

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
CÂMPUS DE BOTUCATU

**CRESCIMENTO INICIAL E NUTRIÇÃO DO PINHÃO-MANSO EM  
FUNÇÃO DA ADUBAÇÃO NPK**

**MARIÂNGELA BRITO FREIBERGER**

Dissertação apresentada à Faculdade de  
Ciências Agronômicas da UNESP - Câmpus de  
Botucatu, para obtenção do título de Mestre em  
Ciência Florestal

BOTUCATU – SP  
Fevereiro de 2012

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
CÂMPUS DE BOTUCATU

**CRESCIMENTO INICIAL E NUTRIÇÃO DO PINHÃO-MANSO EM  
FUNÇÃO DA ADUBAÇÃO NPK**

**MARIÂNGELA BRITO FREIBERGER**

Orientador: Prof. Dr. Iraê Amaral Guerrini

Dissertação apresentada à Faculdade de  
Ciências Agronômicas da UNESP - Câmpus de  
Botucatu, para obtenção do título de Mestre em  
Ciência Florestal

BOTUCATU – SP  
Fevereiro de 2012

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

F862c Freiberger, Mariângela Brito, 1987-  
Crescimento inicial e nutrição do pinhão-manso em função da adubação NPK / Mariângela Brito Freiberger. - Botucatu : [s.n.], 2012  
x, 68 f. : il., color., grafs., tabs.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2012

Orientador: Iraê Amaral Guerrini

Inclui bibliografia

1. *Jatropha curcas* L. 2. Adubação NPK. 3. Solos - Fertilidade. I. Guerrini, Iraê Amaral. II. Universidade Estadual Paulista. "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas. III. Título.

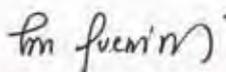
UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
CAMPUS DE BOTUCATU  
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: "CRESCIMENTO INICIAL E NUTRIÇÃO DO PINHÃO-MANSO EM  
FUNÇÃO DA ADUBAÇÃO NPK"

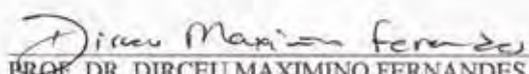
ALUNA: MARIÂNGELA BRITO FREIBERGER

ORIENTADOR: PROF. DR. IRAÊ AMARAL GUERRINI

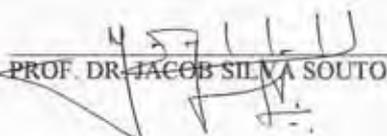
Aprovado pela Comissão Examinadora



PROF. DR. IRAÊ AMARAL GUERRINI



PROF. DR. DIRCEU MAXIMINO FERNANDES



PROF. DR. JACOB SILVA SOUTO

Data da Realização: 27 de fevereiro 2012.

*Aos meus amados pais Pedro Vicente Freiburger e Joana Brito Freiburger.  
Ao meu amado Gustavo.*

***DEDICO***

## AGRADECIMENTOS

A Deus.

Ao Prof. Dr. Iraê Amaral Guerrini, pela orientação, amizade e exemplo.

À Faculdade de Ciências Agronômicas, pela oportunidade e suporte para a realização do mestrado.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pela concessão da bolsa de estudos.

Aos membros da banca examinadora, Prof. Dr. Dirceu Maximino Fernandes e Prof. Dr. Jacob Silva Souto, pela disponibilidade e valiosa contribuição.

À coordenação do curso de Pós-Graduação em Ciência Florestal, pela dedicação e qualidade de ensino.

Aos docentes do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal e Agronomia da FCA/UNESP, pela atenção e ensinamentos.

Aos funcionários da biblioteca e da seção de Pós-Graduação, pela atenção e serviços prestados.

Aos meus pais Pedro e Joana, aos meus irmãos Eliza e Renan e à minha avó Maria Zilda pelo amor incondicional e apoio em todos os momentos.

Ao meu namorado Gustavo, pelo amor, alegria, companheirismo e total ajuda na realização deste trabalho.

À Universidade Estadual do Oeste do Paraná, pela ótima formação acadêmica.

Aos meus amigos Tailene, Idiana, Lílian, Suelen, Lucas, Laércio, Laerte, Henrique, Fábio, Tiago e Diego pela ajuda na realização deste trabalho e pela valiosa amizade.

Aos meus amigos, Grasiela, Silvia, João Paulo, Dácio, Ana Paula, Flavio, Regina e Mario, pela valiosa amizade e apoio em todas as horas.

## SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS .....	VII
LISTA DE FIGURAS.....	VII
LISTA DE APÊNDICES.....	X
1 RESUMO.....	1
2 SUMMARY.....	3
3 INTRODUÇÃO .....	5
4 REVISÃO DE LITERATURA.....	6
4.1 A cultura do pinhão-manso.....	6
4.2 Importância da adubação NPK para o desenvolvimento da cultura do pinhão-manso.....	8
4.3 Resultados de pesquisa com adubação NPK para a cultura do pinhão-manso no Brasil	10
5 MATERIAL E MÉTODOS .....	16
5.1 Tratamentos e delineamento experimental.....	16
5.1.1 Experimento 1: Doses de nitrogênio .....	16
5.1.2 Experimento 2: Doses de fósforo .....	17
5.1.3 Experimento 3: Doses de potássio.....	17
5.2 Coleta e correção do solo.....	17
5.3 Produção de mudas de pinhão-manso .....	18
5.4 Adubação do solo.....	20
5.5 Transplântio das mudas .....	22
5.6 Manejo e tratos culturais.....	23
5.7 Avaliações.....	23
5.8 Análise estatística.....	24
6 RESULTADOS.....	25
6.1 Experimento 1: Doses de nitrogênio .....	25
6.2 Experimento 2: Doses de fósforo .....	36
6.3 Experimento 3: Doses de potássio .....	46
7 CONCLUSÕES .....	57
8 REFERÊNCIAS .....	58
9 APÊNDICE.....	66

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Estimativa de extração de N, P e K pelos frutos de pinhão-manso, de acordo com a produção esperada de sementes no 1º, 2º, 3º e 4º ano de cultivo.....	11
Tabela 2. Doses de N, P e K recomendadas para adubação de base ou como parte da adubação de reposição para a cultura do pinhão-manso.....	14
Tabela 3. Análise granulométrica do solo.....	18
Tabela 4. Análise básica do solo.....	18
Tabela 5. Análise de nitrogênio, enxofre e micronutrientes do solo.....	18
Tabela 6. Análise básica do solo após correção com calcário dolomítico.....	18
Tabela 7. Dose de uréia misturada a 50 dm <sup>-3</sup> de solo (equivalente a 1 vaso) em função dos tratamentos.....	21
Tabela 8. Dose de superfosfato triplo misturada a 50 dm <sup>-3</sup> de solo (equivalente a 1 vaso) em função dos tratamentos.....	21
Tabela 9. Dose de cloreto de potássio misturada a 50 dm <sup>-3</sup> de solo (equivalente a 1 vaso) em função dos tratamentos.....	21
Tabela 10. Equações de regressão referentes aos teores de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn em folhas de pinhão-manso em função de doses de N, 150 dias após o plantio.....	32
Tabela 11. Equações de regressão referentes ao acúmulo de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn em plantas de pinhão-manso em função de doses de N, 150 dias após o plantio.....	34
Tabela 12. Equações de regressão referentes ao valor de pH e teor de M.O., P <sub>resina</sub> , H+Al, K, Ca, Mg, SB, CTC, V%, B, Cu, Fe, Mn e Zn do solo ao final do experimento com doses de N.....	35
Tabela 13. Equações de regressão referentes aos teores de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn em folhas de pinhão-manso em função de doses de P, 150 dias após o plantio.....	42
Tabela 14. Equações de regressão referentes ao acúmulo de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn em plantas de pinhão-manso em função de doses de P, 150 dias após o plantio.....	44

Tabela 15. Equações de regressão referentes ao valor de pH e teor de M.O., $P_{\text{resina}}$ , H+Al, K, Ca, Mg, SB, CTC, V%, B, Cu, Fe, Mn e Zn do solo ao final do experimento com doses de P.....	45
Tabela 16. Equações de regressão referentes aos teores de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn em folhas de pinhão-mansó em função de doses de K, 150 dias após o plantio. ....	51
Tabela 17. Equações de regressão referentes ao acúmulo de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn em plantas de pinhão-mansó em função de doses de K, 150 dias após o plantio. ....	54
Tabela 18. Equações de regressão referentes ao valor de pH e teor de M.O., $P_{\text{resina}}$ , H+Al, K, Ca, Mg, SB, CTC, V%, B, Cu, Fe, Mn e Zn do solo ao final do experimento com doses de K.....	56

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Tubetes com sementes de pinhão-mansó (a); Plântula de pinhão-mansó dez dias após a semeadura(b). Mudás de pinhão em casa de sombra 16 dias após a semeadura (c). Mudás de pinhão-mansó em estufa de rustificação (d).....20
- Figura 2. Mudás de pinhão-mansó no dia do transplantio com dois cotilédones e uma folha desenvolvida.....22
- Figura 3. Altura (a) e diâmetro (b) de plantas de pinhão-mansó em função de doses de nitrogênio ao longo de 150 após o transplantio.....26
- Figura 4. Índice SPAD de plantas de pinhão-mansó em função de doses de nitrogênio ao longo de 150 após o transplantio. Botucatu-SP, 2011. Barras verticais indicam o valor de DMS pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.....27
- Figura 5. Altura (a), diâmetro de colo (b), área foliar (c) e índice SPAD (d) de plantas de pinhão-mansó em função de doses de nitrogênio, 150 dias após o transplantio.....28
- Figura 6. Massa seca de folhas (a), massa seca de caule+pecíolo (b), massa seca de raiz (c) e massa seca total (d) de plantas de pinhão-mansó em função de doses de nitrogênio, 150 dias após o transplantio.....30
- Figura 7. Teores de macro (N (■), P (●), K (▼), Ca (□), Mg (○) e S (Δ)) e micronutrientes (B (■), Cu (●), Fe (▼), Mn (□) e Zn (○)) em folhas de pinhão-mansó em função de doses de N, 150 dias após o transplantio.....31
- Figura 8. Acúmulo de macro (N (■), P (●), K (▼), Ca (□), Mg (○) e S (Δ)) e micronutrientes (B (■), Cu (●), Fe (▼), Mn (□) e Zn (○)) em plantas de pinhão-mansó em função de doses de N, 150 dias após o transplantio.....33
- Figura 9. Altura (a) e diâmetro de colo (b) de plantas de pinhão-mansó em função de doses de fósforo ao longo de 150 dias após transplantio.....37
- Figura 10. Altura (a), diâmetro de colo (b) e área foliar (c) de plantas de pinhão-mansó em função de doses de fósforo, 150 dias após o transplantio.....38
- Figura 11. Massa seca de folhas (a), massa seca de caule+pecíolo (b), massa seca de raiz (c) e massa seca total (d) de plantas de pinhão-mansó em função de doses de fósforo, 150 dias após o transplantio.....40
- Figura 12. Teores de macro (N (■), P (●), K (▼), Ca (□), Mg (○) e S (Δ)) e micronutrientes (B (■), Cu (●), Fe (▼), Mn (□) e Zn (○)) em folhas de pinhão-mansó em função de doses de P, 150 dias após o transplantio.....41

- Figura 13. Acúmulo de macro (N (■), P (●), K (▼), Ca (□), Mg (○) e S (Δ)) e micronutrientes (B (■), Cu (●), Fe (▼), Mn (□) e Zn (○)) em plantas de pinhão-mansão em função de doses de P, 150 dias após o transplantio.....43
- Figura 14. Altura (a) e diâmetro de colo (b) de plantas de pinhão-mansão em função de doses de potássio ao longo de 150 dias após o transplantio.....47
- Figura 15. Altura (a), diâmetro de colo (b) e área foliar (c) de plantas de pinhão-mansão em função de doses de potássio, 150 dias após o transplantio.....48
- Figura 16. Massa seca de folhas (a), massa seca de caule+pecíolo (b), massa seca de raiz (c) e massa seca total (d) de plantas de pinhão-mansão em função de doses de potássio, 150 dias após o transplantio.....49
- Figura 17. Teores de macro (N (■), P (●), K (▼), Ca (□), Mg (○) e S (Δ)) e micronutrientes (B (■), Cu (●), Fe (▼), Mn (□) e Zn (○)) em folhas de pinhão-mansão em função de doses de K, 150 dias após o transplantio.....50
- Figura 18. Teor de K não-trocável no solo antes da adubação e após a condução do experimento com doses de potássio.....52
- Figura 19. Acúmulo de macro (N (■), P (●), K (▼), Ca (□), Mg (○) e S (Δ)) e micronutrientes (B (■), Cu (●), Fe (▼), Mn (□) e Zn (○)) em plantas de pinhão-mansão em função de doses de K, 150 dias após o transplantio.....53

**LISTA DE APÊNDICES**

Apêndice 1. Plantas de pinhão-manso do experimento com doses de nitrogênio ( $\text{mg dm}^{-3}$ ), 150 dias após transplantio.....	69
Apêndice 2. Plantas de pinhão-manso do experimento com doses de fósforo ( $\text{mg dm}^{-3}$ ), 150 dias após transplantio.....	70
Apêndice 3. Plantas de pinhão-manso do experimento com doses de potássio ( $\text{mg dm}^{-3}$ ), 150 dias após transplantio.....	71

## 1 RESUMO

Objetivou-se avaliar o crescimento inicial e a nutrição mineral do pinhão-mansô (*Jatropha curcas* L.) em função da adubação com doses de N, P e K. O estudo foi composto por três experimentos conduzidos em estufa plástica e dispostos em blocos casualizados, utilizando-se vasos plásticos preenchidos com 50 dm<sup>3</sup> de um Latossolo Vermelho Escuro. Testou-se as doses de 0, 40, 80, 120 e 160 mg dm<sup>-3</sup> de N; de 0, 50, 100, 150 e 200 mg dm<sup>-3</sup> de P e de 0, 40, 80, 120 e 160 mg dm<sup>-3</sup> de K, além de um tratamento controle. Mensalmente, avaliou-se diâmetro de colo e altura das mudas, além de leituras de índice SPAD nas plantas do experimento com N. O estudo foi encerrado 150 dias após o transplântio das mudas, quando se determinou a área foliar, massa seca (MS) de folhas, MS de raiz, MS caule+pecíolo e a MS total, além dos teores foliares e acúmulo total de macro e micronutrientes e os atributos químicos do solo. Concluiu-se que a adubação nitrogenada para a cultura do pinhão-mansô poderia ser realizada em cobertura a partir dos 60 dias após o plantio e com a dose de 65 mg dm<sup>-3</sup> N e que o índice SPAD de 46 pode ser utilizado como referência nutricional de N no seu desenvolvimento inicial. A ausência da adubação fosfatada é a mais limitante ao crescimento inicial do pinhão-mansô, entretanto, doses próximas a 50 mg dm<sup>-3</sup> P são suficientes para promover melhor desenvolvimento inicial da cultura. Em seu crescimento inicial, o pinhão-mansô não responde à adubação potássica até a dose de 160 mg dm<sup>-3</sup> K, possivelmente por absorver K da fração não-trocável do solo quando das menores doses de K, e/ou absorver K como “consumo de luxo” quando das maiores doses. A adubação com doses de N, P e K não

modificam a ordem de requerimento de nutrientes pelo pinhão-mansão em seu desenvolvimento inicial, sendo mantida a seguinte ordem de acúmulo:  $K > N > Mg > Ca > P > S > Fe > Mn > B > Zn > Cu$ .

Palavras-chave: *Jatropha curcas* L., acúmulo de nutrientes, massa seca, área foliar, fertilidade do solo.

EARLY GROWTH AND NUTRITION OF THE PHYSIC NUT AS AFFECTED BY NPK FERTILIZATION. Botucatu, 2012. 68p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: MARIÂNGELA BRITO FREIBERGER

Adviser: IRAÊ AMARAL GUERRINI

## 2 SUMMARY

This research aimed to evaluate the early growth and nutrition of physic nut (*Jatropha curcas* L.) as affected by fertilization with rates of N, P and K. The research was composed for three experiments conducted in plastic greenhouse and carried out in randomized blocks, using plastic pots filled with 50 dm<sup>3</sup> of a Dark Rhodic Hapludox. Treatments consisted of N rates (0, 40, 80, 120 and 160 mg dm<sup>-3</sup>), P rates (0, 50, 100, 150 e 200 mg dm<sup>-3</sup>) and K rates (0, 40, 80, 120 e 160 mg dm<sup>-3</sup>), plus a control. Lap diameter, plant height and SPAD index (only in plants of N experiment) were measured. The research was terminated 150 days after seedlings planting, when leaf area, dry matter (DM) of leaves, root DM, stem + petiole DM and total DM were determined, as well as foliar content and accumulation of macro and micronutrients and chemical soil properties. We concluded that nitrogen fertilization to physic nut crop could be held in coverage from 60 days after planting and with rate of 65 mg dm<sup>-3</sup> N. Moreover, a SPAD index of 46 can be used as reference to nitrogen nutrition in early growth of physic nut. The absence of phosphorus is the greater limiting to the early growth of physic nut, however, rates near of 50 mg dm<sup>-3</sup> are sufficient to promote a better initial crop development. In your early growth, the physic nut does not respond to potassium fertilization until 160 mg dm<sup>-3</sup> rate, possibly by absorbing K from non-exchangeable fraction of soil when cropped with low K rates and/or to absorb K as "luxury consumption" when cropped with the largest rates. The fertilization with rates of N, P and K does not change the order of nutrient requisition by physic nut in your early growth, so much that the follow accumulation order was maintained: K > N > Mg > Ca > P > S > Fe > Mn > B > Zn > Cu.

Keywords: *Jatropha curcas* L., nutrient accumulation, dry matter, leaf area, soil fertility.

### 3 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, devido às necessidades ecológicas e econômicas de substituir os combustíveis fósseis por biocombustíveis, o pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) vem despertando interesse de pesquisadores e produtores rurais que visam à produção de biodiesel, por se tratar de uma espécie oleaginosa cujas sementes podem ser utilizadas para fins carburantes (ARRUDA et al., 2004; SATURNINO et al., 2005).

No Brasil, ainda são poucos os estudos envolvendo a nutrição mineral do pinhão-manso. As primeiras pesquisas evidenciaram que a espécie apresenta alta taxa de crescimento e que o nitrogênio (N) é o nutriente mais requerido na fase inicial de desenvolvimento, principalmente para a formação de folhas. O fósforo (P) e o cálcio (Ca) também são limitantes na fase inicial de crescimento, além de serem altamente requeridos tanto para a formação de folhas, quanto de frutos. O potássio (K) é fundamental na fase de deposição de biomassa nos frutos de pinhão-manso (LAVIOLA; DIAS, 2008).

Sintomas de deficiência de macro e micronutrientes em mudas de pinhão-manso já foram estudados por Silva et. al. (2009a), verificando-se que as omissões de cada nutriente causam sintomas visuais de deficiência nutricional comuns a outras espécies. Ainda, contudo, não há consenso quanto às recomendações de doses adequadas à sua adubação. A fim de auxiliar nas recomendações de adubação com N, P e K para a cultura do pinhão-manso, objetivou-se, com este estudo, verificar o efeito de doses destes nutrientes no desenvolvimento inicial e na nutrição da espécie.

## 4 REVISÃO DE LITERATURA

### 4.1 A cultura do pinhão-manso

O pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.), espécie perene, monóica, pertencente à família das Euforbiáceas, a mesma da mamona (*Ricinus* sp.), mandioca (*Manihot* sp.) e seringueira (*Hevea* spp.) (HELLER, 1996), é um arbusto que pode atingir mais de três metros de altura, com ciclo produtivo que pode chegar a 40 anos (CARNIELLI, 2003). Seus frutos são do tipo cápsula ovóide, com 1,5 a 3,0 cm de diâmetro, trilocular, contendo três sementes (uma em cada lóculo). A semente pesa de 0,5 a 0,8 g e pode ter, dependendo da procedência e dos tratamentos culturais, de 34 a 45% de casca e 55 a 66% de amêndoa. Nestas sementes, são encontrados ainda 7,2% de água, 37,5% de óleo e 55,3% de açúcar, amido, albuminóides e materiais minerais, sendo 4,8% cinzas e 4,2% N. Possui raízes curtas e pouco ramificadas, caule dividido desde a base em compridos ramos que apresentam cicatrizes produzidas pela queda das folhas na estação seca (SATURNINO et al., 2005).

Existe dúvida sobre a origem da espécie, sendo que alguns autores a consideram nativa do Brasil, outros da América Central. Contudo, estima-se que haja 2,5 milhões de hectares de pinhão-manso plantados na Índia e China com planos para um adicional de 23 milhões de hectares entre 2010 e 2011 (FAIRLESS, 2007). No Brasil, diante da preocupação com o efeito estufa, aquecimento global e com a limitação ao uso das reservas

de combustível fóssil, o pinhão-mansão tem despertado interesse de produtores rurais e das instituições de pesquisa, por se tratar de uma espécie oleaginosa cujas sementes podem ser utilizadas para fins carburantes, produzindo mais de 2 t ha<sup>-1</sup> de óleo (SATURNINO, et al., 2005).

A torta residual do processo de extração do óleo das sementes de pinhão-mansão contém ainda aproximadamente 8% de óleo, e pode ser re-extraída com solventes orgânicos, cujo farelo residual pode ser utilizado para aproveitamento como fertilizante natural em virtude dos elevados teores de N, P e K (ARRUDA et al., 2004). Porém, o uso da torta de pinhão-mansão como alimento animal encontra restrição em sua toxicidade e presença de fatores antinutricionais (ésteres de forbol, fitalatos, lectinas, inibidores de tripsina, saponinas) (MARTÍNEZ-HERRERA et al., 2006). Recentemente, contudo, a Embrapa Agroenergia identificou uma variedade de pinhão-mansão atóxica, cuja torta pode ser utilizada na alimentação animal. Entretanto, a produtividade desta variedade é baixa, de modo que a mesma está sendo trabalhada em processos de melhoramento genético tradicional através do cruzamento com materiais tóxicos de alto rendimento (BIODIESEL, 2011).

