

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ - UNIOESTE  
CAMPUS DE MARECHAL CÂNDIDO RONDON  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU* EM AGRONOMIA**

**TATIANE OHLAND**

**EFEITO DE DENSIDADES DO SOLO E DOSES DE CALCÁRIO NO  
DESENVOLVIMENTO INICIAL DO PINHÃO-MANSO**

**MARECHAL CÂNDIDO RONDON - PR**

**2012**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ - UNIOESTE**  
**CAMPUS DE MARECHAL CÂNDIDO RONDON**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU* EM AGRONOMIA**  
**NÍVEL MESTRADO**

**TATIANE OHLAND**

**EFEITO DE DENSIDADES DO SOLO E DOSES DE CALCÁRIO NO**  
**DESENVOLVIMENTO INICIAL DO PINHÃO-MANSO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós -  
Graduação em Agronomia da Universidade Estadual  
do Oeste do Paraná para obtenção do título de  
Mestre em Agronomia, Área de Concentração:  
Produção Vegetal.

Orientadora: Dr<sup>a</sup>. Maria do Carmo Lana  
Co-Orientador: Dr. Rubens Fey

**MARECHAL CÂNDIDO RONDON - PR**

**2012**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)  
(Biblioteca da UNIOESTE – Campus de Marechal Cândido Rondon – PR.,  
Brasil)

037e	Ohland, Tatiane Efeito de densidades do solo e doses de calcário no desenvolvimento inicial do pinhão-manso / Tatiane Ohland. - Marechal Cândido Rondon, 2012 68 p.  Orientadora: Prof. Dr. Maria do Carmo Lana Coorientador: Prof. Dr. Rubens Fey  Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus de Marechal Cândido Rondon, 2012  1. Pinhão manso - Compactação do solo. 2. Pinhão manso - Acidez do solo. 3. Pinhão manso - Adubação - Calcário. 4. <i>Jatropha curcas</i> L. I. Universidade Estadual do Oeste do Paraná. II. Título.  CDD 21.ed. 634.9285 CIP-NBR 12899
------	---

Ficha catalográfica elaborada por Marcia Elisa Sbaraini-Leitzke CRB-9/539



**unioeste**

Universidade Estadual do Oeste do Paraná

Campus de Marechal Cândido Rondon - CNPJ 78680337/0003-46  
Rua Pernambuco, 1777 - Centro - Cx. P. 91 - <http://www.unioeste.br>  
Fone: (45) 3284-7878 - Fax: (45) 3284-7879 - CEP 85960-000  
Marechal Cândido Rondon - PR.



Estado do Paraná

Ata da reunião da Comissão Julgadora da Defesa de Dissertação da Engenheira Agrônoma **Tatiane Ohland**. Aos doze dias do mês de julho de 2012, às 14h00min, sob a presidência da Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Maria do Carmo Lana em sessão pública reuniu-se a Comissão Julgadora da defesa da Dissertação da Engenheira Agrônoma Tatiane Ohland, discente do Programa de Pós-Graduação *stricto sensu* em Agronomia – Nível Mestrado com área de concentração em **"PRODUÇÃO VEGETAL"**, visando à obtenção do título de **"MESTRA EM AGRONOMIA"**, constituída pelos membros: Pesq. Dr. Luiz Antônio Zanão Júnior (IAPAR), Prof. Dr. Ubirajara Contro Malavasi, Pesq. Dr. Rubens Fey, Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Maria do Carmo Lana (Orientadora).

Iniciados os trabalhos, a candidata apresentou seminário referente aos resultados obtidos e submeteu-se à defesa de sua Dissertação, intitulada: **"EFEITO DE DENSIDADES DO SOLO E DOSES DE CALCÁRIO NO DESENVOLVIMENTO INICIAL DO PINHÃO-MANSO"**.

Terminada a defesa, procedeu-se ao julgamento dessa prova, cujo resultado foi o seguinte, observada a ordem de arguição:

Pesq. Dr. Luiz Antônio Zanão Júnior.....Aprovada  
Prof. Dr. Ubirajara Contro Malavasi.....Aprovada  
Pesq. Dr. Rubens Fey.....Aprovada  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Maria do Carmo Lana (Orientadora).....Aprovada

Apurados os resultados, verificou-se que a candidata foi habilitada, fazendo jus, portanto, ao título de **"MESTRA EM AGRONOMIA"**, área de concentração: **"PRODUÇÃO VEGETAL"**. Do que, para constar, lavrou-se a presente ata, que vai assinada pelos senhores membros da Comissão Julgadora.

