAC, 2006. p. 158.

CARMELLO, Q.A.C.; SOUZA JR., J.O. Metodologias utilizadas para avaliação da fertilidade de solos podem ser aplicadas a substratos? I. Macronutrientes. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE SUBSTRATOS PARA PLANTAS, 5., 2006, Ilhéus. **Anais...** Ilhéus: CEPLAC, 2006a. p. 103.

CARMELLO, Q.A.C.; SOUZA JR., J.O. Sobrevivência e crescimento de mudas clonais de cacau em função dos substratos e das doses e época de aplicação de P. In: INTERNATIONAL COCOA RESEARCH CONFERENCE, 15., 2006, San José. **Proceedings...** San José: Cocoa Producers' Alliance, 2006b. p. 179.

DECARLOS NETO, A.; SIQUEIRA, D.L.; PEREIRA, P.R.G.; ALVAREZ V., V.H. Crescimento de porta-enxertos de citros em tubetes influenciados por doses de N. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.24, n.1, p.199-203, 2002.

EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília, 1999. 370 p.

ESPOSTI, M.D.D.; SIQUEIRA, D.L. Doses de uréia no crescimento de porta-enxertos de citros produzidos em recipientes. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.26, n.1, p.136-139, 2004.

JARAMILLO A., R. La urea y el marchitamiento de frutos jóvenes: nota preliminar. **Cacao en Colombia**, Palmira, v.1, p.101-106, 1952.

JARAMILLO A., R. La urea y el marchitamiento de los frutos jóvenes de cacao. **Cacao en Colombia**, Palmira, v.2, p.63-76, 1953.

LOUÉ, A. Estudo das carências minerais do cacau por intermédio de ensaios em meio artificial. **Fertilité**, Paris, v.14, p.5-41, 1962.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: CERES, 2006. 631 p.

MARROCOS, P.C.; SODRÉ, G.A. Sistema de produção de mudas de cacauzeiros. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE SUBSTRATO PARA PLANTAS, 4., 2004, Viçosa. **Anais...** Viçosa: UFV, 2004. p. 283-311.

MIRANDA, E.R.; MORAIS, F.I.O. Efeitos da combinação de diferentes fontes de nitrogênio e potássio no desenvolvimento de plântulas de cacau. **Revista Theobroma**, Ilhéus, v.1, n.2, p.29-38, 1971.

MORAIS, F.I., SILVA, L.F.; MARINHO, A.H; PINHO, A.F.S. Efeitos da adubação foliar e de substratos no crescimento de plântulas de cacau. **Revista Theobroma**, Ilhéus, v.9, n.4, p.163-171, 1979.

QUINTERO, E.; ISAAC, E.; PIERRE, M.; AGUILAR, P. Aplicación de urea en plantas obtenidas por estacas de *Theobroma cacao* en la fase de vivero y endurecimiento. **Revista Baracoa**, Habana, v.21, n.2-3, p.34-37, 1991.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. Estimulantes. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. (Ed.). **Recomendação de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônômico, 1997. p. 93-95. (Boletim Técnico 100).

RAMOS, A.; MARROCOS, P.C.L.; SOUZA JR., J.O.; SODRÉ, G.A.; BRITO, A.M.L. Aplicação de nutrientes via fertirrigação em mudas de cacau clonado e sua influência sobre o crescimento vegetativo. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE SUBSTRATOS PARA PLANTAS, 5., 2006, Ilhéus. **Anais...** Ilhéus: CEPLAC, 2006. p. 104.

RUSCHEL, J.; CARMELLO, Q.A.C.; BERNARDI, A.C.C.; CARVALHO, S.A.; MATTOS JR., D. Leaf nutrient contents of rangpur lime rootstock as affected by N, P, K, Ca and S fertilization. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.61, n.5, p.501-506, 2004.

SANTANA, M.B.M.; EZETA, F.N.; MORAIS, F.I. Efeito de formas de nitrogênio no crescimento e na composição química de plântulas de cacau. **Revista Theobroma**, Ilhéus, v.10, n.1, p.31-39, 1980.

SOUZA JR., J.O.; RAMOS, A.; BRITO, A.M.L.; SODRÉ, G.A.; CARMELLO, Q.A.C. Diagnóstico nutricional de mudas clonais de cacau produzidas pelo Instituto Biofábrica de cacau (IBC), em Ilhéus, Bahia, no ano de 2005. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE SUBSTRATOS PARA PLANTAS, 5., 2006, Ilhéus. **Anais...** Ilhéus: CEPLAC, 2006. p. 160.

WILLIAMS, K.A.; NELSON, P.V. Modifying a soilless root medium with aluminum influences phosphorus retention and *Chrysanthemum* growth. **Hortscience**, Alexandria, v.31, n.3, p.381-384, 1996.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para o sistema de produção de mudas clonais de cacauzeiros, sob irrigação intermitente, pode-se utilizar a fibra de coco como substrato, desde que essa seja associada a outro substrato com atividade química maior, evitando-se assim a perda excessiva de nutrientes.

Exceto para P, K, Ca e Cu, a análise química dos substratos, por metodologias distintas, não mostrou ser um bom indicador da disponibilidade de nutrientes para as plantas.

Para o monitoramento do status nutricional das mudas clonais de cacau, a terceira folha completamente madura do primeiro ramo pode ser utilizada como folha diagnóstica. Há ainda a necessidade de se definir a melhor época de amostragem.

A adubação fosfatada, com fertilizante solúvel, pode ser efetuada no preparo do substrato, desde que esse tenha capacidade de adsorvê-lo, reduzindo sua lixiviação, e libere-o posteriormente.

A adubação nitrogenada, pós-enraizamento, pode ser efetuada no substrato ou via foliar, sendo que, para aplicações semanais, a primeira foi mais eficiente.

Neste trabalho foi possível definir doses recomendáveis e níveis críticos de fósforo e de nitrogênio.

Para o sistema de produção de mudas clonais de cacauzeiro em substratos, utilizado no Instituto Biofábrica de Cacau, em Ilhéus, Bahia, há necessidade de se calibrar as adubações de potássio, de zinco e possivelmente de boro.