Além do pinhão-mansão colaborar com a redução dos gases de efeito estufa pelo uso de seu óleo para queima, a espécie tem capacidade de seqüestrar carbono. Sua capacidade de incrementar carbono estaria próximo à das florestas naturais, sendo o estoque encontrado no terceiro ano de cultivo de pinhão-mansão próximo a 4,182 t C ha<sup>-1</sup> (TORRES et al., 2011). É importante lembrar, entretanto, que o pinhão-mansão está em fase de domesticação no Brasil e, uma vez que surge como novidade e possível alternativa para produção de biodiesel, surgem também muitas informações não confiáveis e até errôneas sobre o seu cultivo, tais como: produtividade elevadas (superiores a 12 t ha<sup>-1</sup>) e teor de óleo elevado (superiores a 38%), bem como de que se trata de uma espécie rústica e resistente a longas estiagens, pragas e doenças (SATURNINO et al., 2005). Assim sendo, e levando também em consideração que a produtividade vegetal é um processo complexo que envolve fatores do solo, do clima e da genética da planta (EPSTEIN; BLOOM, 2006), os estudos com o pinhão-mansão devem ser intensificados a fim de escolher e caracterizar materiais promissores e conhecer suas demandas nutricionais.

#### **4.2 Importância da adubação NPK para o desenvolvimento da cultura do pinhão-mansão**

O nitrogênio (N) é um dos elementos minerais requeridos em maior quantidade pelas culturas agrícolas e o que mais limita o seu crescimento (SOUZA; FERNANDES, 2006). Todavia, a complexidade dos fatores que afetam o seu aproveitamento pelas plantas faz com que o mesmo seja objeto de estudos, a maioria com o intuito de avaliar seu comportamento no solo e a sua relação com a eficiência da adubação (RAIJ, 1991). A deficiência de N resulta em clorose gradual das folhas mais velhas e redução do crescimento da planta (SOUZA; FERNANDES, 2006), o que reflete em amadurecimento precoce, perda de produtividade e qualidade dos frutos (SANTOS et al., 2004). O pinhão-mansão apresenta alta taxa de crescimento (LAVIOLA; DIAS, 2008), sendo o N essencial para a assimilação do carbono e formação de novos órgãos na planta, pois faz parte da sua estrutura como componente de aminoácidos, proteínas, enzimas, RNA, DNA, ATP e outras moléculas (TAIZ; ZEIGER, 2004). O N estimula a formação e o desenvolvimento de gemas florais e frutíferas e é responsável por maior vegetação bem como pelo aumento nos teores de proteínas (MALAVOLTA et al., 1997).

O teor de clorofila da folha se correlaciona positivamente com o teor de N na planta (SCHADCHINA; DMITRIEVA, 1995). Esta relação é atribuída principalmente ao fato de 50 a 70% do N total das folhas ser integrante de enzimas (CHAPMAN; BARRETO, 1997) que estão associadas aos cloroplastos (STOCKING; ONGUN, 1962). A determinação do teor relativo de clorofila (ou índice SPAD) por meio do medidor portátil de clorofila (clorofilômetro) está sendo utilizada para prever a necessidade de adubação nitrogenada em várias culturas, agregando vantagens como simplicidade no uso e possibilidade de avaliação não-destrutiva do tecido foliar (ARGENTA et al., 2001). Outra vantagem da medição do teor de clorofila é de não ser influenciada pelo consumo de luxo de N pela planta, uma vez que, quando absorvido em excesso, o N acumula-se sob a forma de nitrato (BLACKMER; SCHEPERS, 1995) e não se associa à molécula de clorofila, não sendo detectado pelo medidor de clorofila (DWYER et al., 1995).

Com relação ao fósforo (P), é um dos elementos mais requeridos pela cultura do pinhão-mansão em seu estágio inicial de crescimento (LAVIOLA; DIAS, 2008), uma vez que faz parte da estrutura das plantas, compondo membranas (fosfolipídios), RNA,

DNA, ATP e ésteres de carboidratos, além de várias moléculas chaves no seu metabolismo, responsáveis por acelerar a formação de raízes e a maturação dos frutos, aumentar os teores de carboidratos, óleos, gorduras e proteínas e auxiliar a fixação simbiótica do N (MALAVOLTA et al., 1997). Para a maioria das plantas, a deficiência de P provoca acúmulo de amido nos cloroplastos, reduz o transporte de carboidratos e a atividade de todas as enzimas que dependem de fosforilação, em especial aquelas envolvidas na absorção ativa de nutrientes (MARSCHNER, 1995).

Para a cultura do pinhão-mansão, o P é extremamente importante por influenciar também na formação das sementes, parte desta planta que mais interessa como matéria-prima (LAVIOLA; DIAS, 2008). De acordo com os mesmos autores, o fornecimento de P para o pinhão-mansão nos primeiros anos de cultivo, deve ser então, em maior quantidade que o acumulado pela planta, pois, segundo Novais e Smyth (1999), além dos solos brasileiros apresentarem baixo teor natural de P, este nutriente é rapidamente fixado pela fração argila, constituída, principalmente por óxidos de Fe e Al. As limitações na disponibilidade de P no início do ciclo vegetativo das culturas podem resultar em restrições no seu desenvolvimento, das quais a planta não se recupera posteriormente, mesmo aumentando o suprimento de P a níveis adequados (ARAÚJO et al., 2006; JESCHKE et al., 1996; ROGGATZ et al., 1999).

O potássio (K) é muito móvel na planta; tem mobilidade intracelular e no transporte a longa distância via xilema e floema. Nos tecidos, transloca-se dos mais velhos para os mais novos (MEURER, 2006). Por estas características, o K é o principal cátion que atua na neutralização de cargas e o mais importante e ativo componente inorgânico osmótico (CLARKSON; HANSON, 1980). É essencial para manter a turgescência da folha, atua no transporte interno de açúcares (FONTES, 2006), possui papel importante na síntese de carboidratos e proteínas, respiração e regulação da abertura e fechamento dos estômatos (MEURER, 2006). Também é importante no desenvolvimento das raízes e essencial na frutificação e maturação dos frutos, pois é responsável pela conversão do amido em açúcares, além de funcionar como ativador de mais de 50 enzimas (MALAVOLTA et al., 1997). Além disso, a deposição de biomassa em frutos é acompanhada, necessariamente, pelo acúmulo de K, havendo aumento do requerimento deste nutriente na fase em que o pinhão-mansão inicia a produção de frutos (LAVIOLA; DIAS, 2008). A deficiência de K acarreta em redução do crescimento dos brotos, além de reduzir a atividade fotossintética das folhas levando a baixos

índices de produção (FERREIRA et al., 2004). Sua deficiência também provoca redução do tamanho dos frutos, bem como do seu conteúdo de sólidos solúveis, além de redução da área foliar (BORGES et al., 2005).

#### **4.3 Resultados de pesquisa com adubação NPK para a cultura do pinhão-manso no Brasil**

Ainda são poucos os trabalhos de adubação e nutrição do pinhão-manso publicados em periódicos com seletivo crivo editorial. Alguns trabalhos foram publicados na forma de resumos, de modo que muitas vezes faltam importantes informações metodológicas. Como existem diferenças entre as condições de condução destes estudos, não há também unidade padrão para a dose. A fim de facilitar o entendimento e favorecer a comparação entre os resultados a serem apresentados a seguir (e posteriormente de forma resumida na Tabela 2), todas as adubações foram convertidas para  $\text{mg dm}^{-3}$ , tendo por base o nutriente, independentemente da fórmula do fertilizante. Tal conversão foi realizada utilizando dados de adubação por cova ou por hectare, população de plantas (quando do cultivo no campo) e/ou volume de solo (quando do cultivo em vaso).

Um dos trabalhos pioneiros a respeito do manejo da adubação para o pinhão-manso é o de Laviola e Dias (2008), no qual se avaliou a composição e o acúmulo de macro e micronutrientes em folhas e frutos, bem como a extração de nutrientes pelos frutos de pinhão-manso cultivado em Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico. Nos frutos maduros, N, P e K foram, respectivamente, o primeiro, o quarto e o segundo nutriente mais acumulado e conseqüentemente exportados pela colheita. Na tabela 1 é apresentada a estimativa de extração de N, P e K de acordo com o ano de cultivo e a produtividade esperada.

As exigências de N, P e K são menores nos dois primeiros anos de cultivo, aumentando rapidamente após o terceiro ano de implantação da cultura (Tabela 1). Considerando um cultivo com espaçamento de 4 x 2 m e 1.250 planta  $\text{ha}^{-1}$ , a extração de nutrientes pelos frutos no quarto ano de cultivo corresponderia a uma retirada de 73,1; 14,3 e 51,8  $\text{mg dm}^{-3}$  de N, P e K, respectivamente. Esta seria uma fração do que deve ser aplicado

anualmente à lavoura, pois deve ser considerada também a quantidade de nutrientes alocados nas demais partes da planta e perdidos e/ou fixados no solo (LAVIOLA; DIAS, 2008).

Tabela 1. Estimativa de extração de N, P e K pelos frutos de pinhão-mansão, de acordo com a produção esperada de sementes no 1º, 2º, 3º e 4º ano de cultivo.

Ano de cultivo	Produção de semente	N	P	K
	g	----- g planta <sup>-1</sup> -----		
Primeiro	100	2,92	0,57	2,07
Segundo	500	14,62	2,87	10,37
Terceiro	2.000	58,50	11,42	41,47
Quarto	4.000	117,00	22,85	82,93

Adaptado de Laviola e Dias (2008)

Silva et al. (2009a) desenvolveram trabalho em solução nutritiva para avaliar o crescimento e caracterizar os sintomas de deficiências em pinhão-mansão. Constataram que a omissão de macro e micronutrientes para esta espécie provoca sintomas visuais de deficiência nutricional comuns a outras espécies. A omissão de N, P e K limitaram respectivamente em 71, 68 e 86% a produção de massa seca (MS) total do pinhão-mansão 120 dias após o transplante. Apesar de expressivas, tais reduções foram menores que as causadas pelas omissões de Ca (redução de 95%) e Mg (redução de 93%), o que indica a importância da calagem para o cultivo do pinhão-mansão e que o uso de calcários dolomíticos ou magnesianos é mais indicado. Maia et al. (2011) também utilizaram a técnica do elemento faltante para avaliar o crescimento inicial de plantas de pinhão-mansão cultivadas em Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico típico. Observaram que as omissões de N, P e K, nessa ordem, foram as que mais limitaram o crescimento do pinhão-mansão 70 dias após a semeadura. Como estas plantas foram cultivadas em solo, a redução na produção de MS foi menor e não pode ser comparada à redução ocorrida nas plantas cultivadas em solução nutritiva no experimento de Silva et al. (2009a).

Em experimento conduzido sob casa de vegetação, Souza et al. (2011) avaliaram o efeito da adubação NPK no crescimento e produção de MS do pinhão-mansão 120 dias após o plantio em Neossolo Quartzarênico órtico típico. Os resultados mais importantes foram obtidos com as doses calculadas de 55 mg dm<sup>-3</sup> P e 67 mg dm<sup>-3</sup> K. O N por sua vez não afetou o crescimento das plantas, possivelmente porque, segundo os autores, mesmo o teor de

matéria orgânica do solo sendo baixo ( $12,8 \text{ g kg}^{-1}$ ), seria suficientemente capaz de suprir o N necessário ao crescimento inicial do pinhão-mansão.

Souza et al. (2009) avaliaram o efeito da adubação NPK na cultura do pinhão-mansão em dois experimentos. No primeiro experimento, conduzido em Neossolo Quartzarênico órtico típico, a adubação nitrogenada influenciou negativamente a produção de sementes. Os autores afirmam que tal fato deveu-se ao alto teor de matéria orgânica do solo, o que pode ter disponibilizado as quantidades exigidas de N pela cultura. A adubação fosfatada, por sua vez, influenciou de forma quadrática a produção de sementes, sendo a maior produção obtida com a dose calculada de  $45,6 \text{ mg dm}^{-3}$  P. No segundo experimento, conduzido em um Latossolo Vermelho-Amarelo, a matéria orgânica do solo não supriu por si só a demanda de N pelo pinhão-mansão, de modo que as maiores produções de sementes foram obtidas com as doses de  $29,5$  e  $26,0 \text{ mg dm}^{-3}$  de N para a primeira e segunda colheita, respectivamente. Não houve efeito das doses de P e K na produção de sementes.

Simões et al. (2009) avaliaram o efeito de doses de N na fotossíntese, transpiração, condutância estomática e temperatura foliar de pinhão-mansão cultivado em casa de vegetação em Neossolo Quartzarênico. A fotossíntese foi o único parâmetro afetado pelo N, sendo que com maior dose do nutriente ( $360 \text{ mg dm}^{-3}$  N), o valor desta variável foi  $19,6\%$  superior ao do tratamento controle, 90 dias após o plantio. Albuquerque et al. (2009) também avaliaram o crescimento de mudas de pinhão-mansão conduzidas em casa de vegetação em função de doses de N. Ao contrário do encontrado em outros trabalhos, os parâmetros apresentaram resposta linear crescente com o aumento da adubação nitrogenada, de modo que 150 dias após a semeadura os maiores valores de altura, diâmetro de colo e área foliar foram obtidos com a dose de  $90 \text{ mg dm}^{-3}$  N. Baseado nesse estudo, outros estudos podem ser conduzidos a fim de investigar o efeito de doses de N superiores a  $90 \text{ mg dm}^{-3}$  no desenvolvimento inicial de pinhão-mansão. Oliveira (2009) avaliou o crescimento de mudas de pinhão-mansão cultivadas em Neossolo Regolítico sob casa de vegetação. Após 300 dias da semeadura verificou-se que os maiores valores de altura, número de folhas, área foliar, MS de folhas, de caule e de raízes foram obtidos com a dose de  $40 \text{ mg dm}^{-3}$  N.

Avaliando a produção de MS de pinhão-mansão cultivado em casa de vegetação utilizando solo Franco Arenoso e submetido a doses de P, Nobrega et al. (2009) verificaram que após 150 dias da emergência das plantas, a máxima MS da parte aérea foi

obtida com a dose estimada de  $34,1 \text{ mg dm}^{-3}$  P. Já a máxima MS de raiz foi obtida com  $29,0 \text{ mg dm}^{-3}$  de P. Tomaz et al. (2009) testaram doses de P em mudas de pinhão-mansão cultivadas em casa de vegetação. Com a dose de  $70,0 \text{ mg dm}^{-3}$  P verificaram o maior diâmetro de colo e com a dose de  $52,5 \text{ mg dm}^{-3}$  P, os maiores incrementos em área foliar e MS de caule. Outros autores que estudaram a adubação fosfatada para o pinhão-mansão foram Erasmo et al. (2009), que desenvolveram estudo em área de Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico. Após 395 dias do transplante das mudas, constataram acréscimos lineares no número de cachos por planta e na produção de sementes. Os maiores incrementos com relação ao tratamento controle foram obtidos com a dose de  $58,2 \text{ mg dm}^{-3}$  P e corresponderam a 89 e 175% para número de cachos por planta e produção de sementes, respectivamente.

Em outro estudo realizado a campo, Silva et al. (2009b) verificaram que a dose de  $43,7 \text{ mg dm}^{-3}$  P possibilitou produção de maior número total de inflorescências, botões florais, flores masculinas, flores femininas e frutos em um plantio de pinhão-mansão em área de Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico. Ao avaliarem os efeitos de doses de P no desenvolvimento de pinhão-mansão, Costa et al. (2009) verificaram 120 dias após transplante das mudas no campo, que a dose de  $54,6 \text{ mg dm}^{-3}$  P proporcionou maior incremento em altura e maior número de frutos. A produção de sementes quando fornecidas doses entre  $54,6$  e  $72,8 \text{ mg dm}^{-3}$  P foi de  $20 \text{ kg ha}^{-1}$ . Na ausência da adubação fosfatada, não houve produção de sementes pelas plantas. Já Evangelista et al. (2009) não encontraram efeito da adubação potássica na produtividade de sementes em um cultivo de pinhão-mansão em área de Latossolo Vermelho distroférico. Os autores enfatizam que a adubação potássica não influenciou a produção de sementes provavelmente devido ao médio teor de K ( $101 \text{ mg dm}^{-3}$ ) do solo da área experimental.

Tabela 2. Doses de N, P e K recomendadas para adubação de base ou como parte da adubação de reposição para a cultura do pinhão-manso.

Autor	Época de Avaliação	Tipo de Solo	N	P	K
				mg dm <sup>-3</sup>	
Albuquerque et al. (2009)	150 dias após a semeadura	Não informado	90,0	-	-
Costa et al. (2009)	120 dias após o transplântio	Não informado	-	54,6	-
Erasmus et al. (2009)	395 dias após o transplântio	Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico	-	58,2	-
Evangelista et al. (2009)	1ª colheita	Latossolo Vermelho distroférico	-	-	ns
Laviola e Dias (2008)	Estimativa para a 4ª colheita	Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico	73,1	14,3	51,8
Nobrega et al. (2009)	150 dias após a emergência	Franco Arenoso	-	29,0 a 34,0	-
Oliveira (2009)	300 dias após a semeadura	Neossolo Regolítico	40,0	-	-
Silva et al. (2009b)	180 dias após o transplântio	Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico	-	43,7	-
Souza et al. (2009)	1ª colheita	Neossolo Quartzarênico órtico típico	ns	45,6	ns
Souza et al. (2009)	1ª colheita e 2ª colheita	Latossolo Vermelho-Amarelo	26,0 a 29,5	ns	ns
Souza et al. (2011)	120 dias após o plantio	Neossolo Quartzarênico órtico típico	ns	55,0	67,0
Tomaz et al. (2009)	90 dias após a semeadura	Não informado	-	52,5 a 70,0	-

- não foi estudado; ns não houve efeito significativo

Comparando os estudos apresentados (Tabela 2), poder-se-ia constatar que os resultados obtidos até então dependem principalmente do solo em que o estudo foi conduzido, sendo este um dos fatores de maior relevância quando da recomendação de adubação NPK para a implantação da cultura do pinhão-manso. De modo geral, de acordo com estes estudos, poderiam ser recomendadas doses entre 26 e 90 mg dm<sup>-3</sup> N, entre 29 e 70 mg dm<sup>-3</sup> P e entre 52 e 67 mg dm<sup>-3</sup> K. Certamente, existem situações que tais doses podem ser inferiores ou até mesmo desnecessárias, levando em conta não só o fator solo, mas também o estágio de desenvolvimento da cultura. Para a recomendação da adubação do pinhão-manso, são necessários, então, estudos mais prolongados e acurados.

## **5 MATERIAL E MÉTODOS**

Conduziu-se três experimentos para avaliar o efeito de doses N, P e K no desenvolvimento e nutrição de mudas de pinhão-manso. Os experimentos foram instalados sob estufa plástica sem controle de temperatura e umidade no Departamento de Recursos Naturais/Ciência do Solo da Faculdade de Ciências Agrônômicas (FCA) da UNESP, município de Botucatu-SP, cujas coordenadas geográficas são 22° 40' 31" S e 48°25' 37" W e altitude média é 770 metros.

### **5.1 Tratamentos e delineamento experimental**

Utilizou-se o delineamento estatístico de blocos casualizados com seis tratamentos e quatro repetições, de modo que cada unidade experimental era composta por um vaso plástico de 60 dm<sup>3</sup> preenchido com 50 dm<sup>3</sup> de solo contendo uma muda de pinhão-manso, totalizando 24 vasos por experimento.

#### **5.1.1 Experimento 1: Doses de nitrogênio**

Os tratamentos foram os seguintes: 0, 40, 80, 120 e 160 mg dm<sup>-3</sup> N (denominados respectivamente de N0, N40, N80, N120 e N160), além de um tratamento

controle sem adubação e calagem. À exceção do tratamento controle, os demais tratamentos receberam adubação com P ( $150 \text{ mg dm}^{-3}$ ) e K ( $80 \text{ mg dm}^{-3}$ ) e tiveram a saturação por bases corrigida para 60%.

### **5.1.2 Experimento 2: Doses de fósforo**

Os tratamentos foram os seguintes: 0, 50, 100, 150 e  $200 \text{ mg dm}^{-3}$  P (denominados respectivamente P0, P50, P100, P150 e P200), além de um tratamento controle sem adubação e calagem. À exceção do tratamento controle, os demais tratamentos receberam adubação com N ( $80 \text{ mg dm}^{-3}$ ) e K ( $80 \text{ mg dm}^{-3}$ ) e tiveram a saturação por bases corrigida para 60%.

### **5.1.3 Experimento 3: Doses de potássio**

Os tratamentos foram os seguintes: 0, 40, 80, 120 e  $160 \text{ mg dm}^{-3}$  K (denominados respectivamente de K0, K40, K80, K120 e K160), além de um tratamento controle sem adubação e calagem. À exceção do tratamento controle, os demais tratamentos receberam adubação com N ( $80 \text{ mg dm}^{-3}$ ) e P ( $150 \text{ mg dm}^{-3}$ ) e tiveram a saturação por bases corrigida para 60%.

## **5.2 Coleta e correção do solo**

Utilizou-se um solo cuja classificação é Latossolo Vermelho Escuro, textura média arenosa (CARVALHO et al., 1983), atualizada de acordo com os critérios do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2006), coletado da camada subsuperficial de área experimental da FCA/UNESP. Após o peneiramento do solo em malha 4 mm, retirou-se uma amostra composta do mesmo para análise química e granulométrica conforme metodologias descritas em Raij et al. (2001) e EMBRAPA (1997), respectivamente. Os resultados destas análises estão apresentados nas tabelas 3, 4 e 5.