Marechal Cândido Rondon, 12 de julho de 2012.

Pesq. Dr. Luiz Antônio Zanão Júnior

Prof. Dr. Ubirajara Contro Malavasi

Pesq. Dr. Rubens Fey (co-orientador)

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Maria do Carmo Lana (Orientadora)

*A meus pais, Carlos e Albertina, pelo exemplo, incentivo e apoio durante mais essa etapa.*

**DEDICO.**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, pois sem Ele, nada seria possível e não estaríamos aqui reunidos, desfrutando, juntos, destes momentos que nos são tão importantes.

Nada na vida conquistamos sozinhos. Sempre precisamos de outras pessoas para alcançar os nossos objetivos. Muitas vezes um simples gesto pode mudar a nossa vida e contribuir para o nosso sucesso.

Por isso agradeço aos meus pais Carlos e Albertina, pelo esforço, dedicação e compreensão, em todos os momentos desta e de outras caminhadas.

Aos meus irmãos Leandro e Evandro, que sempre me apoiaram, por compreenderem a minha ausência e que são e serão sempre os meus melhores amigos. A todos os familiares que depositaram em mim confiança.

A minha orientadora, professora Dr<sup>a</sup> Maria do Carmo Lana, pela orientação, paciência, confiança e credibilidade em mim depositada.

A Universidade Estadual do Oeste do Paraná, pelo acolhimento e disponibilidade de infra-estrutura para a realização do curso de pós-graduação. A Coodetec pela concessão do solo utilizado no experimento.

As minhas amigas Tania Helena Neunfeld, Sônia Maria Werle, Daniela Mondardo, Patrícia Paula Bellon, Thuane Larissa Andrzejewski e Jaqueline Regina Bergmann pelos momentos que passamos juntas.

A todos os meus amigos, que obtive ao longo do curso.

**Muito Obrigada!**

## RESUMO

Foram conduzidos dois experimentos em casa de vegetação, em vasos constituídos por tubos de PVC contendo  $10,6 \text{ dm}^{-3}$  de solo, utilizando o delineamento experimental em blocos casualizados, com quatro repetições. O primeiro experimento teve como objetivo avaliar a influência da densidade do solo no desenvolvimento inicial da cultura do pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.). O solo utilizado foi o Latossolo Vermelho eutroférico de textura argilosa, sob os níveis de densidade do solo de 1,08; 1,22; 1,36; 1,50 e  $1,64 \text{ kg dm}^{-3}$ . Após 120 dias da emergência das plantas, avaliou-se o número de folhas, altura de planta, diâmetro de caule, área foliar, comprimento da raiz principal, volume radicular, produção de matéria seca de folhas+pecíolos, caule, raízes, planta inteira, relação raiz/parte aérea e o conteúdo de P, K, Ca e Mg. Os resultados indicam que o aumento da densidade do solo afetou negativamente o desenvolvimento da parte aérea e do sistema radicular de plantas de pinhão-manso. A limitação do desenvolvimento da parte aérea ocorreu a partir da densidade estimada de  $1,26 \text{ kg dm}^{-3}$ , com redução do número de folhas, área foliar e produção de matéria seca da parte aérea. O desenvolvimento do sistema radicular e o conteúdo de P e K nas plantas de pinhão-manso reduziram linearmente com o aumento da densidade do solo. O conteúdo de Ca e Mg não foi influenciado pelo aumento da densidade do solo. O segundo experimento teve como objetivo avaliar o desenvolvimento inicial do pinhão-manso sob diferentes doses de calcário em subsuperfície. O solo utilizado foi o Latossolo Vermelho distroférico de textura argilosa coletado em Cascavel - PR. As plantas de pinhão-manso foram cultivadas em vasos de PVC dividido em dois anéis, o anel superior (0-20 cm) recebeu solo corrigido ( $11,1 \text{ t ha}^{-1}$  de calcário) e adubação com NPK, no anel inferior (20-60 cm) foi adicionado o solo com as doses de 0; 3,7; 5,6; 7,4; 11,1 e  $14,9 \text{ t ha}^{-1}$  de  $\text{CaCO}_3$  e  $\text{MgCO}_3$  na relação molar 4:1. Após 120 dias da emergência das plantas, avaliou-se o número de folhas, área foliar, altura de planta, diâmetro de caule, comprimento da raiz, volume radicular, produção de matéria seca de folhas, caule, raízes, planta inteira e o teores de Al, P, K, Ca, Mg, Zn, Cu, Mn e Fe nas folhas, no caule e nas raízes. O desenvolvimento da parte aérea do pinhão-manso não foi limitado pelas doses de calcário aplicadas em subsuperfície, avaliado pela altura de planta, diâmetro de caule, produção de matéria seca de folhas, de caule e de matéria seca total. A redução das doses de calcário reduz o volume e a matéria seca de raízes em subsuperfície. A calagem reduziu os teores de Zn e Mn na parte aérea e raízes, o que afetou a altura de planta e volume de raízes.