Tabela 3. Análise granulométrica da amostra do solo utilizado nos experimentos. Botucatu-SP, 2011.

Argila	Silte	Areia
289	56	655

Tabela 4. Análise básica da amostra do solo utilizado nos experimentos. Botucatu-SP, 2011.

pH	M.O.	P <sub>resina</sub>	Al <sup>3+</sup>	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V%
CaCl <sub>2</sub>	g dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	----- g dm <sup>-3</sup> -----			----- mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----				
4,0	26	8	15	74	0,2	2	1	3	76	3

Tabela 5. Análise de nitrogênio, enxofre e micronutrientes do solo utilizado nos experimentos. Botucatu-SP, 2011.

S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
----- mg dm <sup>-3</sup> -----					
12	0,25	1,0	39	0,4	0,1

O solo foi corrigido mediante incorporação de calcário dolomítico (29% de CaO; 18% de MgO e PRNT de 96%). O cálculo de necessidade de calagem para elevar a V% a 60%, foi realizado de acordo com Rajj et al. (2001), de modo que em cada vaso misturou-se 112,8 g do calcário. A calagem foi feita para todos os tratamentos, à exceção do tratamento controle. O solo foi incubado dentro dos vasos por um período de 40 dias, mantendo-o umedecido. O tratamento que não recebeu calcário foi umedecido e incubado de igual maneira aos demais. Após o período de incubação uma nova amostra de solo foi analisada para verificar o efeito do calcário, e o resultado é apresentado na tabela 6.

Tabela 6. Análise básica do solo após correção com calcário dolomítico. Botucatu-SP, 2011.

pH	M.O.	P <sub>resina</sub>	Al <sup>3+</sup>	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V%
CaCl <sub>2</sub>	g dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	----- mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----			-----				
5,7	25	3	2	27	0,5	24	23	47	75	63

### 5.3 Produção de mudas de pinhão-mansô

As mudas de pinhão-mansô foram produzidas no Viveiro de Mudanças da FCA a partir de um lote de sementes coletadas de genótipos superiores em área experimental da EMBRAPA Semi-Árido, localizada na Fazenda Gabriela em Santa Maria da Boa Vista-

PE, e com germinação acima de 80%. A sementeira foi realizada em tubetes de 116 cm<sup>3</sup> preenchidos com substrato comercial Carolina<sup>®</sup>, deixando-se uma semente por recipiente (Figura 1a). Este substrato é composto por turfa de sphagno, vermiculita expandida, calcário dolomítico, gesso agrícola, fertilizante NPK e apresenta as seguintes características: pH 5, condutividade elétrica de 0,7 mS cm<sup>-1</sup>, densidade de 101 kg m<sup>-3</sup>, umidade máxima de 60%, capacidade de retenção de água de 55%, sem especificação de granulometria.

Após a sementeira, os tubetes foram suspensos por suportes fixados em bancadas de casa de germinação, onde receberam iluminação natural e irrigação automática a cada 30 minutos. Aos 10 dias após a sementeira (DAS), a maioria das plântulas havia emergido do substrato (Figura 1b). Aos 16 DAS, com os cotilédones expandidos (Figura 1c), as mudas foram abancadas em 'casa de sombra' e aos 29 DAS foram translocadas para estufa de rusticificação (Figura 1d) onde permaneceram até os 45 DAS. As irrigações foram realizadas de acordo com o padrão do viveiro.

Aos 33, 37 e 41 DAS, as mudas foram fertirrigadas com o intuito de estimular o seu desenvolvimento radicular, preparando-as para o transplante em vaso. A solução utilizada para fertilização das mudas, com pH 6,3 e condutividade elétrica 1,5 mS cm<sup>-1</sup>, foi preparada com as seguintes doses para 600 L de água: 600 g de nitrato de cálcio, 300 g de uréia, 350 g de sulfato de magnésio, 500 g de fosfato monoamônico, 300 g de cloreto de cálcio e 150 mL de uma solução contendo micronutrientes. Aos 45 DAS interrompeu-se a irrigação das mudas com o intuito de evitar o esboroamento do substrato e das raízes no momento da sua retirada do tubete.



Figura 1. Tubetes com sementes de pinhão-mansô (a); Plântula de pinhão-mansô dez dias após a semeadura (b). Mudanças de pinhão em casa de sombra 16 dias após a semeadura (c). Mudanças de pinhão-mansô em estufa de rustificação (d).

#### 5.4 Adubação do solo

A adubação do solo foi realizada no dia 8 de setembro de 2010, vaso a vaso. Para tal, o solo (que estava incubando nos vasos) foi colocado em betoneira para mistura com o fertilizante de acordo com os tratamentos. Uma vez que a análise de solo indicou baixos teores de manganês, zinco e boro, todos os tratamentos, com exceção do tratamento controle, receberam adubação básica com micronutrientes nas seguintes fontes e doses: 0,59 g por vaso de sulfato manganoso; 0,95 g por vaso de sulfato de zinco e 0,24 g por vaso de ácido bórico. Estas doses foram calculadas de acordo com a recomendação de Novais et al. (1991) para adubação básica de solo. A adubação com N, P e K foi realizada pela incorporação de doses previamente calculadas de uréia, superfosfato triplo e cloreto de potássio, conforme seus respectivos tratamentos (Tabelas 7, 8 e 9 respectivamente).

Tabela 7. Dose de uréia misturada a  $50 \text{ dm}^{-3}$  de solo (equivalente a 1 vaso) em função dos tratamentos. Botucatu-SP, 2011.

Tratamento	Uréia g vaso <sup>-1</sup>
Controle	0
$0 \text{ mg dm}^{-3} \text{ N}$	0
$40 \text{ mg dm}^{-3} \text{ N}$	4,44
$80 \text{ mg dm}^{-3} \text{ N}$	8,89
$120 \text{ mg dm}^{-3} \text{ N}$	13,33
$160 \text{ mg dm}^{-3} \text{ N}$	17,70

À exceção do controle, os demais tratamentos do experimento que avalia doses de N receberam adubação com 39,05 g de superfosfato triplo e 8,31g de cloreto de potássio por vaso.

Tabela 8. Dose de superfosfato triplo misturada a  $50 \text{ dm}^{-3}$  de solo (equivalente a 1 vaso) em função dos tratamentos. Botucatu-SP, 2011.

Tratamento	Superfosfato Triplo g vaso <sup>-1</sup>
Controle	0
$0 \text{ mg dm}^{-3} \text{ P}$	0
$50 \text{ mg dm}^{-3} \text{ P}$	13,02
$100 \text{ mg dm}^{-3} \text{ P}$	26,02
$150 \text{ mg dm}^{-3} \text{ P}$	39,05
$200 \text{ mg dm}^{-3} \text{ P}$	52,05

À exceção do controle, os demais tratamentos do experimento que avalia doses de P receberam adubação com 8,89 g de uréia e 8,31 g de cloreto de potássio por vaso.

Tabela 9. Dose de cloreto de potássio misturada a  $50 \text{ dm}^{-3}$  de solo (equivalente a 1 vaso) em função dos tratamentos. Botucatu-SP, 2011.

Tratamento	Cloreto de Potássio g vaso <sup>-1</sup>
Controle	0
$0 \text{ mg dm}^{-3} \text{ K}$	0
$40 \text{ mg dm}^{-3} \text{ K}$	4,16
$80 \text{ mg dm}^{-3} \text{ K}$	8,31
$120 \text{ mg dm}^{-3} \text{ K}$	12,47
$160 \text{ mg dm}^{-3} \text{ K}$	16,62

À exceção do tratamento controle, os demais tratamentos do experimento que avalia doses de K receberam adubação com 8,89 g de uréia e 39,05 g de superfosfato triplo por vaso.

Após a adubação, cortou-se parte da borda dos vasos, a fim de facilitar as avaliações de diâmetro de colo (Figura 2) e estes foram alocados em estufa plástica sem controle ambiental.

### 5.5 Transplântio das mudas

O transplântio da mudas ocorreu no dia 4 de outubro de 2010 e para esta etapa selecionou-se mudas em função de padrão de altura e diâmetro de caule, bem como por igual desenvolvimento foliar, de modo que as mudas selecionadas apresentavam uma folha expandida e outra em início de desenvolvimento (Figura 2). Foram então retiradas dos tubetes e plantadas nas covas pré-formadas nos vasos. Após o transplântio, o solo foi irrigado com 700 mL de água, de modo a favorecer o pegamento das mudas.



Figura 2. Mudanças de pinhão-mansinho no dia do transplântio com dois cotilédones e uma folha desenvolvida. Botucatu-SP, 2011.

## 5.6 Manejo e tratos culturais

Quanto ao manejo da irrigação, periodicamente os vasos foram irrigados mantendo-se a sua umidade próxima a 70% da capacidade de campo. Três meses após o transplântio das mudas, algumas plantas apresentaram sintomas de ataque por ácaro-rajado (*Tetranychus urticae*). Todavia, a praga foi controlada mediante aplicação de Abamectina na dose de 10,8 g i.a. ha<sup>-1</sup>, o equivalente a 660 mL ha<sup>-1</sup> do produto comercial (Vermitec® 18 EC). A aplicação foi realizada utilizando-se uma máquina costal manual de 4 L previamente regulada para um volume de calda de 200 L ha<sup>-1</sup>.

## 5.7 Avaliações

Por ocasião do transplântio das mudas realizaram-se as seguintes avaliações: diâmetro de colo (utilizando-se paquímetro digital), altura (utilizando-se régua graduada) e índice SPAD na folha completamente expandida (utilizando-se clorofilômetro marca Minolta®, modelo SPAD-502). Nos dois primeiros meses de condução do experimento, optou-se por realizar avaliações quinzenais com o intuito de melhor apurar possíveis efeitos dos tratamentos no desenvolvimento inicial das mudas de pinhão-manso. A partir do terceiro mês as avaliações foram mensais.

A avaliação final foi realizada 150 dias após o transplântio (DAT), quando todas as folhas foram destacadas para determinação da área foliar no medidor Area Meter (Modelo LICOR LI-3000). Cada planta foi dividida em folhas, caule, pecíolos e raiz, partes estas que foram acondicionadas em saco de papel, permanecendo em estufa de secagem a 60°C com circulação de ar até massa seca (MS) constante.

Utilizando-se trado tipo sonda aberto coletou-se três amostras simples de solo em cada vaso, perfazendo uma amostra composta. O solo foi seco e peneirado em malha 2 mm para análise de pH, M.O., P<sub>resina</sub>, H+Al, K, Ca, Mg, B, Cu, Fe, Mn e Zn, conforme metodologias descritas em Raij et al. (2001), calculando-se posteriormente a SB, CTC e V%.

Ao final do estudo, determinou-se o K não-trocável do solo das amostras coletadas nos vasos do experimento que avaliou doses de K, bem como da amostra de solo coletada antes da adubação e calagem (início do estudo). O K não-trocável do solo foi extraído com  $\text{HNO}_3$  1N, conforme Knudsen et al. (1982).

O material vegetal seco foi pesado, moído em moinho tipo Willey e amostrado para quantificação dos teores de macro (N, P, K, Ca, Mg e S) e micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn e Zn) conforme metodologias descritas em Malavolta et al. (1997). O acúmulo de nutrientes na raiz, no caule, nos pecíolos e nas folhas, foi determinado pela multiplicação da MS (em g) pelo teor respectivo de cada nutriente e posterior divisão por 1000, obtendo-se o resultado em g e mg para macro e micronutrientes, respectivamente. A quantidade total de cada nutriente absorvido pela planta foi obtida pelo somatório das quantidades acumuladas em cada parte da planta.

## **5.8 Análise estatística**

Os valores de altura e diâmetro de colo de cada uma das avaliações ao longo dos 150 dias de experimento foram submetidos à análise de variância e comparados pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, de modo que os resultados são apresentados em gráficos de linhas. Tal procedimento foi realizado também para o índice SPAD do estudo com doses de N. Os dados das avaliações finais foram submetidos à análise de regressão e ajustados a equações polinomiais (linear ou quadrática) ou exponencial do tipo “Rise to Max”, em função da significância dos parâmetros de regressão, do valor de F e do coeficiente de determinação ajustado ( $R^2$ ). Quando do uso da equação exponencial admitiu-se como dose adequada (a partir da qual o aumento do valor de y não justifica o aumento da dose) àquela que propiciou um valor de “y” equivalente a 90% do valor absoluto da amplitude entre “y0” e “ymax”. Os dados de K não-trocável do solo foram analisados pelo teste de médias, de modo que são apresentados em gráfico de barras com desvio padrão. O programa estatístico utilizado para fazer a análise estatística e os gráficos foi o SigmaPlot. 10.0.

## 6 RESULTADOS

### 6.1 Experimento 1: Doses de nitrogênio

A altura e o diâmetro de colo das plantas de pinhão-mansão diferiram entre os tratamentos a partir dos 30 e 45 DAT, respectivamente (Figura 3a e 3b). Todavia, já aos 15 DAT diferenças foram observadas para o índice SPAD (Figura 4). De modo geral, as diferenças para altura e diâmetro ocorreram em relação ao tratamento controle, não evidenciando efeito pronunciado das doses de N. Quanto ao índice SPAD, houve efeito positivo da adubação com N somente aos 90 DAT, quando as plantas que não foram adubadas com N passaram a apresentar leituras semelhantes às do tratamento controle. Tais resultados sugerem que a adubação nitrogenada no pinhão-mansão poderia ser realizada em cobertura, a partir dos 60 DAT.

Os dados de altura e índice SPAD da última avaliação ajustaram-se a um modelo exponencial cujas doses adequadas foram estimadas em 44,3 e 54,8 mg dm<sup>-3</sup> N e correspondem respectivamente aos valores calculados de 88,7 cm e 45,9 (Figuras 5a e 5d). Para diâmetro de colo, entretanto, a adubação nitrogenada não apresentou resposta positiva, uma vez que o maior valor para esta variável foi obtido quando da ausência da adubação nitrogenada (Figura 5b). Com estes resultados, pode-se supor que, com o aumento das doses de N, o pinhão-mansão priorizaria o crescimento primário ao secundário. Contudo, os

resultados de altura não apresentaram comportamento totalmente inverso ao diâmetro, e sim resposta quadrática, não confirmando a hipótese.

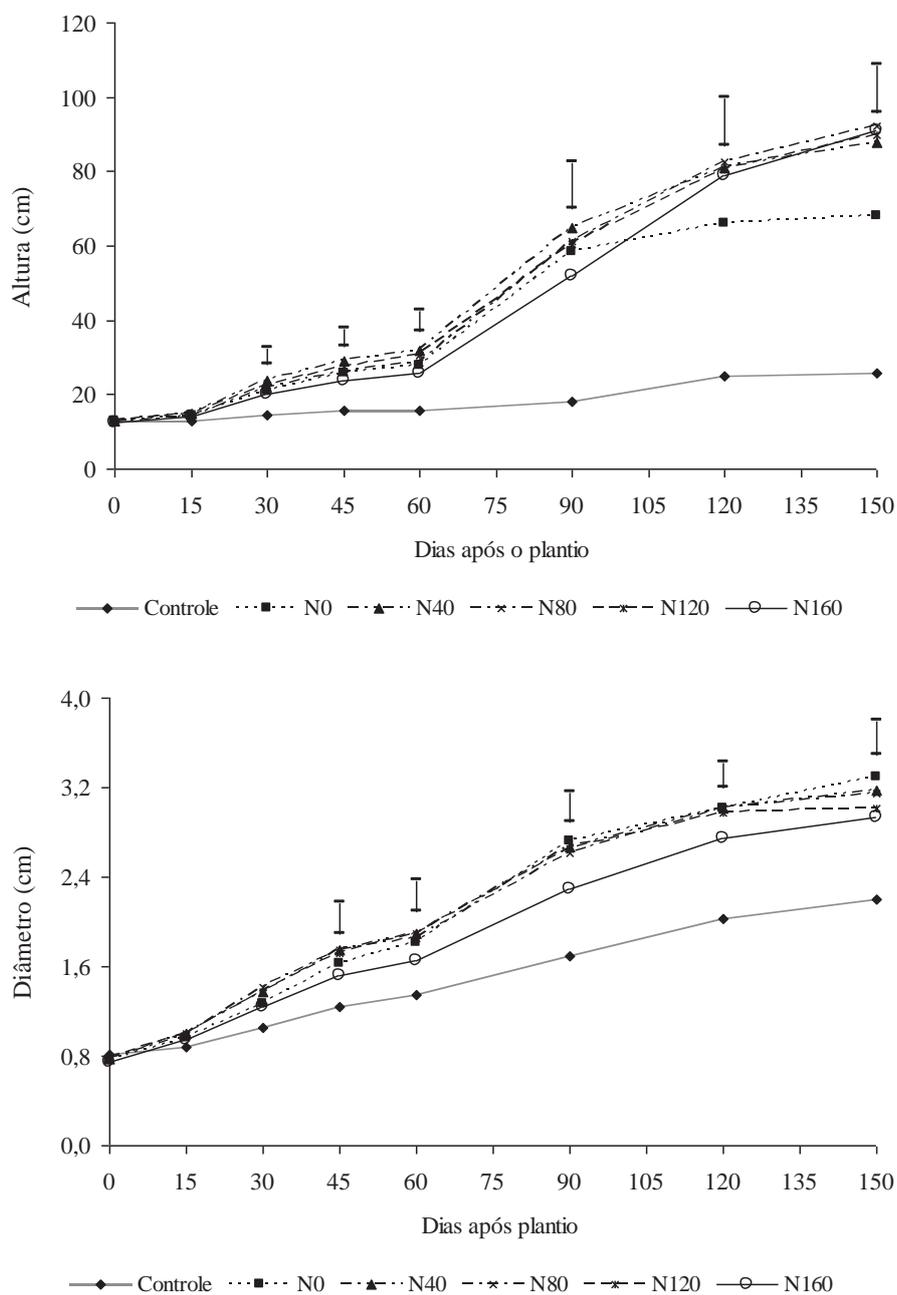


Figura 3. Altura (a) e diâmetro (b) de plantas de pinhão-mansó em função de doses de nitrogênio ao longo de 150 após o transplante. Botucatu-SP, 2011. Barras verticais indicam o valor de DMS pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

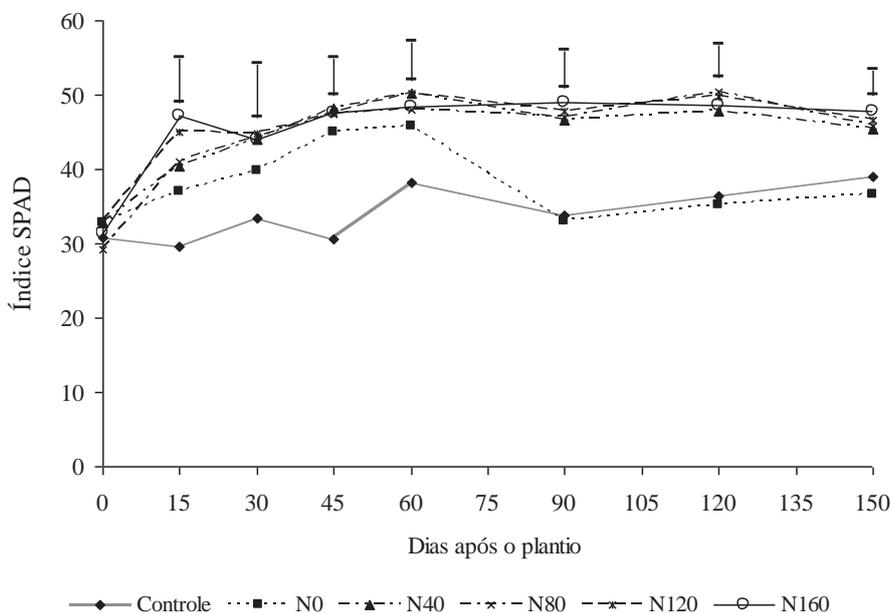


Figura 4. Índice SPAD de plantas de pinhão-mansó em função de doses de nitrogênio ao longo de 150 após o transplante. Botucatu-SP, 2011. Barras verticais indicam o valor de DMS pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

De maneira geral, o baixo suprimento de N para as culturas acarreta em redução na produção e no tamanho de folhas, uma vez que o crescimento vegetativo é prejudicado (MAFFEIS et al., 2000). No presente estudo, entretanto, os valores de área foliar ajustaram-se a um modelo quadrático (Figura 5c) que, mesmo apresentando coeficiente de determinação baixo, foi o mais representativo e do qual se estimou valor máximo de  $6469 \text{ cm}^2$  com a dose estimada de  $97 \text{ mg dm}^{-3} \text{ N}$ . O N promove alterações na morfologia das plantas, de modo que, e em condições de alto suprimento desse nutriente há aumento na área foliar (MARSCHNER, 1995), como verificado neste estudo com doses de até  $97 \text{ mg dm}^{-3} \text{ N}$ . Segundo este mesmo autor, como consequência, a curvatura das folhas é ampliada de modo a interferir na interceptação de luz e na fotossíntese.

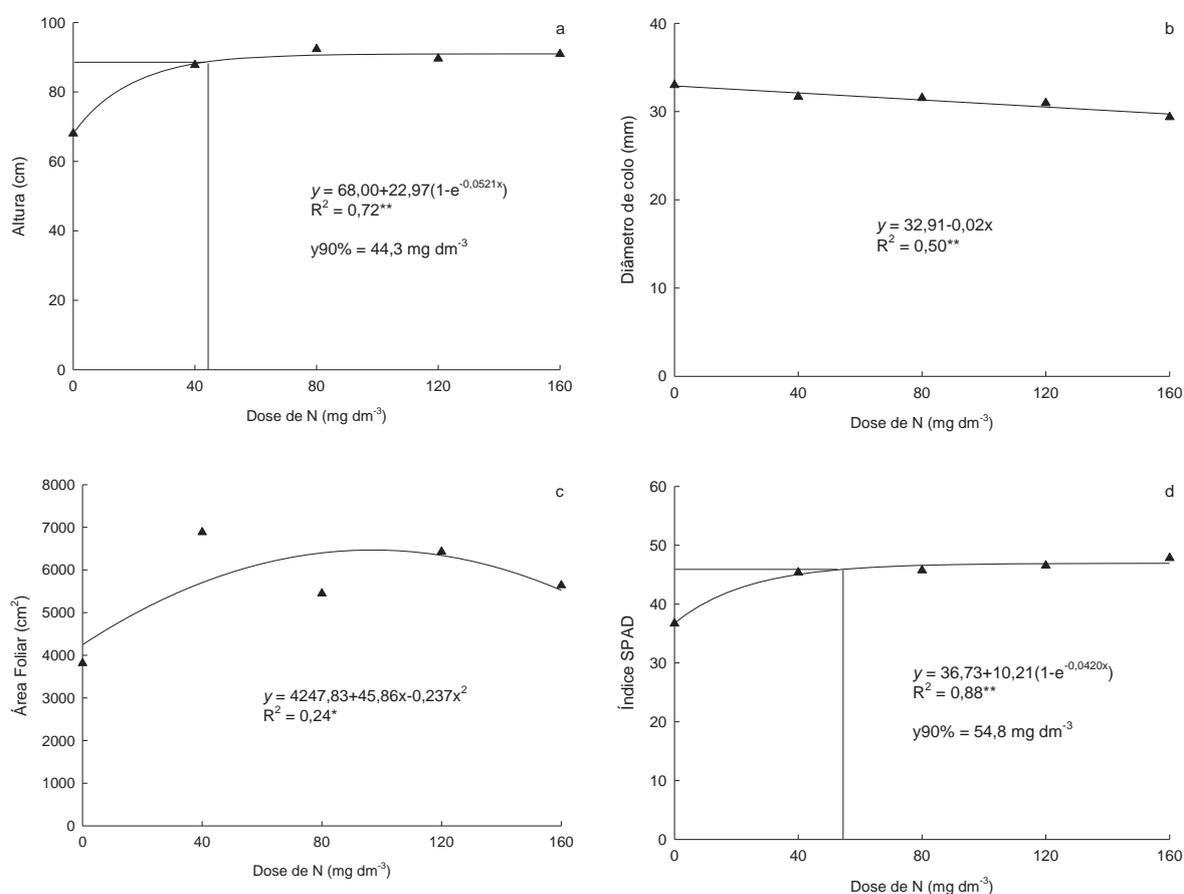


Figura 5. Altura (a), diâmetro de colo (b), área foliar (c) e índice SPAD (d) de plantas de pinhão-manso em função de doses de nitrogênio, 150 dias após o transplântio. Botucatu-SP, 2011. \*\*significativo a 1% e \*significativo a 5%

A partir da dose de  $55 \text{ mg dm}^{-3} \text{ N}$  a variação do índice SPAD nas folhas foi pequena (Figura 5d). O índice SPAD se correlaciona positivamente com o teor de N na planta (SCHADCHINA; DMITRIEVA, 1995) e esta relação é atribuída principalmente ao fato de que 50 a 70% do N total das folhas ser integrante de enzimas (CHAPMAN; BARRETO, 1997), que estão associadas aos cloroplastos (STOCKING; ONGUN, 1962). Até o momento, não há na literatura trabalhos que avaliem o uso do índice SPAD em pinhão-manso, bem como o correlacionam com outras variáveis. Contudo, analisando-se o resultado deste estudo, pode-se inferir que um índice SPAD (medido na primeira folha completamente expandida a partir do ápice) próximo a 46 seria o adequado para o pinhão-manso nesta fase inicial de desenvolvimento.

Os dados de MS de folhas, MS de caule+pecíolo, bem como de MS total, ajustaram-se a modelos quadráticos e apresentaram respectivamente, os valores máximos de 32, 75 e 133 g com as doses estimadas de 77, 69 e 65 mg dm<sup>-3</sup> N (Figuras 6a, 6b e 6d). Já a MS de raiz diminui com o aumento da dose de N, de modo a apresentar ajuste linear decrescente (Figura 6c). Silva et al. (2009a) estudaram os sintomas visuais e o efeito da omissão de nutrientes em mudas de pinhão-manso e verificaram que a omissão de N reduziu em 70% a produção de MS total. Este resultado pode ser explicado pelo fato do pinhão-manso apresentar alta taxa de crescimento, sendo o N o nutriente requerido em maior quantidade para formação de folhas, bem como para suprir as demandas metabólicas dos frutos (LAVIOLA; DIAS, 2008), haja vista ser essencial para assimilação do carbono e formação de novos órgãos nas plantas (TAIZ; ZEIGER, 2004). Neste estudo, portanto, também ficou evidente o incremento da MS total em função da adubação nitrogenada, recomendando-se a dose de 65 mg dm<sup>-3</sup> N para obter seu máximo.

Houve decréscimo da MS de raízes em função do aumento das doses de N (Figura 6c), provavelmente porque à medida que se incrementou a adubação nitrogenada, ocorreu menor crescimento radicular em razão de passar-se a ter a incorporação preferencial dos produtos da fotossíntese nos órgãos aéreos (RESENDE et al., 1999), assim como verificado por Otto et al. (2007) para a cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L). O crescimento radicular pode ser favorecido em solos sob condições de deficiência de nutrientes, notadamente de N (MARSCHNER et al., 1995), quando a planta terá seu crescimento reduzido e, inicialmente em detrimento das reservas da parte aérea, poderá promover o alongamento do sistema radicular, como tentativa de “buscar o nutriente” (SOUZA; FERNANDES, 2006).

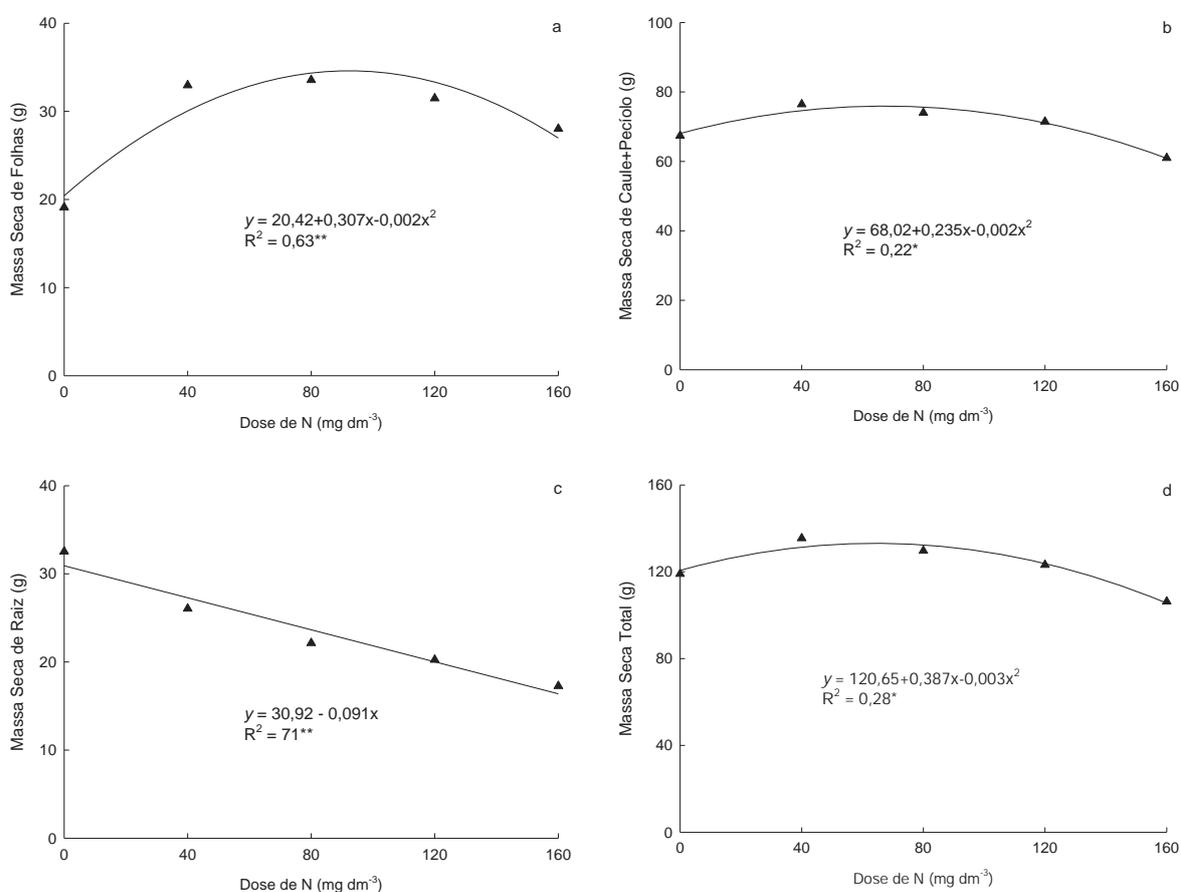


Figura 6. Massa seca de folhas (a), massa seca de caule+pecíolo (b), massa seca de raiz (c) e massa seca total (d) de plantas de pinhão-mansó em função de doses de nitrogênio, 150 dias após o transplante. Botucatu-SP, 2011. \*\*significativo a 1% e \*significativo a 5%

Os valores referentes a 90% dos máximos teores foliares de N, Mg e Zn correspondem respectivamente a 33,15 g kg<sup>-1</sup>, 24,14 g kg<sup>-1</sup> e 21,24 mg kg<sup>-1</sup>, e foram obtidos, nesta ordem, com as doses calculadas de 86, 71 e 56 mg dm<sup>-3</sup> N, ajustadas a modelos exponenciais. Os teores de Ca (máximo de 20,61 g kg<sup>-1</sup>), S (máximo de 1,84 g kg<sup>-1</sup>) e Mn (máximo de 173,20 mg kg<sup>-1</sup>) aumentaram, enquanto o teor de B (máximo de 73,90 mg kg<sup>-1</sup>) decresceu quando do aumento das doses de N (Figura 7). Os teores de P (2,04 g kg<sup>-1</sup>), K (10,85 g kg<sup>-1</sup>) e Cu (4,00 mg kg<sup>-1</sup>) não se alteraram. Com relação ao teor foliar de Fe, o seu máximo valor estimado, obtido com a dose de 96 mg dm<sup>-3</sup> N, foi de 132,32 mg kg<sup>-1</sup>, a partir de uma equação quadrática (Tabela 10). Laviola e Dias (2008) estudaram o teor de nutrientes em folhas completamente expandidas (entre a 6<sup>a</sup> e 7<sup>a</sup> abaixo da inflorescência) de plantas de pinhão-mansó cultivadas a campo, e verificaram teores similares aos apresentados no presente

estudo, exceto para Mg, B, Cu e Mn. Estas diferenças provavelmente ocorreram devido à padronização para coleta de folhas e idades das plantas.

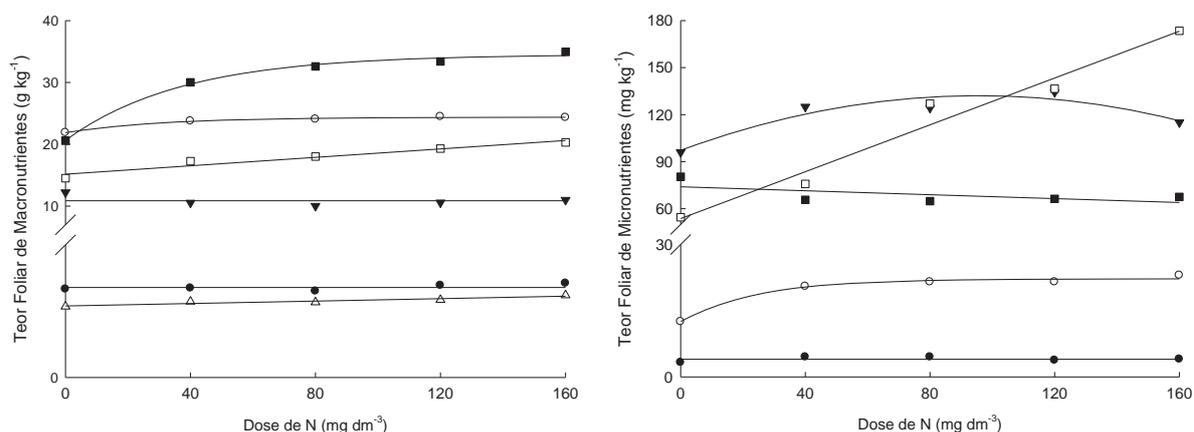


Figura 7. Teores de macro (N (■), P (●), K (▼), Ca (□), Mg (○) e S (△)) e micronutrientes (B (■), Cu (●), Fe (▼), Mn (□) e Zn (○)) em folhas de pinhão-manso em função de doses de N, 150 dias após o transplantio. Botucatu-SP, 2011.

Não há consenso quanto ao teor adequado e folha diagnose para determinar o estágio nutricional do pinhão-manso, notadamente na fase inicial de desenvolvimento. Neste estudo, portanto, o teor foliar não foi determinado a partir de uma folha específica, mas sim de todas as folhas da planta aos 150 DAT. Lima et al. (2011a) estudou a posição da folha no ramo secundário e o tipo de ramo (vegetativo ou florífero) para diagnosticar o estágio nutricional de plantas de pinhão-manso e verificou que as folhas (considerando apenas as completamente expandidas) das posições 2 e 3 a partir do ápice são as mais adequadas para análise foliar de N, P, K, S, Cu, Fe, Mn e Zn, pois apresentam valores médios mais estáveis quando comparadas com as demais posições. Os autores concluíram ainda que as folhas nas posições 5 ou 10 são mais apropriadas para avaliação de Ca e Mg e que o estágio fenológico do ramo pode influenciar nos teores de nutrientes. Todavia, como estes autores utilizaram folhas específicas para determinar os teores de nutrientes, verificando diferenças quanto aos teores de nutrientes em função da posição da folha, as comparações com os teores obtidos no presente estudo, não são precisas. De modo geral, contudo, os teores que

mais se aproximaram dos obtidos por Lima et al. (2011a) foram os de P e S, o que sugere que o teor de tais nutrientes não apresentem variações significativas entre as folhas.

Lima et al. (2011b) verificaram que o teor foliar de N é maior nas folhas em crescimento ( $43,5 \text{ g kg}^{-1}$ ) mantendo-se similar até o estágio de folha madura e decrescendo no folheto (folhas recém caídas) ( $41,8 \text{ g kg}^{-1}$ ), assim como o teor de P, que é maior nas folhas em crescimento ( $6,1 \text{ g kg}^{-1}$ ) e apresenta redução a cada novo estágio fenológico, apresentando o valor de  $2,3 \text{ g kg}^{-1}$  nas folhas maduras e de  $2,0 \text{ g kg}^{-1}$  no folheto. Para o teor de K o comportamento não foi diferente, verificando-se teor de  $37 \text{ g kg}^{-1}$  nas folhas em crescimento,  $22 \text{ g kg}^{-1}$  nas folhas maduras e  $13 \text{ g kg}^{-1}$  no folheto. Estes resultados podem ser explicados pelo fato destes nutrientes apresentarem alta mobilidade no floema e serem redistribuídos para os órgãos mais novos (MALAVOLTA, 2006). Outro resultado importante do estudo de Lima et al. (2011b) refere-se ao teor de Ca, que variou de  $4,9 \text{ g kg}^{-1}$  nas folhas jovens, para  $29 \text{ g kg}^{-1}$  nas folhas maduras e  $40,0 \text{ g kg}^{-1}$  no folheto. A insolubilidade dos compostos de Ca da planta e sua localização na célula (lamela média e parede celular) explicam, em parte, a sua limitada redistribuição dos órgãos mais velhos para os mais novos (MALAVOLTA, 2006).

Tabela 10. Equações de regressão referentes aos teores de N, P, K, Ca, Mg, S ( $\text{g kg}^{-1}$ ) e B, Cu, Fe, Mn e Zn ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) em folhas de pinhão-mansão em função de doses de N, 150 dias após o transplante. Botucatu-SP, 2011.

Nutriente na folha	Equação	R <sup>2</sup> e significância
N	$y = 20,63 + 13,9030(1 - e^{-0,0266x})$	0,92**
P	$y = 2,04$	-
K	$y = 10,85$	-
Ca	$y = 15,17 + 0,0340x$	0,78**
Mg	$y = 21,88 + 2,5015(1 - e^{-0,0324x})$	0,42**
S	$y = 1,62 + 0,0014x$	0,37**
B	$y = 73,93 - 0,0627x$	0,58**
Cu	$y = 4,00$	-
Fe	$y = 97,20 + 0,7306x - 0,0038x^2$	0,34**
Mn	$y = 53,70 + 0,7469x$	0,89**

Zn	$y = 12,52 + 9,6854(1 - e^{-0,0409x})$	0,86**
----	--	--------

- não significativo; \* significativo a 5%; \*\* significativo a 1%

O acúmulo total de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu e Zn ajustaram-se a modelos quadráticos (Tabela 11), a partir dos quais estimou-se respectivamente os valores máximos de 2,28; 0,21; 2,52; 1,07; 1,31; 0,18 g planta<sup>-1</sup> e 3,32; 0,54 e 2,35 mg planta<sup>-1</sup>, obtidos com as respectivas doses calculadas: 119; 71; 80; 101; 97; 70; 77; 71 e 98 mg dm<sup>-3</sup> N. O acúmulo total de Fe (máximo de 25,39 mg planta<sup>-1</sup>) e Mn (máximo de 23,17 mg planta<sup>-1</sup>) foi ajustado por equações lineares (Tabela 11). Porém, enquanto o acúmulo total de Fe decresceu, o de Mn aumentou com o aumento da dose de N (Figura 8), possivelmente em função da inibição competitiva entre estes dois nutrientes pela absorção (MALAVOLTA, 2006). O acúmulo total de nutrientes nas plantas de pinhão-mansão adubadas com doses de N apresentou a seguinte ordem: K > N > Mg > Ca > P > S > Fe > Mn > B > Zn > Cu.

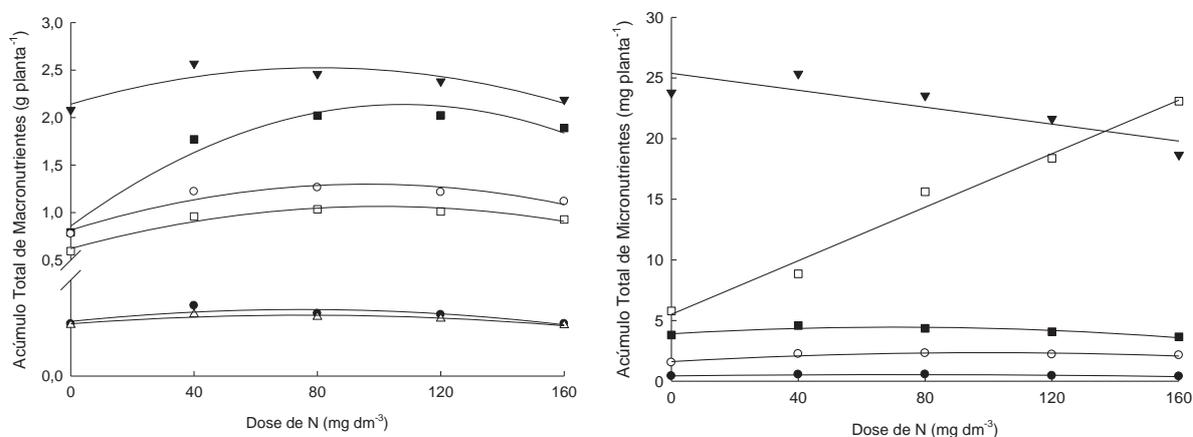


Figura 8. Acúmulo de macro (N (■), P (●), K (▼), Ca (□), Mg (○) e S (△)) e micronutrientes (B (■), Cu (●), Fe (▼), Mn (□) e Zn (○)) em plantas de pinhão-mansão em função de doses de N, 150 dias após o transplântio. Botucatu-SP, 2011.

É importante destacar a interação entre K e N, que foram os nutrientes mais acumulados pelas plantas de pinhão-mansão. O metabolismo do N nas plantas requer adequadas quantidades de K no citoplasma (XU et al., 2002), sendo importante para a produção de aminoácidos e produtividade das culturas. Sabe-se ainda que o K está envolvido na fase final do metabolismo do N (MARSCHNER, 1995), bem como na incorporação do N

mineral e no metabolismo da redutase do nitrato (RUAN et al., 1998; RUAN et al 1999). Além disso, a interação entre N e K obedece à Lei do Mínimo, pois quando o N é aplicado em quantidade suficiente para haver elevação da produção, essa passa a ser limitada pelos baixos teores de K aplicados ao solo (BÜLL, 1993).

Tabela 11. Equações de regressão referentes ao acúmulo de N, P, K, Ca, Mg, S (g planta<sup>-1</sup>), B, Cu, Fe, Mn e Zn (mg planta<sup>-1</sup>) em plantas de pinhão-mansão em função de doses de N, 150 dias após o transplantio. Botucatu-SP, 2011.