Palavras-chave: *Jatropha curcas* L., compactação do solo, acidez do solo.

## ABSTRACT

Two experiments were conducted in a greenhouse in pots made of PVC tubes containing 10.6 dm<sup>3</sup> of soil, using a randomized complete block design with four replications. The first experiment aimed to evaluate the influence of soil density in the initial development of physic nut (*Jatropha curcas* L.). The soil used was an Oxisol clayey, in levels of bulk density of 1.08, 1.22, 1.36, 1.50 and 1.64 kg dm<sup>-3</sup>. After 120 days of plant emergence, was evaluated the number of leaves, plant height, stem diameter, leaf area, root length, root volume, dry matter of leaves + petioles, stems, roots, total dry matter of plant, root/shoot ratio and the content of P, K, Ca and Mg. The results indicate that the increase of soil density negatively affected the development of shoot and root system of plants of physic nut. The limitation of shoot growth occurred from the estimated density of 1.26 kg dm<sup>-3</sup>, reducing the number of leaves, leaf area and dry matter of shoots. The root system development and content of P and K in plants of physic nut decreased linearly with increasing density. The contents of Ca and Mg is not influenced by increasing the density of the soil. The second experiment aimed to evaluate the initial development of physic nut in different limestone rates in subsurface. The soil used was Oxisol clayey collected in Cascavel - PR. The physic nut plants were grown in PVC pots divided into two rings, the upper ring (0-20) received limed soil (11.1 t ha<sup>-1</sup> of CaCO<sub>3</sub> and MgCO<sub>3</sub>) and fertilized, the lower ring (20-60 cm) was added to soil at doses of 0, 3.7, 5.6, 7.4, 11.1 and 14.9 t ha<sup>-1</sup> of CaCO<sub>3</sub> and MgCO<sub>3</sub> in 4:1 molar ratio. After 120 days of plant emergence, was evaluated the number of leaves, leaf area, plant height, stem diameter, root length, root volume, dry matter of leaves, stems, roots, and total dry matter of plant and levels of Al, P, K, Ca, Mg, Zn, Cu, Mn and Fe in leaves, stems and roots. The development of the shoot of physic nut was not limited by the different limestone rates in subsurface, as assessed by plant height, stem diameter, dry matter of leaves, stem and total dry matter of plant. The decrease in limestone rates reduces the volume and dry matters of roots in subsurface. Liming decreased the concentration of Zn and Mn in shoots and roots, which may have influenced the plant height and root volume.

Key-words: *Jatropha curcas* L., soil compaction, soil acidity.

## LISTA DE TABELAS

- Tabela 1.** Caracterização química do solo coletado para o experimento. UNIOESTE – Marechal Cândido Rondon – PR, 2011 .....27
- Tabela 2.** Resumo da análise de variância para número de folhas (NF), área foliar (AF), altura de planta (AP) e diâmetro de caule (DC). UNIOESTE – Marechal Cândido Rondon – PR, 2011.....30
- Tabela 3.** Resumo da análise de variância para comprimento radicular (CR), volume radicular (VR), produção de matéria seca de folha (MSF) produção de matéria seca de caule (MSC), produção de matéria seca de raiz (MSR), relação raiz/parte aérea (R/PA) e densidade de raízes (DR). UNIOESTE – Marechal Cândido Rondon – PR, 2011 .....32
- Tabela 4.** Resumo da análise de variância para conteúdo de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) nas folhas, no caule e nas raízes de pinhão-manso. UNIOESTE – Marechal Cândido Rondon – PR, 2011.....36
- Tabela 5.** Características químicas das amostras de solo após a incubação com diferentes doses de calcário. UNIOESTE. Marechal Cândido Rondon - PR, 2011 ...47
- Tabela 6.** Características químicas das amostras de solo após o período de condução do experimento. UNIOESTE. Marechal Cândido Rondon - PR, 2011 .....47

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Ciclo de desenvolvimento do pinhão-mansinho no primeiro ano de cultivo nas condições do Brasil (LAVIOLA, 2012). .....16
- Figura 2.** Número de folhas/planta (A), área foliar (B) altura de plantas (C) e diâmetro de caule (D) de pinhão-mansinho em razão do aumento da densidade de solo. UNIOESTE – Marechal Cândido Rondon – PR, 2011. (\* significativo ao nível de 5 % de probabilidade, \*\* significativo ao nível de 1 % de probabilidade). .....30
- Figura 3.** Sistema radicular de plantas de pinhão-mansinho em razão do aumento da densidade de solo. UNIOESTE – Marechal Cândido Rondon – PR, 2011.....32
- Figura 4.** Comprimento radicular (A), volume radicular (B) produção de matéria de folhas (C) de caule (D), de raiz (E), produção de matéria seca total de planta (E) , relação raiz/parte aérea (G) e densidade de raízes (H) de pinhão-mansinho em razão do aumento da densidade de solo. UNIOESTE – Marechal Cândido Rondon – PR, 2011. (\*\* significativo ao nível de 1 % de probabilidade,\* significativo ao nível de 5 % de probabilidade).....34
- Figura 5.** Conteúdo de fósforo nas folhas (A), fósforo nas raízes (B) potássio nas raízes (C) de plantas pinhão-mansinho em função de diferentes densidades de solo. UNIOESTE – Marechal Cândido Rondon – PR, 2011. (\*\* significativo ao nível de 1 % de probabilidade).....37
- Figura 6.** Número de folhas (A) área foliar (B), altura de planta (C) e diâmetro de caule (D) em plantas de pinhão-mansinho em função de diferentes doses de calcário aplicadas no anel inferior. UNIOESTE – Marechal Cândido Rondon – PR, 2011. (\*\* significativo a 1 % de probabilidade e \* significativo à 5 % de probabilidade). .....49
- Figura 7.** Comprimento da raiz principal (A), volume total de raízes (B), volume de raízes no anel superior (C) e volume de raízes no anel inferior (D) em plantas de pinhão-mansinho em função de doses de calcário aplicadas no anel inferior. UNIOESTE – Marechal Cândido Rondon – PR, 2011. (\*\* significativo à 1% de probabilidade, \* significativo a 5% de probabilidade, <sup>ns</sup> significativo). .....51

- Figura 8.** Sistema radicular de plantas de pinhão-mansó em função de doses de calcário aplicadas no anel inferior. UNIOESTE – Marechal Cândido Rondon – PR, 2011. ....52
- Figura 9.** Produção de matéria seca de folhas (A), de caule (B), de raízes na profundidade no anel superior (C), de raízes na profundidade no anel inferior (D) e produção de matéria seca total de planta (E) em função de doses de calcário aplicadas no anel inferior. UNIOESTE – Marechal Cândido Rondon – PR, 2011. (\*\* significativo à 1 % de probabilidade, \* significativo a 5 % de probabilidade). ....53
- Figura 10.** Teor e conteúdo de Al nas folhas, caule, raízes no anel superior e raízes no anel inferior em função de doses de calcário aplicadas no anel inferior. UNIOESTE – Marechal Cândido Rondon – PR, 2011. (\*\*significativo à 1 % de probabilidade). UNIOESTE – Marechal Cândido Rondon – PR, 2011. ....55
- Figura 11.** Teor de fósforo (P) e potássio (K) em folhas, caule, raízes no anel superior e raízes no anel inferior em função de doses de calcário no anel inferior. UNIOESTE – Marechal Cândido Rondon – PR, 2011. (\*\* significativo à 1 % de probabilidade). ....58
- Figura 12.** Teor de cálcio (Ca) e magnésio (Mg) em folhas, caule, raízes no anel superior e raízes no anel inferior em função de doses de calcário aplicadas no anel inferior. UNIOESTE – Marechal Cândido Rondon – PR, 2011. (\*\* significativo à 1 % de probabilidade). ....60
- Figura 13.** Teor de zinco (Zn) e cobre (Cu) em folhas, caule, raízes no anel superior e raízes no anel inferior em função de doses de calcário aplicadas no anel inferior. UNIOESTE – Marechal Cândido Rondon – PR, 2011. (\*\* significativo à 1 % de probabilidade). ....62
- Figura 14.** Teor de manganês (Mn) e ferro (Fe) em folhas, caule, raízes no anel superior e raízes no anel inferior em função de doses de calcário aplicadas no anel inferior. UNIOESTE – Marechal Cândido Rondon – PR, 2011. (\*\* significativo à 1 % de probabilidade). ....64