Nutriente	Equação	R <sup>2</sup> e significância
N	$y = 0,86 + 0,0238x - 0,0001x^2$	0,86**
P	$y = 0,17 + 0,0010x - 6,6375E-006x^2$	0,21*
K	$y = 2,14 + 0,0095x - 5,9267E-005x^2$	0,30**
Ca	$y = 0,62 + 0,0089x - 4,4317E-005x^2$	0,57**
Mg	$y = 0,82 + 0,0101x - 5,2473E-005x^2$	0,55**
S	$y = 0,16 + 0,0007x - 4,6961E-006x^2$	0,24*
B	$y = 3,91 + 0,0155x - 0,0001x^2$	0,25*
Cu	$y = 0,43 + 0,0030x - 2,1113E-005x^2$	0,36**
Fe	$y = 25,39 - 0,0349x$	0,17*
Mn	$y = 5,52 + 0,1103x$	0,94**
Zn	$y = 1,61 + 0,0150x - 7,5640E-005x^2$	0,49**

Uma vez que os teores de K, Ca e Mg do solo (e conseqüentemente da SB) não se alteraram em função da adubação nitrogenada, o aumento da CTC do solo (de 70 para 76 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> quando da dose 0 e 160 mg dm<sup>-3</sup> N, respectivamente) pode ser explicado pelo aumento da acidez potencial (H+Al) (Tabela 12). A saturação por bases do solo (V%), por sua vez, decresceu (de 72 para 68 quando da dose 0 e 160 mg dm<sup>-3</sup> N, respectivamente) em função do aumento da CTC calculada. O teor de B não se alterou, provavelmente pelo fato de o teor de M.O. não ter se alterado (Tabela 12), haja vista que a maior fonte de B para a planta é pela mineralização da M.O. (BERGER; PRATT, 1963). Há, portanto, correlação entre teor de M.O. e de B no solo (ADRIANO, 1986 apud MALAVOLTA, 2006). Seguindo o

mesmo raciocínio, o teor de Cu permaneceu inalterado (Tabela 12) possivelmente porque este apresenta adsorção específica e fixação com alta estabilidade, o que resulta em pouco movimento do nutriente no solo, estando a maior parte presa à M.O. (MALAVOLTA, 2006). O teor de Zn no solo também permaneceu constante (Tabela 12), o que pode ser explicado pelo fato de que quando o pH está acima 5,5 o Zn é adsorvido a hidróxidos de Al, Fe e Mn (MORAGHAN; MASCAGNI, 1991).

Tabela 12. Equações de regressão referentes ao valor de pH e teor de M.O.,  $P_{resina}$ , H+Al, K, Ca, Mg, SB, CTC, V%, B, Cu, Fe, Mn e Zn do solo ao final do experimento com doses de N. Botucatu-SP, 2011.

Variável química do solo	Equação de regressão	$R^2$ e significância.
pH (CaCl <sub>2</sub> )	$y = 5,85 - 0,0021x$	0,74**
M.O. (g dm <sup>-3</sup> )	$y = 18,30$	-
$P_{resina}$ (mg dm <sup>-3</sup> )	$y = 75,30$	-
H+Al (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	$y = 19,68 + 0,0298x$	0,77**
K (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	$y = 1,12$	-
Ca (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	$y = 26,65$	-
Mg (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	$y = 23,40$	-
SB (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	$y = 51,06$	-
CTC (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	$y = 70,07 + 0,0372x$	0,14*
V%	$y = 71,64 - 0,0241x$	0,28**
B (mg dm <sup>-3</sup> )	$y = 0,65$	-
Cu (mg dm <sup>-3</sup> )	$y = 0,37$	-
Fe (mg dm <sup>-3</sup> )	$y = 22,09 + 0,0122x$	0,38**
Mn (mg dm <sup>-3</sup> )	$y = 1,20 + 0,0054x$	0,84**
Zn (mg dm <sup>-3</sup> )	$y = 2,23$	-

A redução do pH pelo uso de uréia, que gera amônio pela sua hidrólise, já era esperada, pois no processo de nitrificação há formação de dois prótons (H<sup>+</sup>) para cada íon de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> nitrificado (TISDALE et al., 1985; LANGE et al., 2006; MOREIRA; SIQUEIRA, 2006), o que acarreta também no decréscimo dos teores de Ca e Mg do solo

(SOBRAL; NOGUEIRA, 2008). O pH afeta a disponibilidade dos nutrientes para as plantas, sendo que os macronutrientes como N, K, Ca, Mg e S, por efeitos diretos ou indiretos, apresentam maior disponibilidade no solo em pH na faixa de 6-6,5 (MEURER, 2007). Entretanto, o P é pouco disponível em condições de acidez, pois em geral, os solos brasileiros apresentam elevados teores de óxido, de Fe principalmente, sendo que normalmente em condição de maior acidez do solo, a superfície desses óxidos está carregada positivamente, atraindo ânions como fosfato e sulfato os quais formam complexos diminuindo sensivelmente a disponibilidade de P e S no solo (MEURER, 2007). De fato, no presente estudo constatou-se que, enquanto o pH diminuiu, o teor de P no solo não se alterou (Tabela 12), ou seja, a acidificação do solo provavelmente manteve o P indisponível. Todavia, com o decréscimo do pH do solo, houve aumento dos teores de Fe e Mn (Tabela 12), isto porque os micronutrientes estão mais disponíveis em condições de pH mais ácidos, sendo que à medida que o pH do solo aumenta a disponibilidade destes elementos para as plantas diminui (MEURER, 2007).

## **6.2 Experimento 2: Doses de fósforo**

A partir dos 15 DAT tanto a altura quanto o diâmetro das plantas de pinhão-mansão já apresentaram diferenças em função da adubação fosfatada. Estas diferenças ocorreram devido ao tratamento controle apresentar menores médias, que não diferiram, contudo, do tratamento P0. Este comportamento foi verificado ao longo de todo o estudo, sendo que a diferença entre estes dois tratamentos, em relação ao demais, ficou mais pronunciada a partir dos 60 DAT (Figuras 9a e 9b). Tais resultados mostram a importância da adubação fosfatada para o pinhão-mansão, uma vez que a ausência unicamente do P (tratamento P0) reduziu a altura e o diâmetro das plantas tal qual o tratamento controle (sem qualquer correção ou adubação).

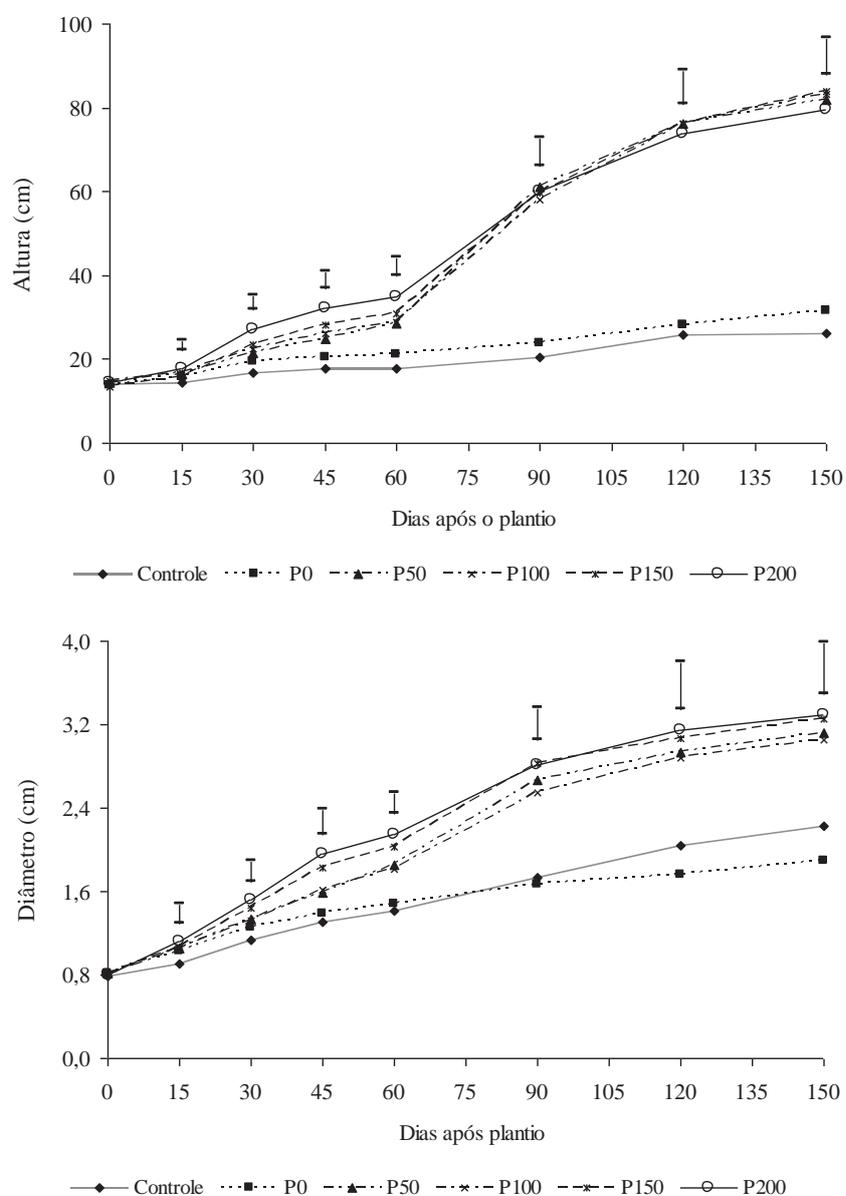


Figura 9. Altura (a) e diâmetro de colo (b) de plantas de pinhão-mansão em função de doses de fósforo ao longo de 150 dias após transplantio. Botucatu-SP, 2011. Barras verticais indicam o valor de DMS pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Os dados de altura, diâmetro de colo e área foliar da última avaliação ajustaram-se a modelos exponenciais cujas doses adequadas foram estimadas em 25, 48, e 57  $\text{mg dm}^{-3}$  P e correspondem respectivamente aos valores calculados de 77,2 cm, 30,8 mm e 5.126,2  $\text{cm}^2$  (Figuras 10a, 10b e 10c). Tomaz et al. (2009) verificaram máxima área foliar em mudas de pinhão-mansão adubadas com 53  $\text{mg dm}^{-3}$  de P, dose esta próxima à encontrada no

presente estudo para o mesmo parâmetro (Figura 10c). Estes resultados evidenciam que a adubação fosfatada é importante para estruturação da planta de pinhão-mansó, sendo requerida, contudo, pequena dose de P em seu estágio inicial de crescimento. Mediante este resultado, é importante destacar que a deficiência de P diminui a área foliar em consequência principalmente da redução no número de folhas e, secundariamente, da limitação à expansão da folha (LYNCH et al., 1991; RODRÍGUEZ et al., 1998). Este nutriente faz parte da estrutura da planta e de várias moléculas chaves no seu metabolismo, compondo membranas (fosfolípidios), o RNA, DNA, ATP e ésteres de carboidratos, além de acelerar a formação de raízes e auxiliar a fixação simbiótica do N (MALAVOLTA et al., 1997).

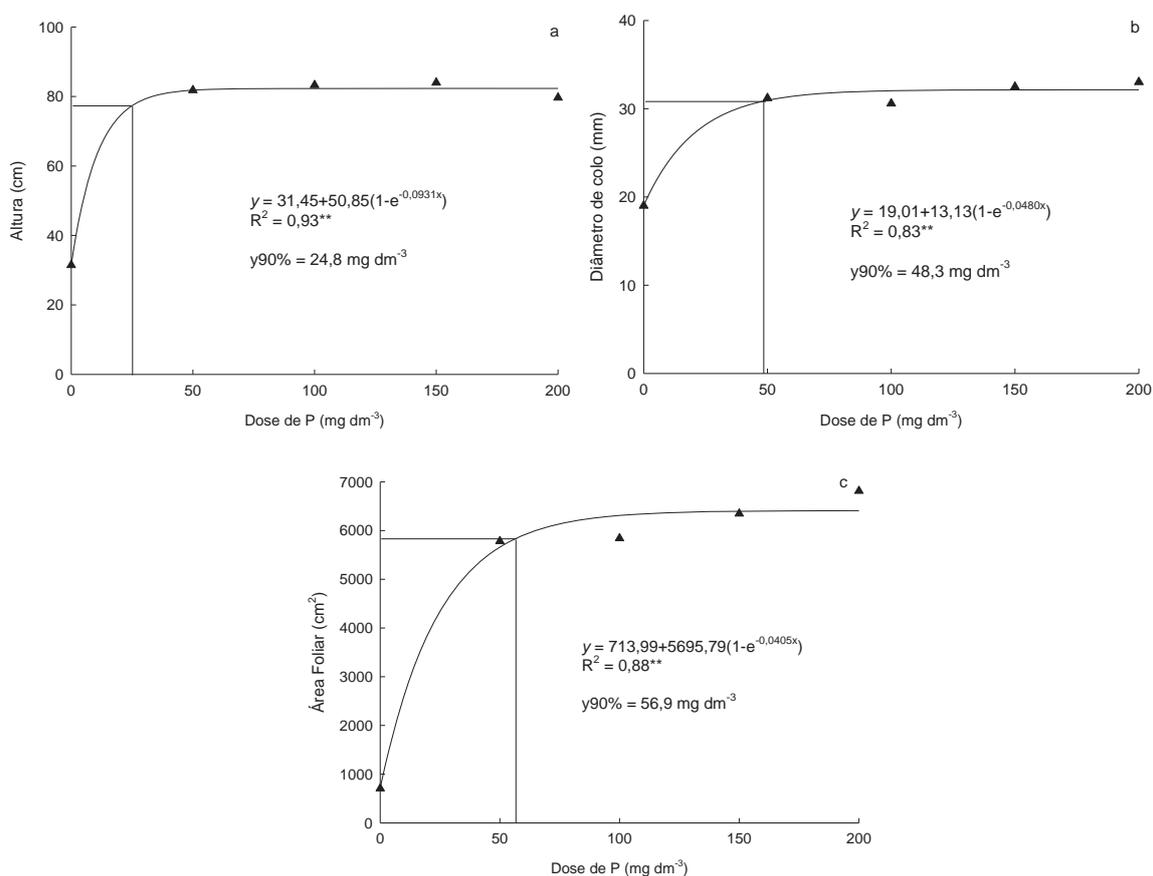


Figura 10. Altura (a), diâmetro de colo (b) e área foliar (c) de plantas de pinhão-mansó em função de doses de fósforo, 150 dias após o transplantio. Botucatu-SP, 2011. \*\*significativo a 1% e \*significativo a 5%

A MS de folhas (Figura 11a), MS de caule+pecíolo (Figura 11b), MS de raiz (Figura 11c), bem como a MS total (Figura 11d) ajustaram-se a modelos polinomiais, dos quais se estimou respectivamente que 30; 62; 20 e 112 g representam 90% da produção máxima. As doses estimadas de P que correspondem aos respectivos resultados são 56; 29; 51 e 42 mg dm<sup>-3</sup>. O P é um dos mais importantes constituintes minerais para a atividade celular, além de ser o nutriente mais limitante para a produtividade de biomassa em plantas cultivadas em solos tropicais (NOVAIS; SMYTH, 1999), sendo limitante para o crescimento inicial de pinhão-mansão (LAVIOLA; DIAS, 2008). Silva et al. (2009a) estudaram o efeito da omissão de nutrientes em mudas de pinhão-mansão e verificaram que a omissão de P reduziu em 68% a produção de MS total. De modo geral, analisando os resultados de MS do presente estudo (Figura 11), reforça-se a importância do P para o pinhão-mansão, podendo-se sugerir que dose próxima a 50 mg dm<sup>-3</sup> P seria suficiente para promover adequado crescimento inicial da cultura.

Importante ressalva a respeito da adubação fosfatada do pinhão-mansão foi feita por Balota et al. (2011), os quais concluíram que para doses de até 50 mg dm<sup>-3</sup> P, a cultura é extremamente dependente de micorrização, sugerindo inclusive que a inoculação de fungos micorrízicos seria uma alternativa para melhorar transplante de mudas da espécie. Os autores verificaram incrementos de 99% em altura, 44% em diâmetro, 195% em MS de parte aérea, 287% em MS de raiz, 124% em número de folhas, 230% em área foliar e de 741% em acúmulo de P na parte aérea de plantas inoculadas, em relação às plantas de pinhão-mansão desenvolvidas sem micorrização. Isso acontece porque a micorriza é a associação simbiótica entre raízes de plantas e fungos micorrízicos arbusculares, caracterizado pela formação de estruturas internamente às raízes (hifas, vesículas e arbúsculos) e grande quantidade de hifas extrarradiculares. Estas hifas funcionam como extensões do sistema radicular, aumentando em mais de cem vezes a área de exploração do solo, e absorvendo água e nutrientes para as plantas (BALOTA et al., 2011).

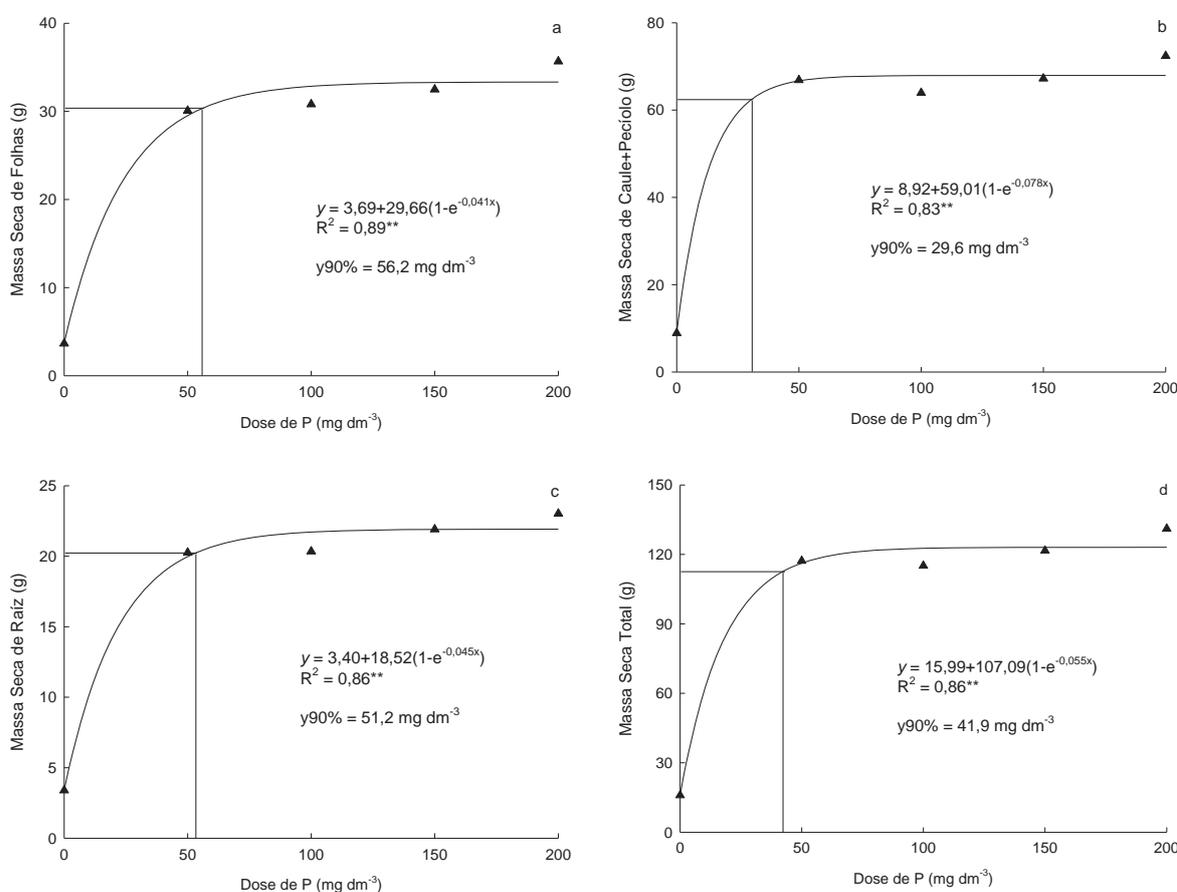


Figura 11. Massa seca de folhas (a), massa seca de caule+pecíolo (b), massa seca de raiz (c) e massa seca total (d) de plantas de pinhão-mansão em função de doses de fósforo, 150 dias após o transplante. Botucatu-SP, 2011. \*\*significativo a 1% e \*significativo a 5%

Uma vez que se ajustaram a equações quadráticas (Tabela 13), os máximos teores foliares de P e Mg, estimados nesta ordem em 2,06 e 24,58 g kg<sup>-1</sup>, foram obtidos respectivamente com as doses calculadas de 150 e 136 mg dm<sup>-3</sup> P. O teor foliar de N (33,05 g kg<sup>-1</sup>), assim como o teor de Cu (6,15 mg kg<sup>-1</sup>), não variaram em função da adubação fosfatada (Figura 12). O teor de 10,78 g kg<sup>-1</sup> para o K, de 15,82 g kg<sup>-1</sup> para o Ca, de 1,78 g kg<sup>-1</sup> para o S, de 126,17 mg kg<sup>-1</sup> para o Fe, de 111,66 mg kg<sup>-1</sup> para o Mn e de 21,0 mg kg<sup>-1</sup> para o Zn representam 90% de seus teores máximos e foram estimados com as respectivas doses de P: 48; 45; 86; 51; 52 e 37 mg dm<sup>-3</sup>. Entretanto, o máximo teor foliar de B (79,98 mg kg<sup>-1</sup>) foi verificado com a dose 0 mg dm<sup>-3</sup> P, uma vez que seu teor decresceu linearmente quando do aumento das doses de P (Figura 12). Como dito anteriormente, os estudos com nutrição do

pinhão-mansão iniciaram-se há pouco tempo e ainda não se estabeleceu a folha diagnose a ser utilizada em avaliação nutricional, nem os teores foliares adequados de cada nutriente.

O nível crítico de um dado nutriente pode ser fisiológico ou fisi-econômico. O primeiro descreve a relação entre nível de um elemento na folha e o crescimento ou a produção da planta. O segundo é definido como “nível” de um elemento na folha abaixo do qual a produção é limitada e acima do qual a adubação não é econômica (MALAVOLTA, 2006). Além disso, o teor foliar dos elementos é influenciado por vários fatores que agem e às vezes interagem antes e depois da coleta das folhas, tais como: solo, adubação, correção de acidez, família, espécie e variedade da planta, folha e parte da folha, além de fatores de clima, de práticas culturais e de pragas e doenças. Assim, através de experimentos, às vezes de tentativa e erro, pode-se estabelecer tipo de folha, época de coleta e número de plantas amostradas (MALAVOLTA, 2006).