## SUMÁRIO

<b>RESUMO</b> .....	<b>5</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>6</b>
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	<b>7</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	<b>8</b>
<b>1 INTRODUÇÃO GERAL</b> .....	<b>11</b>
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>13</b>
2.1 Cultura do pinhão-manso: alternativa para produção de biodiesel.....	13
2.1.1 Origem do pinhão-manso .....	13
2.1.2 Características botânicas e morfológicas .....	14
2.1.3 Fenologia da planta .....	15
2.2 Densidade do solo e seu efeito no desenvolvimento de plantas .....	16
2.3 Alumínio no solo e seu efeito sobre o desenvolvimento de plantas .....	17
2.4 Referências .....	20
<b>3 INFLUÊNCIA DA DENSIDADE DO SOLO NO DESENVOLVIMENTO INICIAL DO PINHÃO-MANSO CULTIVADO EM LATOSSOLO VERMELHO EUTROFÉRRICO</b>	<b>23</b>
3.1 Resumo .....	23
3.2 Abstract .....	24
3.3 Introdução .....	25
3.4 Material e Métodos.....	27
3.5 Resultados e Discussão .....	29
3.6 Conclusões.....	38
3.7 Referências .....	38
<b>4 EFEITO DE DOSES DE CALCÁRIO NO DESENVOLVIMENTO INICIAL DO PINHÃO-MANSO</b> .....	<b>42</b>
4.1 Resumo .....	42
4.2 Abstract .....	43
4.3 Introdução .....	44
4.4 Material e Métodos.....	46
4.5 Resultados e Discussão .....	49
4.6 Conclusões.....	65
4.7 Referências .....	65

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

O suprimento das demandas de energia, crescentes em todos os setores da sociedade, é uma preocupação de todos os países. Energia é sinônimo de capacidade de investimento e de expansão da atividade agroindustrial.

Na busca por fontes energéticas menos agressivas ao meio ambiente e, dentro do possível, menos onerosas, num equilíbrio entre a preocupação ambiental e relação custo-benefício, o Brasil é um verdadeiro exemplo. É do meio rural, da atividade agrícola, que surgem as melhores alternativas de abastecimento energético, assegurando ao campo e a cidade condições de manterem seu ritmo. (LINDEMANN, 2008).

Muito mais do que uma remodelação no abastecimento energético brasileiro, a agroenergia tem incorporado e revelado algumas espécies agrícolas que antes sequer eram mencionadas. Na área do biodiesel, alternativas regionais são alçadas a condição de matéria-primas potenciais, com boas perspectivas econômicas. Devido à dimensão continental do Brasil e à sua diversidade de clima e solo, estima-se que exista aqui mais de 200 espécies de oleaginosas, com potencial para produzir óleo, matéria-prima para a produção de biodiesel (EMBRAPA ALGODÃO, 2008). Uma delas é o pinhão-manso que até pouco tempo era praticamente desconhecida.

O pinhão-manso já esta sendo cultivado no território nacional, mesmo que ainda não se tenha pleno domínio tecnológico da cultura. No entanto, para chegar a este domínio algumas dificuldades encontradas devem ser superadas, como a falta de conhecimento quanto a genética da planta, ao estabelecimento da época de plantio, a adaptabilidade para cada região, a adubação adequada, a adaptabilidade as diferentes classes e condições do solo, tais como densidade e presença de alumínio.

A densidade do solo, a porosidade total, a aeração e a resistência à penetração podem caracterizar o estado de compactação dos solos. Os valores desses atributos variam entre solos e estados de compactação (KLEIN, 2008). As alterações nas propriedades físicas do solo devido a compactação causam nas plantas redução no comprimento do sistema radicular e aumento no seu diâmetro, como conseqüência do aumento da resistência mecânica que as raízes têm que vencer para crescerem (SANTOS et al., 2005).

Outro fator que limita o desenvolvimento das plantas é a acidez do solo. O efeito da acidez do solo sobre as plantas provém principalmente pelas alterações químicas, entre elas, a solubilização na solução do solo do alumínio, manganês e ferro atingindo níveis tóxicos, assim como a complexação de alguns elementos essenciais, sendo o fósforo o mais importante. O alumínio em níveis tóxicos na solução do solo inibe o crescimento e o desenvolvimento das raízes, alterando a absorção de água e nutrientes, e por consequência o desenvolvimento das plantas é reduzido (KOCHIAN et al, 2004).

O maior do interesse sobre a cultura do pinhão-manso para a produção de biodiesel requer mais informações sobre a cultura. Desta forma, este trabalho teve por objetivo avaliar o efeito de densidade de solo e doses de calcário no desenvolvimento inicial do pinhão-manso. Foram conduzidos dois experimentos e cada um constituiu um artigo dessa dissertação.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 Cultura do pinhão-manso: alternativa para produção de biodiesel**

O pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) é uma espécie oleaginosa importante para a produção de biodiesel (ARRUDA et al., 2004). O teor de óleo presente na suas sementes, que varia entre 30 e 40 % e com produção anual de 1.100 e 1.700 L ha<sup>-1</sup> (NUNES, 2007). Com a possibilidade do uso do óleo do pinhão-manso para a produção do biodiesel, abrem-se amplas perspectivas para o crescimento das áreas de plantio.

A substituição de parte do diesel, proveniente do petróleo, pelo biodiesel originário do pinhão-manso beneficiará tanto o meio ambiente como também atenderá a uma questão social, por criar postos de trabalho. O benefício para o ambiente está intimamente relacionado com a diminuição dos níveis de gases que contribuem para o aquecimento global. Além disso, o biodiesel possui menor concentração de enxofre, elemento químico que causa o cheiro forte característico do diesel comum e ainda polui o meio ambiente (MÜLLER et al., 2008).

#### **2.1.1 Origem do pinhão-manso**

O pinhão manso tem a sua origem ainda bastante discutida. É provável que o pinhão-manso tenha seu centro de origem na América Central (HELLER, 1996; BELTRÃO, 2005).

A espécie possui vasta distribuição geográfica, devido a sua rusticidade e tolerância à seca e às longas estiagens, adaptável às adversidades de solo e clima, sendo seu desenvolvimento favorecido por altas temperaturas e umidade, como também por solos mais férteis. Sobrevivem em condições adversas, mas com significativa redução da produção (RESENDE et al., 2009).

Sua nomenclatura foi dada pelo botânico Carl Linnaeus em 1753, onde o nome *Jatropha* vem das palavras gregas iatrós (médico) e trophé (alimento); que mostrava o seu uso medicinal à época (HELLER, 1996). Segundo Gusmão (2010), a *J. curcas* é conhecida popularmente como pinhão-manso, pinhão paraguaio, pinhão-de-purga, purgante de cavalo, mandiguaçu, fogo do inferno (Brasil), physic

nut e purging nut (inglês), pourghère (França), pinoncillo (México), tempate (América Central), kadam (Nepal), sabudam (Tailândia) e purguera (Portugal).

### **2.1.2 Características botânicas e morfológicas**

O pinhão-manso pertence à família das Euforbiáceas, a mesma da mandioca, mamona e seringueira. É um arbusto perene, de crescimento rápido, caducifólio, cuja altura normal é dois a três metros, mas pode alcançar até cinco metros (BRASIL, 1985).

O diâmetro do tronco é de aproximadamente 20 cm; caule liso, de lenho mole e medula desenvolvida, mas pouco resistente; floema com longos canais que se estende até as raízes, nos quais circula o látex, suco leitoso que corre com abundância de qualquer ferimento. O tronco é dividido desde a base, em compridos ramos, com numerosas cicatrizes produzidas pela queda das folhas na estação seca, as quais ressurgem logo após as primeiras chuvas (DIAS et al., 2007; BRASIL, 1985).

O sistema radicular do pinhão-manso possui raiz pivotante e raízes secundárias pouco ramificadas e de tamanho variados de acordo com a projeção da copa (GUSMÃO, 2010). Plantas de pinhão-manso com 17 meses possuem cerca de 50 % das raízes concentradas na camada de 0 a 3 cm e mais de 80 % das raízes na camada de 0 a 6 cm. Cerca de 50 % das raízes concentram-se até 50 cm distante horizontalmente do caule e 80 % encontram-se até 75 cm do caule (ARRUDA et al., 2009 apud GUSMÃO, 2010).