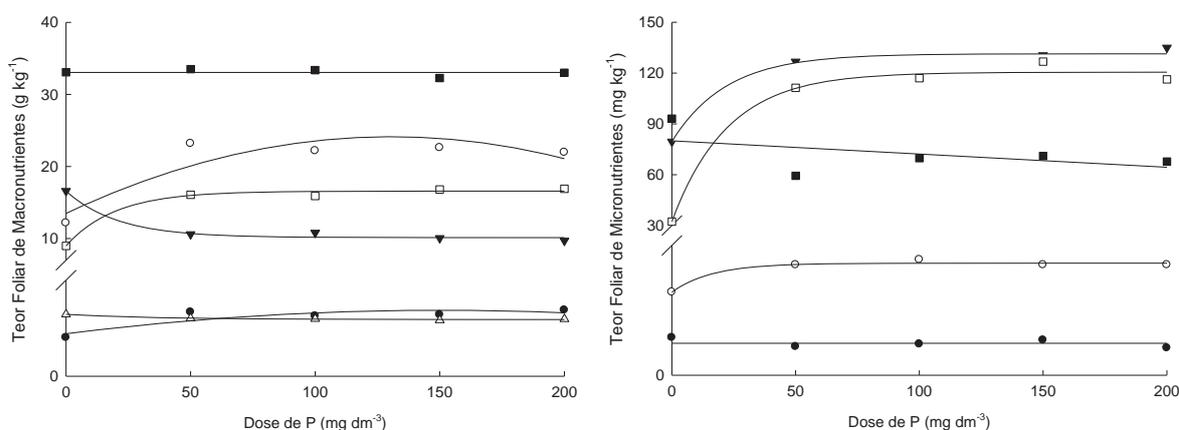


Figura 12. Teores de macro (N (■), P (●), K (▼), Ca (□), Mg (○) e S (Δ)) e micronutrientes (B (■), Cu (●), Fe (▼), Mn (□) e Zn (○)) em folhas de pinhão-mansão em função de doses de P, 150 dias após o transplantio. Botucatu-SP, 2011.

Lima et al. (2011a e 2011b), já apresentados no tópico referente aos resultados com N, foram os primeiros autores a correlacionar o teor foliar de nutrientes com a posição da folha no ramo secundário (comparando também o tipo de ramo, vegetativo ou florífero), bem como variação dos teores de nutrientes em função do estágio fenológico da folha de pinhão-mansão. Contudo, comparações entre os resultados obtidos por estes autores

(que estudaram folhas específicas) e os apresentados no presente estudo (em que se determinou os teores de todas as folhas da planta) ficam limitadas, haja vista também à falta de informação para o pinhão-mansão e a série de fatores que são considerados para prever se um dado teor está adequado.

Tabela 13. Equações de regressão referentes aos teores de N, P, K, Ca, Mg, S ( $\text{g kg}^{-1}$ ) e B, Cu, Fe, Mn e Zn ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) em folhas de pinhão-mansão em função de doses de P, 150 dias após o transplante. Botucatu-SP, 2011.

Nutriente na folha	Equação	R <sup>2</sup> e significância
N	$y = 33,05$	-
P	$y = 1,32 + 0,0098x - 3,2593E-005x^2$	0,57**
K	$y = 16,59 - 6,4649(1-e^{-0,0483x})$	0,88**
Ca	$y = 8,98 + 7,6024(1-e^{-0,0507x})$	0,90**
Mg	$y = 13,47 + 0,1633x - 0,0006x^2$	0,77**
S	$y = 1,93 - 0,1612(1-e^{-0,0267x})$	0,42**
B	$y = 79,98 - 0,0780x$	0,13*
Cu	$y = 6,15$	-
Fe	$y = 79,54 + 51,8184(1-e^{-0,0454x})$	0,64**
Mn	$y = 32,26 + 88,2283(1-e^{-0,0444x})$	0,88**
Zn	$y = 15,99 + 5,5688(1-e^{-0,0616x})$	0,74**

De modo geral, o acúmulo de macro e micronutrientes apresentou comportamento similar ao acúmulo de MS total (Figura 13 e Figura 11d, respectivamente), o que já era esperado, pois os dois parâmetros estão correlacionados. O acúmulo de todos os nutrientes ajustou-se a modelos exponenciais (Tabela 14) e os valores de  $1,76 \text{ g planta}^{-1}$  para N, de  $0,18 \text{ g planta}^{-1}$  para P, de  $0,87 \text{ g planta}^{-1}$  para Ca, de  $1,07 \text{ g planta}^{-1}$  para Mg, de  $0,17 \text{ g planta}^{-1}$  para S, de  $4,06 \text{ mg planta}^{-1}$  para B, de  $20,23 \text{ mg planta}^{-1}$  para Fe, de  $16,40 \text{ mg planta}^{-1}$  para Mn e de  $1,97 \text{ mg planta}^{-1}$  para Zn representam 90% dos seus máximos acúmulos. Estes resultados, nesta ordem, foram verificados com as seguintes doses de P: 32; 61; 62; 37; 43; 76; 79; 72 e  $44 \text{ mg dm}^{-3}$  (Figura 13). O acúmulo de K estabilizou em  $2,47 \text{ g planta}^{-1}$  a partir da dose de  $6 \text{ mg dm}^{-3}$  P e o de Cu em  $0,57 \text{ mg planta}^{-1}$  a partir da dose de  $1 \text{ mg dm}^{-3}$  P (Figura

13). O acúmulo total de nutrientes nas plantas de pinhão-manso adubadas com doses de P apresentou a seguinte ordem:  $K > N > Mg > Ca > P > S > Fe > Mn > B > Zn > Cu$ . Essa mesma ordem de acúmulo foi verificada no experimento com doses de N, ou seja, nas mesmas condições ambientais e de solo, variando doses de N ou P, as plantas de pinhão-manso apresentaram a mesma demanda por nutrientes, sendo o K e o N os nutrientes mais requeridos para o desenvolvimento inicial da espécie.

Laviola e Dias (2008) verificaram que a ordem de acúmulo de nutrientes em folhas de pinhão-manso no estágio de desenvolvimento de frutos foi  $N > K > Ca > Mg > P > Mn > Fe > B > Zn > Cu$ , ordem esta que também aponta o N e o K como os mais requeridos. Os autores constataram que na fase em que a planta inicia sua produção, há aumento do requerimento por K, pois a deposição de biomassa nos frutos de pinhão-manso é acompanhada pelo acúmulo deste nutriente. Apesar de estes autores terem estudado o acúmulo de nutrientes somente pelas folhas e em fase produtiva do pinhão-manso, diferentemente do presente estudo em que se avaliou o acúmulo total no crescimento inicial da planta, o P foi o quinto nutriente mais requerido em ambos os estudos.

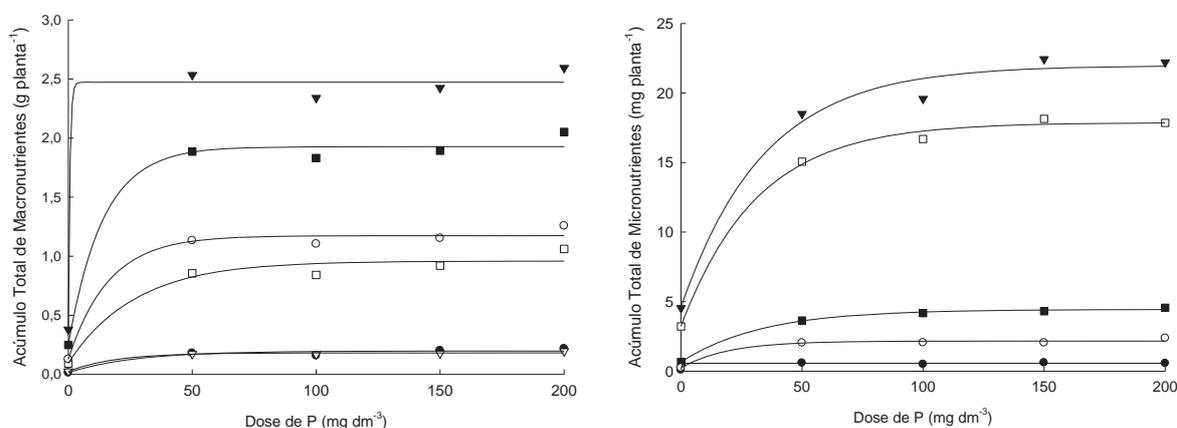


Figura 13. Acúmulo de macro (N (■), P (●), K (▼), Ca (□), Mg (○) e S (△)) e micronutrientes (B (■), Cu (●), Fe (▼), Mn (□) e Zn (○)) em plantas de pinhão-manso em função de doses de P, 150 dias após o transplântio. Botucatu-SP, 2011.

Tabela 14. Equações de regressão referentes ao acúmulo de N, P, K, Ca, Mg, S (g planta<sup>-1</sup>) e B, Cu, Fe, Mn e Zn (mg planta<sup>-1</sup>) em plantas de pinhão-mansão em função de doses de P, 150 dias após o transplantio. Botucatu-SP, 2011.

Nutriente	Equação	R <sup>2</sup> e significância
N	$y = 0,25 + 1,6789(1 - e^{-0,0714x})$	0,91**
P	$y = 0,0142 + 0,1831(1 - e^{-0,0377x})$	0,75**
K	$y = 0,3791 + 2,0939(1 - e^{-1,5419x})$	0,92**
Ca	$y = 0,0942 + 0,8646(1 - e^{-0,0372x})$	0,90**
Mg	$y = 0,1275 + 1,0461(1 - e^{-0,0619x})$	0,90**
S	$y = 0,0247 + 0,1565(1 - e^{-0,0535x})$	0,85**
B	$y = 0,6494 + 3,7875(1 - e^{-0,0303x})$	0,85**
Cu	$y = 0,0876 + 0,4783(1 - e^{-5,9232x})$	0,65**
Fe	$y = 4,60 + 17,3725(1 - e^{-0,0293x})$	0,86**
Mn	$y = 3,23 + 14,6396(1 - e^{-0,0318x})$	0,88**
Zn	$y = 0,2352 + 1,9291(1 - e^{-0,0522x})$	0,87**

Ao final do estudo, verificou-se acréscimo linear dos teores de P (máximo de 80,51 mg dm<sup>-3</sup>) e Ca (máximo de 26,24 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) do solo, o que já era esperado para o teor de P devido ao aumento das doses deste nutriente pelos tratamentos. Já para o teor de K (máximo de 1,75 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>), verificou-se efeito contrário, o que pode ser justificado pela competição entre Ca e K nos sítios de adsorção do solo (MALAVOLTA, 2006). O aumento linear da SB (que atingiu máximo de 48,85 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) possivelmente ocorreu devido ao aumento do Ca ter sido maior que a redução do K no solo, haja vista que o teor de Mg (20,55 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) manteve-se constante. Constatou-se ainda máximo valor de H+Al (24,9 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) com a dose calculada de 143 mg dm<sup>-3</sup> P (Tabela 15).

Tabela 15. Equações de regressão referentes ao valor de pH e teor de M.O.,  $P_{\text{resina}}$ , H+Al, K, Ca, Mg, SB, CTC, V%, B, Cu, Fe, Mn e Zn do solo ao final do experimento com doses de P. Botucatu-SP, 2011.

Variável química do solo	Equação de regressão	R <sup>2</sup> e significância.
pH (CaCl <sub>2</sub> )	$y = 5,63$	-
M.O. (g dm <sup>-3</sup> )	$y = 18,2$	-
$P_{\text{resina}}$ (mg dm <sup>-3</sup> )	$y = 0,39 + 0,4006x$	0,96**
H+Al (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	$y = 18,81 + 0,0856x - 0,0003x^2$	0,93**
K (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	$y = 1,75 - 0,0031x$	0,15*
Ca (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	$y = 19,98 + 0,0313x$	0,71**
Mg (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	$y = 20,55$	-
SB (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	$y = 41,53 + 0,0366x$	0,36**
CTC (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	$y = 62,01 + 0,0553x$	0,58**
V%	$y = 66,85$	-
B (mg dm <sup>-3</sup> )	$y = 0,55$	-
Cu (mg dm <sup>-3</sup> )	$y = 0,50$	-
Fe (mg dm <sup>-3</sup> )	$y = 25,15$	-
Mn (mg dm <sup>-3</sup> )	$y = 1,06 + 0,0131x - 4,4229E-005x^2$	0,82**
Zn (mg dm <sup>-3</sup> )	$y = 2,44 - 0,0052x + 2,2857E-005x^2$	0,33**

Com o aumento da SB e do H+Al, houve então aumento linear da CTC calculada do solo, cujo valor máximo foi de 73,0 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>. A V% final do solo (66,8) não se alterou (Tabela 15), uma vez que tanto a SB quanto H+Al do solo aumentaram proporcionalmente. O pH do solo (5,6) não variou e conseqüentemente os teores de M.O. (18,2 g dm<sup>-3</sup>) e B (0,55 mg dm<sup>-3</sup>) também não, uma vez que há influência do pH na mineralização da M.O., que é a fonte primária de B (MALAVOLTA, 2006). Os teores de Cu (0,50 mg dm<sup>-3</sup>) e Fe (25,5 mg dm<sup>-3</sup>) também não variaram. Os máximos teores de Mn (2,03 mg dm<sup>-3</sup>) e Zn (2,14 mg dm<sup>-3</sup>), todavia, foram estimados com as doses de 148 e 114 mg dm<sup>-3</sup> P, ajustando-se equações quadráticas (Tabela 15).

### 6.3 Experimento 3: Doses de potássio

A altura e o diâmetro de colo das plantas apresentaram diferenças desde os 15 DAT. Todavia, estas diferenças ocorreram em relação ao tratamento controle, uma vez que os demais permaneceram similares em todas as avaliações (Figuras 14a e 14b). A adubação potássica não foi fator limitante do crescimento, pelo menos inicial, do pinhão-manso. Esta hipótese é reforçada com as análises de regressão de altura, diâmetro de colo (Figuras 15a e 15b), MS de caule+pecíolo, MS de raiz e MS total (Figuras 16b, 16c e 16d), uma vez que nenhuma destas variáveis foi afetada pela adubação potássica. Este comportamento pode ter ocorrido porque algumas espécies têm capacidade de absorver quantidades de K superiores às suas necessidades, o que comumente é denominado de “consumo de luxo” de K (MEURER, 2006). Nesse caso a planta absorve o nutriente, há aumento do seu teor nos tecidos da planta, mas esta não responde em crescimento (FAQUIN, 2002), como verificado neste estudo.

Espera-se, contudo, que em longo prazo o pinhão-manso responda à adubação potássica, principalmente no estágio de produção de frutos. Laviola e Dias (2008) verificaram que na fase em que plantas de pinhão-manso entram em produção, o requerimento por K aumenta, uma vez que este nutriente possui função importante na formação dos frutos, atuando no transporte de fotoassimilados do floema (MARSCHNER, 1995). Além disso, o K é requerido na ativação de enzimas essenciais à síntese de compostos orgânicos como o amido (MARSCHNER, 1995; MARENCO; LOPES, 2005).

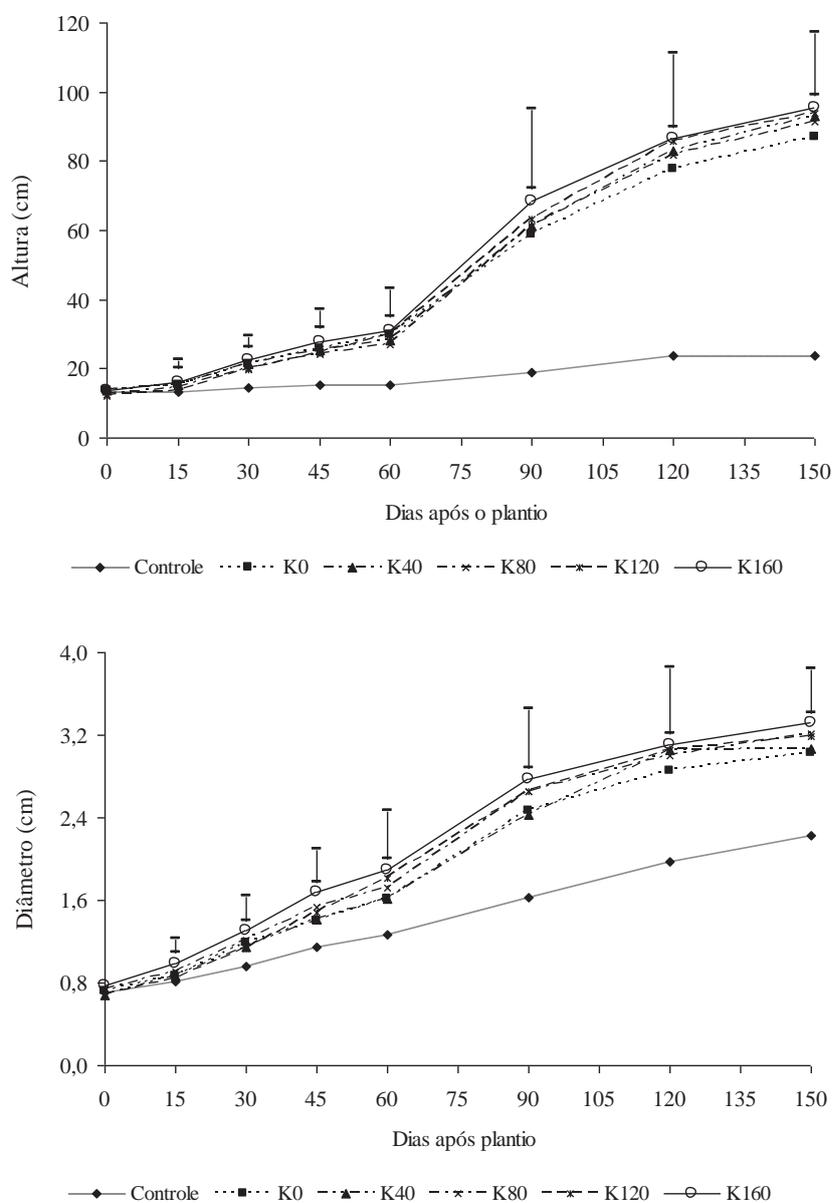


Figura 14. Altura (a) e diâmetro de colo (b) de plantas de pinhão-mansô em função de doses de potássio ao longo de 150 dias após o transplantio. Botucatu-SP, 2011. Barras verticais indicam o valor de DMS pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

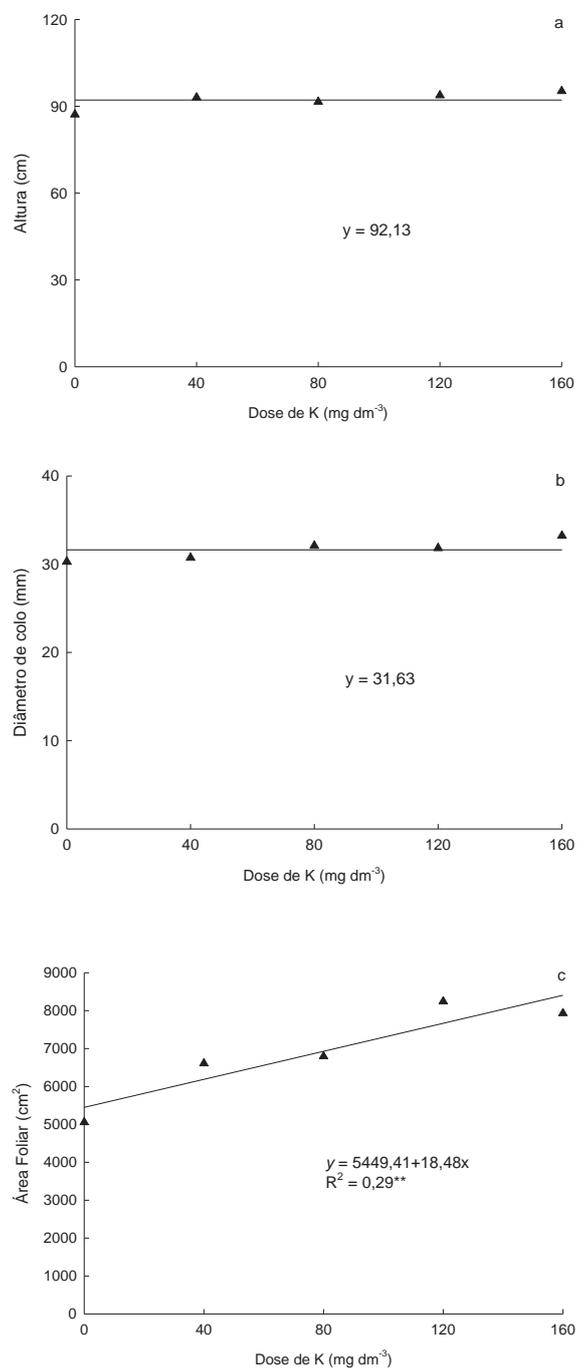


Figura 15. Altura (a), diâmetro de colo (b) e área foliar (c) de plantas de pinhão-mansão em função de doses de potássio, 150 dias após o transplante. Botucatu-SP, 2011. \*\*significativo a 1% e \*significativo a 5%

Pesquisas realizadas em solos brasileiros não apresentaram respostas das plantas à fertilização com K devido entre alguns fatores, à contribuição de formas não-trocáveis do elemento (MEURER, 2006). Neste estudo, entretanto, a adubação potássica promoveu, incrementos lineares de área foliar (Figura 15c) e conseqüentemente de MS de folhas (Figura 16a), cujos valores máximos, obtidos com a máxima dose de K ( $160 \text{ mg dm}^{-3}$ ), foram respectivamente de  $41,2 \text{ g}$  e  $8.406,2 \text{ cm}^2$ . Prado et al. (2004) verificaram que com doses de até  $220 \text{ mg dm}^{-3}$  K houve incremento de área foliar de maracujazeiro (*Passiflora edulis*).