As folhas do pinhão-manso são verdes, esparsas, brilhantes, largas e alternas, em forma de palma com três a cinco lóbulos e pecioladas. As nervuras são esbranquiçadas e salientes na face inferior. A planta é monóica, com flores masculinas e femininas na mesma inflorescência. As flores masculinas, em maior número, nas extremidades das ramificações e femininas na base delas (DIAS et al., 2007).

É uma planta alógama, ou seja, de fecundação cruzada em que a polinização é feita por insetos. Isso aumenta a variabilidade genética das plantas em cultivo, permitindo ao melhoramento genético selecionar caracteres de interesse agrônômico como a produtividade, resistência às doenças e pragas, precocidade de

produção, menor porte e também com uniformidade de floração e de maturação dos frutos (MARQUES e FERRARI, 2008).

Os frutos são do tipo cápsula ovóide, com 1,5 a 3,0 cm de diâmetro, trilocular, contendo via de regra três sementes, sendo uma semente por lóculo. Os frutos secos apresentam o epicarpo de coloração preta e em fase de deiscência, mesocarpo seco (NUNES, 2007).

As sementes têm de 1,5 a 2,0 cm de comprimento e 1,0 a 1,3 cm de largura, de coloração preta. Apresentam teor de óleo variando entre 30 e 40 % e representam entre 53 e 79 % do peso do fruto (SATURNINO et al., 2005).

### **2.1.3 Fenologia da planta**

O ciclo produtivo do pinhão-manso é variável, devido a sua variabilidade genética e também da forma de plantio. A implantação da cultura pode ser feita vegetativamente ou por sementes. Plantas oriundas de estaquia proporcionam maior homogeneidade entre as plantas, e início do ciclo reprodutivo mais curto, mas resultando um sistema radicular mais sensível e superficial. A propagação a partir de sementes tem a desvantagem de originar plantas desuniformes, no entanto, apresentando sistema radicular mais profundo com raiz pivotante e abundante, que resulta em plantas mais estabilizadas e com maior potencial para a obtenção de água e nutrientes explorando volume maior do solo (SATURNINO et al., 2005).

Na figura 1 é apresentado o ciclo de desenvolvimento do pinhão-manso no primeiro de cultivo nas condições do Brasil. A fase de germinação inicia-se com a semeadura e dura em torno de 0 a 10 dias após a semeadura (DAS); a fase de produção de mudas varia de 10 a 40 DAS; o ciclo vegetativo varia de 0 a 120 dias após o plantio (DAP) da muda; o florescimento varia de 120 a 150 DAP e a produção de frutos de 150 a 210 DAP.

De acordo com Arruda et al. (2004) o início da produção do pinhão-manso é por volta do décimo mês após o plantio, mas a produção só atinge a plenitude por volta do terceiro ou quarto ano, podendo chegar aos 40 anos de produção.

O ciclo completo de reprodução do pinhão-manso desde o surgimento da inflorescência até o amadurecimento pleno do fruto na planta tem duração média de 120 dias (SANTOS et al., 2010).

A poda é uma prática importante no cultivo do pinhão-manso, pelo fato deste apresentar suas estruturas reprodutivas nos ápices dos ramos. Dessa forma, aumentando o número de ramos, aumenta-se também o número de flores resultando em maior produtividade. Além disso, o controle do tamanho da copa favorece a colheita (MELO et al., 2008).



Figura 1. Ciclo de desenvolvimento do pinhão-manso no primeiro ano de cultivo nas condições do Brasil (LAVIOLA, 2012).

## 2.2 Densidade do solo e seu efeito no desenvolvimento de plantas

O crescimento das plantas é afetado diretamente ou indiretamente por vários fatores, dentre eles estão os atributos de solo, da planta, dos sistemas de manejo e do clima. Alguns fatores podem ser controlados, outros não, por exemplo, os fatores climáticos.

Os fatores de solo que influem no crescimento das plantas podem ser classificados quanto a sua natureza em físicos, mineralógicos, químicos e biológicos. Dentre dos fatores de natureza física, destacam-se a estrutura e a textura do solo (MEURER, 2007).

As propriedades do solo como a densidade, porosidade, umidade, taxa de infiltração de água, erodibilidade, por exemplo, estão intimamente associadas à estrutura e a textura do solo e podem tanto estimular como inibir o crescimento das plantas (MEURER, 2007).