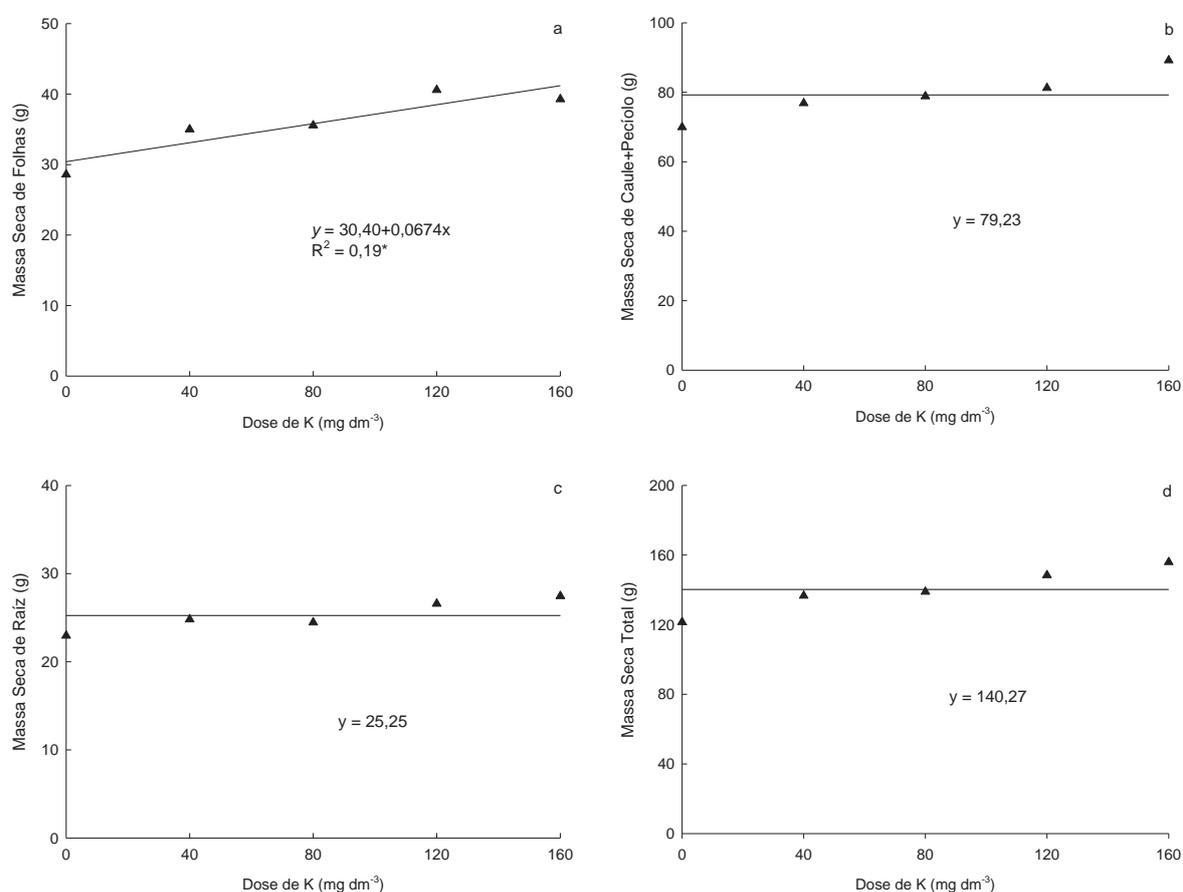


Figura 16. Massa seca de folhas (a), massa seca de caule+pecíolo (b), massa seca de raiz (c) e massa seca total (d) de plantas de pinhão-mansão em função de doses de potássio, 150 dias após o transplante. Botucatu-SP, 2011. \*\*significativo a 1% e \*significativo a 5%

Com o aumento das doses de K, os teores de N ( $33,61 \text{ g kg}^{-1}$ ) e Mg ( $28,60 \text{ g kg}^{-1}$ ) nas folhas decresceram (Figura 17), possivelmente pela diluição ocorrida em função do incremento de MS das folhas (Figura 16a). Outra hipótese para justificar a redução linear do teor foliar de Mg, seria pelo efeito de antagonismo entre K e Mg (MEURER, 2006). Cátions como  $\text{K}^+$  e  $\text{Ca}^{2+}$  competem efetivamente com o  $\text{Mg}^{2+}$  e diminuem sua absorção (MARSCHNER, 1995). Contudo, não houve efeito da adubação potássica no teor foliar de Ca ( $16,4 \text{ mg kg}^{-1}$ ), inferindo-se que não houve efeito de antagonismo entre K e Ca. A adubação potássica também não interferiu nos teores foliares de P ( $2,04 \text{ g kg}^{-1}$ ), S ( $1,75 \text{ g kg}^{-1}$ ), B ( $67,9 \text{ mg kg}^{-1}$ ) e Cu ( $5,85 \text{ mg kg}^{-1}$ ), enquanto os teores de Fe (máximo de  $131,1 \text{ mg kg}^{-1}$ ) e Zn (máximo de  $19,7 \text{ mg kg}^{-1}$ ) aumentaram linearmente (Figura 17). O teor de Mn nas folhas aumentou até a dose de  $50 \text{ mg dm}^{-3}$  K, havendo pequeno incremento a partir desta dose. Para este micronutriente,  $127,7 \text{ mg kg}^{-1}$  corresponde a 90% de seu teor máximo (Figura 17).

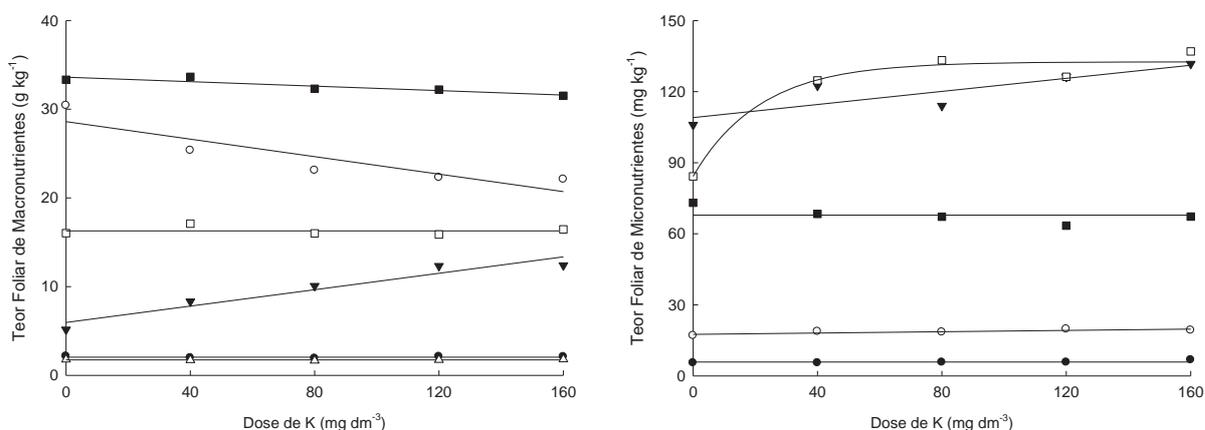


Figura 17. Teores de macro (N (■), P (●), K (▼), Ca (□), Mg (○) e S (△)) e micronutrientes (B (■), Cu (●), Fe (▼), Mn (□) e Zn (○)) em folhas de pinhão-mansó em função de doses de K, 150 dias após o transplantio. Botucatu-SP, 2011.

Tabela 16. Equações de regressão referentes aos teores de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn em folhas de pinhão-mansó em função de doses de K, 150 dias após o transplante. Botucatu-SP, 2011.

Nutriente na folha	Equação	R <sup>2</sup> e significância
N	$y = 33,61 - 0,0126x$	0,27**
P	$y = 2,04$	-
K	$y = 5,96 + 0,0463x$	0,88**
Ca	$y = 16,4$	-
Mg	$y = 28,60 - 0,0493x$	0,64**
S	$y = 1,75$	-
B	$y = 67,95$	ns
Cu	$y = 5,85$	ns
Fe	$y = 109,05 + 0,1381x$	0,32**
Mn	$y = 84,24 + 48,33(1 - e^{-0,0462x})$	0,74**
Zn	$y = 17,55 + 0,0137x$	0,19*

Com o aumento das doses de K no solo, houve incremento linear do acúmulo total de K na planta (Figura 19). Contudo, com a dose de 0 mg dm<sup>-3</sup> K, o acúmulo do nutriente na planta foi maior que o K inicialmente disponível no solo (que era de 0,2 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, equivalente a 0,39 g de K por vaso). Neste caso, o acúmulo total de K foi de 0,81 g planta<sup>-1</sup>, ou seja, 0,42 g a mais em relação ao K disponível na forma trocável no solo, podendo-se inferir que o pinhão-mansó absorveu K da fração não-trocável. Esta hipótese é confirmada pelos resultados da análise de K não-trocável do solo realizada ao final do estudo (Figura 18). O K no solo apresenta-se em diferentes formas que se encontram em equilíbrio dinâmico (SPARKS, 1980). Considerando sua disponibilidade para as plantas, o K do solo pode ser classificado em quatro categorias que seguem uma ordem crescente de disponibilidade: estrutural (mineral), não-trocável ou dificilmente disponível, trocável e em solução, que, somadas, fornecem o K total (TISDALE; NELSON, 1993).

Considerando que o teor inicial de K não-trocável do solo era de 42 mg dm<sup>-3</sup>, verificou-se que com as doses de 0 e 40 mg dm<sup>-3</sup> de K a espécie absorveu respectivamente 27 e 11 mg dm<sup>-3</sup> de K da forma não-trocável (Figura 18). Já com as doses de

80, 120 e 160 mg dm<sup>-3</sup> K praticamente não ocorreu absorção de K não-trocável (Figura 18), ou seja, quanto menor a dose de K disponível no solo, maior a absorção do nutriente na forma não-trocável. Este resultado pode ser explicado pelo fato de que, em algumas situações, a quantidade de K extraída pelas plantas é superior às formas trocáveis no solo, o que indica que formas de K não-trocável contribuem significativamente para o total de K absorvido pelas plantas, principalmente quando o K trocável é baixo (NACHTIGALL; VAHL, 1991; SILVA et al., 1995). Contudo, independente da espécie ter absorvido K das formas trocável (quando das maiores doses do nutriente) e não-trocável (quando das menores doses do nutriente), as plantas não responderam em crescimento (altura e diâmetro) (Figuras 15a e 15b) e em produção de MS total (Figura 16d).

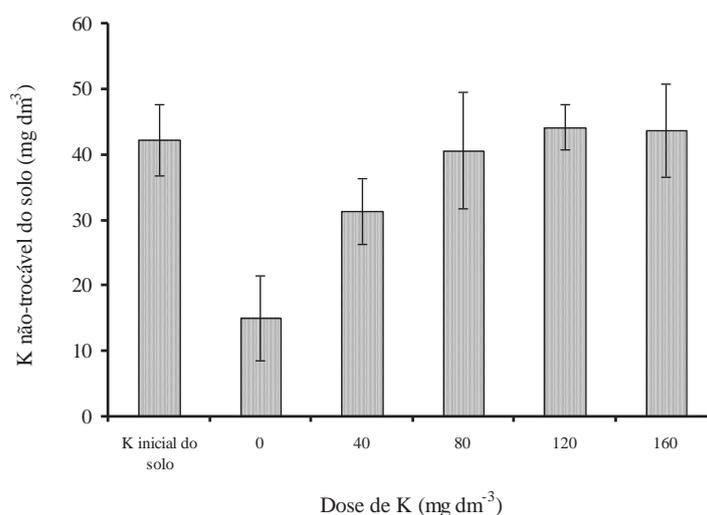


Figura 18. Teor de K não-trocável no solo antes da adubação e após a condução do experimento com doses de potássio. Barras verticais indicam desvio padrão.

A exaustão do K junto à superfície radicular origina um gradiente de concentração que provoca a liberação de K não-trocável (HINSINGER et al., 1992; HINSINGER et al., 1993), podendo então ser absorvido pelas plantas, fato este que deve ser levado em consideração no programa de adubação, principalmente de culturas perenes (MIELNICZUK, 1982). Kuchenbuch (1985) verificou, em solo deficiente em K, que a forma não-trocável contribuiu com 85% do total absorvido por plantas de colza (*Brassica napus* L.) no início de seu desenvolvimento e que a baixa concentração de K na solução do solo

provocou liberação de K da mica presente na rizosfera. Lana e Neves (1994), avaliando a capacidade de suprimento de K de seis solos de São Paulo, constataram que, após quatro cultivos sucessivos de eucalipto (*Eucalyptus grandis*), os teores de K não-trocável no solo reduziram em média 55% e que a contribuição dessa forma de K do solo para as plantas de eucalipto variou de 34 a 110 kg ha<sup>-1</sup>, o que, na média representou 70% do K absorvido pela espécie.

Houve incremento linear no acúmulo de Ca (máximo de 1,12 g planta<sup>-1</sup>) e Mn (máximo de 25,45 mg planta<sup>-1</sup>) nas plantas de pinhão-mansão (Tabela 17). Entretanto, apesar do teor de Mg ter reduzido na folha, seu acúmulo total na planta (1,4 g planta<sup>-1</sup>) não foi alterado (Figura 19) pelo incremento de Ca e K, provavelmente pelo fato do Mg fornecido pelo calcário dolomítico ter sido suficiente para evitar desbalanços na sua absorção, que pode ser afetada pelo excesso de K (VITTI et al., 2006). A disponibilidade dos nutrientes não está relacionada apenas com a concentração dos cátions no solo, mas também, em função das interações iônicas entre eles (tais quais entre K, Ca e Mg), que podem ocorrer tanto no solo como na planta e influenciar na disponibilidade e absorção dos elementos (KEY et al., 1962; TISDALE et al., 1985).

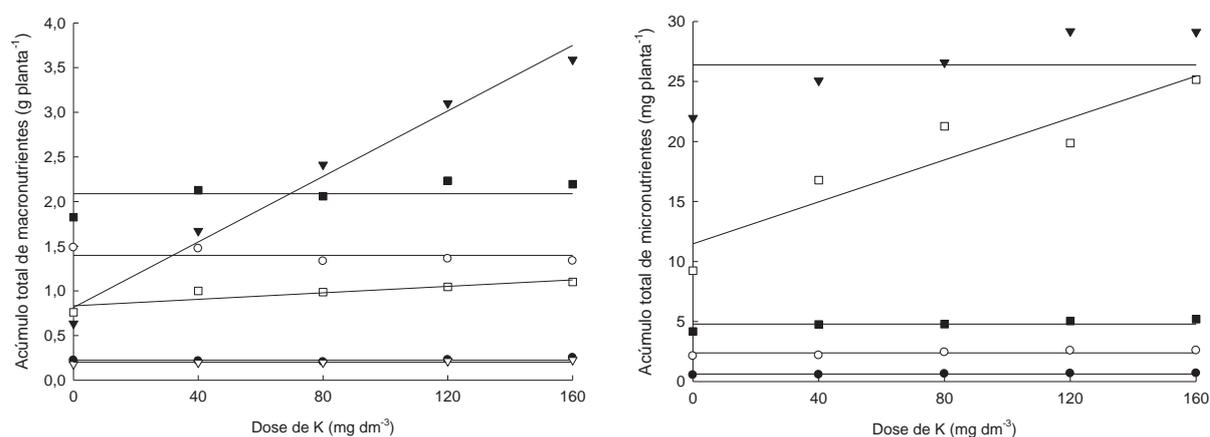


Figura 19. Acúmulo de macro (N (■), P (●), K (▼), Ca (□), Mg (○) e S (Δ)) e micronutrientes (B (■), Cu (●), Fe (▼), Mn (□) e Zn (○)) em plantas de pinhão-mansão em função de doses de K, 150 dias após o transplantio. Botucatu-SP, 2011.

Tabela 17. Equações de regressão referentes ao acúmulo de N, P, K, Ca, Mg, S (g planta<sup>-1</sup>), B, Cu, Fe, Mn e Zn (mg planta<sup>-1</sup>) em função de doses de K, 150 dias após o transplântio de pinhão-mansô. Botucatu-SP, 2011.

Nutriente	Equação	R <sup>2</sup> e significância
N	$y = 2,09$	-
P	$y = 0,22$	-
K	$y = 0,81 + 0,0183x$	0,85**
Ca	$y = 0,83 + 0,0018x$	0,23**
Mg	$y = 1,40$	-
S	$y = 0,20$	-
B	$y = 4,79$	-
Cu	$y = 0,62$	-
Fe	$y = 26,38$	-
Mn	$y = 11,48 + 0,0873x$	0,73**
Zn	$y = 2,38$	-

O acúmulo total de N foi de 2,09 g planta<sup>-1</sup>, de P foi de 0,22 g planta<sup>-1</sup>, de S foi de 0,20 g planta<sup>-1</sup>, de B foi de 4,79 mg planta<sup>-1</sup>, de Cu foi de 0,62 mg planta<sup>-1</sup>, de Fe foi de 26,38 mg planta<sup>-1</sup> e o de Zn de 2,38 mg planta<sup>-1</sup> e não se alteraram em função das doses de K (Figura 19). Verificou-se então, que as plantas de pinhão-mansô adubadas com doses de K apresentaram a seguinte ordem de acúmulo total de nutrientes: K > N > Mg > Ca > P > S > Fe > Mn > B > Zn > Cu. Esta ordem de acúmulo foi verificada nos experimentos com doses de N e P, constatando-se que independente das variações de doses de N, P ou K, os nutrientes apresentam a mesma ordem de requerimento.

Na análise final do solo, verificou-se que houve incremento linear dos teores de K e Mn em função da adubação potássica, sendo seus teores máximos de 1,90 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> e 2,10 mg dm<sup>-3</sup>, respectivamente (Tabela 18). Contudo, mesmo havendo acréscimo do teor de K no solo, não houve resposta das plantas quanto ao seu crescimento em altura e diâmetro e quanto ao incremento de MS total. Como já comentado anteriormente, este comportamento pode ter ocorrido porque as plantas têm capacidade de absorver quantidades de K superiores às suas necessidades (MEURER, 2006), sem, no entanto, responder em

crescimento (FAQUIN, 2002). Lima et al. (2011b) estudaram a redistribuição de nutrientes em folhas de pinhão-mansão em função de estádios fenológicos e verificaram que a maior parte do K é absorvida pelas plantas durante a fase de crescimento vegetativo. O K está presente nos tecidos vegetais na maioria das vezes em formas solúveis em água, sendo considerado o mais móvel dos nutrientes no sistema solo-planta-atmosfera e particularmente, na planta (MALAVOLTA, 2006).

Tabela 18. Equações de regressão referentes ao valor de pH e teor de M.O.,  $P_{\text{resina}}$ , H+Al, K, Ca, Mg, SB, CTC, V%, B, Cu, Fe, Mn e Zn do solo ao final do experimento com doses de K. Botucatu-SP, 2011.

Variável química do solo	Equação de regressão	$R^2$ e significância
pH (CaCl <sub>2</sub> )	$y = 5,62$	-
M.O. (g dm <sup>-3</sup> )	$y = 18,60$	-
$P_{\text{resina}}$ (mg dm <sup>-3</sup> )	$y = 68,65$	-
H+Al (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	$y = 23,00$	-
K (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	$y = 0,0872 + 0,0113x$	0,91**
Ca (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	$y = 26,85$	-
Mg (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	$y = 22,50$	-
SB (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	$y = 50,05$	-
CTC (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	$y = 73,25$	-
V%	$y = 68,30$	-
B (mg dm <sup>-3</sup> )	$y = 0,61$	-
Cu (mg dm <sup>-3</sup> )	$y = 0,48$	-
Fe (mg dm <sup>-3</sup> )	$y = 24,35$	-
Mn (mg dm <sup>-3</sup> )	$y = 1,46 + 0,0040x$	0,61**
Zn (mg dm <sup>-3</sup> )	$y = 2,19$	-

Apesar do K ser absorvido por muitas espécies em quantidades superiores às necessárias, não se têm conhecimentos de toxidez causada pelo K em plantas (MEURER, 2006). Por outro lado, são freqüentes os relatos de desequilíbrios nutricionais em

razão de antagonismos provocados pelo excesso de K sobre os cátions bivalentes Ca e Mg (MARSCHNER, 1995; ANDREOTTI et al., 2000). Neste trabalho, contudo, não se constatou este desequilíbrio, uma vez que as plantas não apresentaram sintomas visuais de deficiência de Ca ou Mg nem redução de seus acúmulos na planta. Os teores de Ca ( $26,85 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ) e Mg ( $22,50 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ) e conseqüentemente da SB ( $50,05 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ) também não variaram no solo (Tabela 18). A correção do solo com calcário dolomítico (29% de CaO e 18% de MgO) provavelmente evitou desequilíbrio entre K, Ca e Mg. Quando as variações nas relações entre estes cátions não são extremas, não afetam a qualidade química do solo e o crescimento das plantas (KOPITTKKE; MENZIER, 2007).

## 7 CONCLUSÕES

A adubação nitrogenada para a cultura do pinhão-mansão poderia ser realizada em cobertura, a partir dos 60 dias após o plantio e com a dose de  $65 \text{ mg dm}^{-3} \text{ N}$ .

Índice SPAD de 46, medido na primeira folha completamente desenvolvida a partir do ápice, pode ser utilizado como referência nutricional de N no desenvolvimento inicial de pinhão-mansão.

A ausência da adubação fosfatada é mais limitante ao crescimento inicial do pinhão-mansão do que a ausência da adubação nitrogenada ou potássica. Doses próximas a  $50 \text{ mg dm}^{-3} \text{ P}$  são suficientes para promover melhor desenvolvimento da cultura.

Em seu crescimento inicial, o pinhão-mansão não responde à adubação potássica até a dose de  $160 \text{ mg dm}^{-3} \text{ K}$  por absorver K da fração não-trocável do solo quando das menores doses de K e/ou absorver K como “consumo de luxo” quando das maiores doses.

A adubação com doses de N, P e K não modificam a ordem de requerimento de nutrientes pelo pinhão-mansão em seu desenvolvimento inicial, sendo mantida a seguinte ordem de acúmulo:  $\text{K} > \text{N} > \text{Mg} > \text{Ca} > \text{P} > \text{S} > \text{Fe} > \text{Mn} > \text{B} > \text{Zn} > \text{Cu}$ .

## 8 REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, W. G. et al. Comportamento das variáveis de crescimento do pinhão-manso em função de níveis de água disponível no solo e adubação nitrogenada. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA EM PINHÃO-MANSO, 1., 2009, Brasília, DF. **Anais...** Brasília, DF: Embrapa Agroenergia, 2009. 1 CD-ROM.

ANDREOTTI, M. et al. Produção de matéria seca e absorção de nutrientes pelo milho em razão da saturação de bases e da adubação potássica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 35, p. 2437-2446, 2000.

ARAÚJO, A. P.; MACHADO, C. T. T. Fósforo. In: FERNANDES, M. S. (Ed.). **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p. 253-280.

ARGENTA, G. et al. Relação da leitura do clorofilômetro com os teores de clorofila extraível e nitrogênio na folha de milho. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Lavras, v. 13, n. 2, p. 158-167, 2001.

ARRUDA, F. P. et al. Cultivo de pinhão-manso (*Jatropha Curcas* L.) como alternativa para o semi-árido nordestino. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**, Campina Grande, v. 8, n. 1, p. 789-799, 2004.

BALOTA, E. L. et al. Physic nut plants present high mycorrhizal dependency under conditions of low phosphate availability. **Brazilian Society of Plant Physiology**, Campinas, v. 23, p. 33-44, 2011.

BERGER, K. C.; PRATT, P. F. Advances in secondary and micronutrient fertilization. In: Mc VICKAR, M. H.; BRIDGER, G. L.; NELSON, L. B. (Org.). **Fertilizer technology and usage**. Madison: Soil Science Society of America, 1963. p. 287-340.

BLACKMER, T. M.; SCHEPERS, J. S. Use of chlorophyll meter to monitor nitrogen status and schedule fertigation for corn. **Journal of Production Agriculture**, Madison, v. 8, p. 56-60, 1995.

BIODIESEL. Embrapa identifica pinhão-manso atóxico. Disponível em: <<http://www.biodieselbr.com/noticias/em-foco/embrapa-identifica-pinhao-manso-atoxico-150611.htm>>. Acesso em: 21 jul. 2011.

BORGES, A. L. et al. Produtividade e qualidade de maracujazeiro-amarelo irrigado, adubado com nitrogênio e potássio. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 24, n. 1, p. 259-262, 2005.

BÜLL, L. T. Nutrição mineral do milho. In: BÜLL, L.T.; CANTARELLA, H. (Org.). **Cultura do milho: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: Potafos, 1993. p. 63-145.

CARNIELLI, F. O combustível do futuro. Boletim da UFMG, v. 29, n. 1413, 2003. Disponível em: <<http://www.ufmg.br/boletim/bol1413/quarta.shtml>>. Acesso em: 19 jul. 2011.

CARVALHO, W. A.; ESPINDOLA, C. R.; PACOLA, A. A. Levantamento de solos da Fazenda Lageado: Estação Experimental “Presidente Médici”. **Boletim Científico da Faculdade de Ciências Agrônomicas UNESP**, Botucatu, n. 1, 1983. 95 p.

CHAPMAN, S. C.; BARRETO, H. J. Using a chlorophyll meter to estimate specific leaf nitrogen of tropical maize during vegetative growth. **Agronomy Journal**, Madison, v. 89, n. 4, p. 557-562, 1997.

CLARKSON, D. T.; HANSON, J. B. The mineral nutrition of higher plants. **Annual Review of Plant Physiology**, Palo Alto, v. 31, p. 239-298, 1980.

COSTA, N. V. et al. Crescimento de plantas de pinhão-manso em resposta à adubação fosfatada: 1º ano de avaliação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA EM PINHÃO-MANSO, 1., 2009, Brasília, DF. **Anais...** Brasília, DF: Embrapa Agroenergia, 2009. 1 CD-ROM.

DWYER, L. M. et al. Quantifying the nonlinearity in chlorophyll meter response to corn leaf nitrogen concentration. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v. 75, p.179-182, 1995.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos - CNPS. **Manual de métodos de análises de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos, 1997. 212 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos - CNPS. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, DF, 2006. 412 p.

- EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. 2. ed. Londrina: Planta, 2006. 403 p.
- ERASMO, E. A. L. et al. Desenvolvimento de plantas de pinhão-mansão em resposta à adubação fosfatada. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA EM PINHÃO-MANSO, 1., 2009, Brasília, DF. **Anais...** Brasília, DF: Embrapa Agroenergia, 2009. 1 CD-ROM.
- EVANGELISTA, A. W. P. et al. Rendimento do pinhão-mansão submetido a diferentes níveis de irrigação e doses de adubação potássica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA EM PINHÃO-MANSO, 1., 2009, Brasília, DF. **Anais...** Brasília, DF: Embrapa Agroenergia, 2009. 1 CD-ROM.
- FERREIRA, G. B. et al. Deficiência de fósforo e potássio na mamona (*Ricinus communis* L.): descrição e efeito sobre o crescimento e a produção da cultura. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, 1., 2004, Campina Grande. **Anais...** Campina Grande: Embrapa Algodão, 2004. 1 CD-ROM.
- FAIRLESS, D. Biofuel: the little shrub that could maybe. **Nature**, London, v. 499, p. 652–655, 2007.
- FAQUIN, V. **Diagnose do estado nutricional das plantas**. 2002. 77 f. Monografia (Especialização em Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas no Agronegócio)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2002.
- FONTES, P. C. R. **Diagnóstico do estado nutricional das plantas**. 2. ed. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2006. 112 p.
- HELLER, J. **Physic nut (*Jatropha curcas* L.): promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops**. Rome: IPGRI, 1996. 66 p.
- HINSINGER, P.; JAILLARD, B.; DUFEY, J. E. Rapid weathering of a trioctahedral mica by roots of ryegrass. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 56, p. 977-982, 1992.
- HINSINGER, P.; ELSASS, F.; JAILLARD, B. Root-induced irreversible transformation of a trioctahedral mica in the rhizosphere of rape. **Soil Science**, Philadelphia, v. 44, p. 535-545, 1993.
- JESCHKE, W. D. et al. Effects of P deficiency on the uptake, flows and utilization of C, N and H<sub>2</sub>O within intact plants of *Ricinus communis* L. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 47, n. 304, p. 1737-1754, 1996.
- KEY, J. L.; KURTZ, L. T.; TUCKER, B. B. Influence of ratio of exchangeable calciummagnesium on yield and composition of soybeans and corn. **Soil Science**, Philadelphia, v. 4, p. 265- 271, 1962.

- KNUDSEN, D.; DETERSON, G. A.; PRATT, P. F. Lithium, sodium and potassium. In: KLUTE, A.; PAGE, A. L. (Org.). **Methods of soil analysis**. 2nd. ed. Madison: American Society of Agronomy, 1982. p. 225-246.
- KOPITTKKE, P. M.; MENZIER, N. W. A review of the use of the basic cation saturation ratio and the “ideal” soil. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 71, p. 259-265, 2007.
- KUCHENBUCH, R. Importancia de los procesos de intercambio de iones en el suelo proximo a las raíces para la disponibilidad de potasio para las plantas. **Potasa**, Berna, v. 1, p. 1-12, 1985.
- LANA, M. C.; NEVES, J. C. L. Capacidade de suprimento de potássio em solos sob reflorestamento com eucalipto do Estado de São Paulo. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 18, p. 115-122, 1994.
- LANGHE, A. et al. Alterações em atributos do solo decorrentes da aplicação de nitrogênio e palha em sistema semeadura direta na cultura do milho. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 2, p. 460-467, 2006.
- LAVIOLA, B. G.; DIAS, L. A. S. Teor e acúmulo de nutrientes em folhas e frutos de pinhão-manso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, n. 5, p. 1969-1975, 2008.
- LIMA, R. L. S. et al. Posição da folha e estágio fenológico do ramo para análise foliar do pinhão-manso. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 10, p. 1068-1072, 2011a.
- LIMA, R. L. S. et al. Redistribuição de nutrientes em folhas de pinhão-manso entre estádios fenológicos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 11, p. 1175-1179, 2011b.
- LYNCH, J.; LÄUCHLI, A.; EPSTEIN, E. Vegetative growth of the common bean in response to phosphorus nutrition. **Crop Science**, Madison, v. 31, p. 380-387, 1991.
- MAFFEIS, A. R.; SILVEIRA, R. L. V. A.; BRITO, J. O. Reflexos das deficiências de macronutrientes e boro no crescimento das plantas, produção e qualidade de óleo essencial em *Eucalyptus citriodora*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 57, p. 87-98, 2000.
- MAIA, J. T. L. S. et al. Efeito da omissão de macro e micronutrientes no crescimento do pinhão-manso. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 24, n. 2, p. 174-179, 2011.
- MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 638 p.

- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e Fosfato, 1997. 201 p.
- MARENCO, R. A.; LOPES, N. F. **Fisiologia vegetal**: fotossíntese, respiração, relações hídricas e nutrição mineral. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2005. 451 p.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2nd. ed. New York: Academic Press, 1995. 889 p.
- MARTÍNEZ-HERRERA, J. et al. Chemical composition, toxic/antimetabolic constituents, and effects of different treatments on their levels, in four provenances of *Jatropha curcas* L. from Mexico. **Food Chemistry**, Oxford, v. 96, p. 80-89, 2006.
- MEURER, E. J. Fatores que influenciam o crescimento e desenvolvimento das plantas. In: NOVAIS, R. F. et al. (Org.). **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: SBCS, 2007. p. 65-90.
- MEURER, E. J. Potássio. In: FERNANDES, M. S. (Org.). **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa, MG: SBSC, 2006. p. 281-298.
- MIELNICZUK, J. Avaliação da resposta das culturas ao potássio em ensaios de longa duração: experiências brasileiras. In: YAMADA, T. (Org.). **Potássio na agricultura brasileira**. Piracicaba: Potafos/Iapar, 1982, p. 189-203.
- MORAGHAN, J. T.; MASCAGANI, J. R. Environmental and soil factors affecting micronutrient deficiencies and toxicities. In: MORTVEDT, J. J. (Org.). **Micronutrients in agriculture**. Madison: Soil Science Society of America, 1991. p. 371-426.
- MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2. ed. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2006. 729 p.
- NACHTIGALL, G. R.; VAHL, L. C. Dinâmica da liberação de potássio dos solos da Região Sul do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 15, p. 43-47, 1991.
- NOBREGA, J. A. et al. Adubação fosfatada do pinhão-mansão: efeitos sobre a biomassa seca. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA EM PINHÃO-MANSO, 1., 2009, Brasília, DF. **Anais...** Brasília, DF: Embrapa Agroenergia, 2009. 1 CD-ROM.
- NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa, MG: Ed. UFV, 1999. 300 p.
- NOVAIS, R. F.; NEVES, J. C. L.; BARROS, N. F. Ensaio em ambiente controlado. In: OLIVEIRA, A. J. et al. (Org.). **Métodos de pesquisa em fertilidade do solo**. Brasília, DF: Embrapa SEA 1991. 392 p. (Documentos, 3).

- OLIVEIRA, S. J. C. **Comportamento de crescimento do pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) em função da adubação mineral e poda.** 2009. 126 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Agricultura Tropical)-Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2009.
- OTTO, R. **Desenvolvimento de raízes e produtividade de cana-de-açúcar relacionados à adubação nitrogenada.** 2007. 117 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Solos e Nutrição Mineral de Plantas)-Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.
- PRADO, R. M. et al. Aplicação de potássio no estado nutricional e na produção de matéria seca de mudas de maracujazeiro-amarelo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 26, p. 295-299, 2004.
- RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação.** Piracicaba: Ceres/ Potafos, 1991. 343 p.
- RAIJ, B. van et al. (Org.). **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais.** Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. 285 p.
- RESENDE, A. V. et al. Crescimento inicial de espécies florestais de diferentes grupos sucessionais em resposta a doses de fósforo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 34, n. 11, p. 2071-2081, 1999.
- RODRÍGUEZ, D. KELTJENS, W. G.; GOUDRIAAN, J. Plant leaf areaexpansion and assimilate production in wheat (*Triticum aestivum* L.) growing under low phosphorus conditions, **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 200, p. 227-240, 1998.
- ROGGATZ, U. et al. Effects of nitrogen deprivation on cell division and expansion in leaves of *Ricinus communis* L. **Journal Plant, Cell and Environment**, Oxford, v. 22, n. 1, p. 7140-7791, 1999.
- RUAN, J.; WU, X.; YE, Y.; HARDTER, R. Effect of potassium, magnesium and sulphur applied in different form of fertilizers on free amino acid content in leaves of tea (*Camellia sinensis* L.). **Journal of the Science of Food and Agriculture**, West Susse, v. 76, p. 389-396, 1998.
- RUAN, J.; WU, X.; HARDTER, R. Effects of potassium and magnesium nutrition on the quality components of diffents types of tea. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, West Susse, v. 79, p. 47-52, 1999.
- SANTOS, A. C. M. et al. Deficiência de nitrogênio na mamoneira (*Ricinus communis* L.): descrição e efeito sobre o crescimento e a produção da cultura. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, 1., 2004, Campina Grande, PB. **Anais...** Campina Grande, PB: Embrapa Algodão, 2004. 1 CD-ROM.
- SATURNINO, H. M. et al. Cultura do pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.). **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 26, n. 229, p. 44-78, 2005.

SCHADCHINA, T. M.; DMITRIEVA, V. V. Leaf chlorophyll content as a possible diagnostic mean for the evaluation of plant nitrogen uptake from the soil. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 18, p. 1427-1437, 1995.

SILVA, D. N. et al. Mineralogia e formas de potássio em dois Latossolos do Estado do Paraná e suas relações com a disponibilidade para as plantas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 19, p. 433-439, 1995.

SILVA, E. B. et al. Sintomas visuais de deficiências nutricionais em pinhão-mansão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 44, n. 4, p. 392-397, 2009a.

SILVA, J. C. et al. Florescimento e frutificação de genótipos de pinhão-mansão sob doses de fósforo no cerrado da região sul do Tocantins. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA EM PINHÃO-MANSO, 1., 2009b, Brasília, DF. **Anais...** Brasília, DF: Embrapa Agroenergia, 2009b. 1CD-ROM.

SIMÕES, W. L. et al. Respostas fisiológicas do pinhão-mansão a diferentes lâminas de irrigação e doses de nitrogênio. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA EM PINHÃO-MANSO, 1., 2009, Brasília, DF. **Anais...** Brasília, DF: Embrapa Agroenergia, 2009. 1 CD-ROM.

SOBRAL, L. F.; NOGUEIRA, L. C. Influência de nitrogênio e potássio via fertirrigação em atributos do solo, níveis críticos foliares e produção do coqueiro-anão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, p. 1675-1682, 2008.

SOUZA, S. R.; FERNADES, M. S. Nitrogênio. In: FERNANDES, M. S. (Org.). **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p. 215-252.

SOUZA, P. T. et al. NPK fertilization on initial growth of physic nut seedlings in Quartzarenic Neossol. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 35, p. 559-566, 2011.

SOUZA, P. T. et al. Resposta do pinhão-mansão à adubação NPK em duas condições Edafoclimáticas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA EM PINHÃO-MANSO, 1., 2009, Brasília, DF. **Anais...** Brasília, DF: Embrapa Agroenergia, 2009. 1 CD-ROM.

SPARKS, D. L. Chemistry of soil potassium in Atlantic Coastal Plain soils: a review. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Philadelphia, v. 11, p. 435-449, 1980.

STOKING, C. R.; ONGUN, A. The intracellular distribution of some metallic elements in leaves. **American Journal of Botany**, Columbus, v. 49, n. 3, p. 284-289, 1962.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719 p.

TISDALE, S. L.; NELSON, W. L. **Soil fertility and fertilizers**. 5th. ed. New York: Macmillan, 1993. 634 p.

TISDALE, S. L.; NELSON, W.; BEATON, J. D. **Soil fertility and fertilizers**. 4. ed. New York: Macmillan Publishing Company, 1985. 754 p.

TOMAZ, M. A. et al. Desenvolvimento de pinhão-manso em um latossolo corrigido com calcário e óxido de magnésio e submetido a diferentes doses de fósforo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA EM PINHÃO-MANSO, 1., 2009, Brasília, DF. **Anais...** Brasília, DF: Embrapa Agroenergia, 2009. 1 CD-ROM.

TORRES, C. M. M. E. et al. Biomass and carbon stock in *Jatropha curcas* L. **Cerne**, Lavras, v. 17, n. 3, p. 353-359, 2011.

VITTI, G. C.; LIMA, E.; CICARONE, F. Cálcio, magnésio e enxofre. In: FERNANDES, M. S. (Org.). **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p. 299-325.

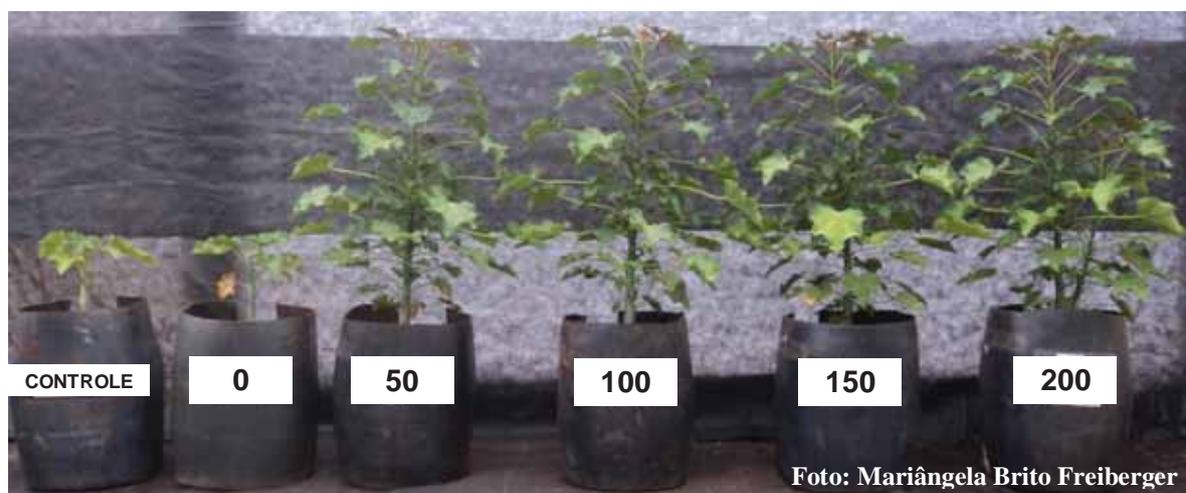
XU, G.; WOLF, S.; KAFKAFI, U. Ammonium on potassium interaction in sweet pepper. **Journal of Plant Nutrition**, Philadelphia, v. 25, p. 719-734, 2002.

## 9 APÊNDICE

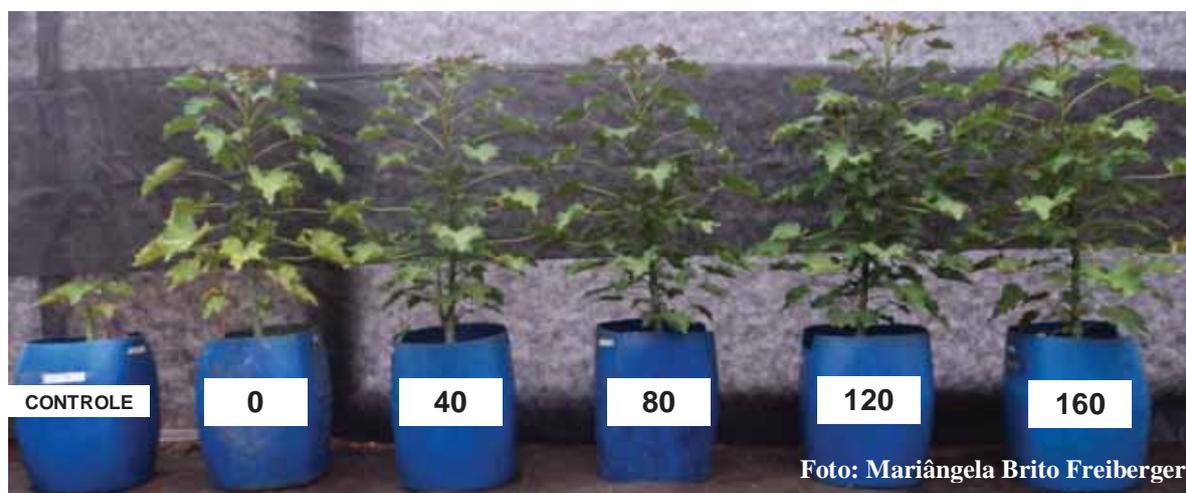


Foto: Mariângela Brito Freiberg

Apêndice 1. Plantas de pinhão-mansô do experimento com doses de nitrogênio ( $\text{mg dm}^{-3}$ ), 150 dias após transplântio. Botucatu-SP, 2011.



Apêndice 2. Plantas de pinhão-mansô do experimento com doses de fósforo ( $\text{mg dm}^{-3}$ ), 150 dias após transplântio. Botucatu-SP, 2011.



Apêndice 3. Plantas de pinhão-mansô do experimento com doses de potássio ( $\text{mg dm}^{-3}$ ), 150 dias após transplântio. Botucatu-SP, 2011.