A densidade do solo é definida como sendo a relação de sua massa de sólidos por seu volume. Sendo afetada pelos sistemas de manejo do solo, que alteram a estrutura (KLEIN, 2008).

A densidade do solo depende da natureza, das dimensões e da forma como se acham dispostas as partículas do mesmo. Nos solos minerais os valores da densidade do solo oscilam de 1,1 a 1,6 kg dm<sup>-3</sup> e, nos solos orgânicos, a densidade é inferior, entre 0,6 e 0,8 kg dm<sup>-3</sup>. A amplitude de variação situa-se dentro dos limites médios: solos argilosos, de 1,00 a 1,25 kg dm<sup>-3</sup>; solos arenosos de 1,25 a 1,40 kg dm<sup>-3</sup>; solos húmiferos, de 0,75 a 1,00 kg dm<sup>-3</sup> e solos turfosos, de 0,20 a 0,40 kg dm<sup>-3</sup> (SANTANA, 2009).

A alteração na densidade do solo reflete-se diretamente na expansão radicular, uma vez que a modificação da estrutura influi na porosidade, no volume de água disponível e no teor de oxigênio do solo, em consequência do aumento da resistência do solo a penetração de raízes.

De acordo com Materechera et al. (1992), a resistência mecânica do solo causa aumento do diâmetro das raízes na camada compactada por provocar modificações morfológicas e fisiológicas, específicas a cada espécie.

Em solos compactados, o menor desenvolvimento do sistema radicular resulta em menor volume de solo explorado pelas raízes e, conseqüentemente, em menor absorção de água e nutrientes (HAKANSSON et al. 1998).

Segundo Queiroz-Voltan et al. (2000), em solos compactados as raízes das plantas não utilizam adequadamente os nutrientes disponíveis, uma vez que o desenvolvimento de novas raízes, responsáveis pela absorção de água e nutrientes, fica prejudicado.

### **2.3 Alumínio no solo e seu efeito sobre o desenvolvimento de plantas**

A maioria dos solos brasileiros apresenta limitações ao estabelecimento e desenvolvimento dos sistemas de produção de grande parte das culturas, em decorrência dos efeitos da acidez.

A acidez do solo é resultante do equilíbrio entre os fatores intensidade, quantidade e capacidade ou poder tampão desta acidez. O fator intensidade refere-se à atividade de H<sup>+</sup> na solução do solo. O fator quantidade relaciona-se com a concentração de H e de Al adsorvidos aos colóides e que podem ser desorvidos da fase sólida da neutralização e precipitação destes cátions na solução do solo (SOUSA et al, 2007).

O alumínio é o terceiro elemento mais abundante na litosfera, após oxigênio e o silício, compondo 8 % da crosta terrestre. Na fase sólida do solo, o Al ocorre na forma de minerais primários e secundários (ROSSIELO e JACOB NETTO, 2006).

A toxidez do Al em plantas é considerada um dos principais fatores que limitam a produtividade das plantas em solos ácidos, que compreendem cerca de 50 % de toda área potencialmente arável do mundo (KOCHIAN et al., 2004). Em solos com pH em água menores que 5,5, a dissolução das formas sólidas do Al tende a aumentar, ocorrendo formas iônicas na solução do solo (GEORGE et al, 2012).

Os efeitos fitotóxicos causados pelo Al são altamente dependentes de pH, concentrações de sais, compostos orgânicos, temperatura e espécie vegetal, fatores que podem ser alterados de acordo com a natureza da composição química do substrato ou da espécie estudada (CAMARGO e FURLANI, 1989).

O efeito da toxidez se manifesta, inicialmente, pela redução na taxa de crescimento das raízes. A exposição contínua ao Al produz alterações morfológicas características, como o engrossamento e o encurtamento das raízes, o qual possuem aspecto quebradiço, com desenvolvimento de coloração castanha, principalmente na região apical. O Al também induz a alterações na arquitetura do sistema radicular, reprimindo o crescimento das laterais, conduzindo, portanto, a sistemas radiculares com menor área e volume, e também menor formação de pêlos radiculares (ROSSIELO e JACOB NETTO, 2007).

Como efeitos fisiológicos e bioquímicos têm-se o aumento na viscosidade do protoplasma das células das raízes com conseqüente decréscimo na permeabilidade à água, sais e corantes, redução na habilidade de uso de sacarose para a formação de polissacarídeos nas paredes celulares; inibição de desidrogenase isocítrica, enzimas málicas, redução da fosforilase de açúcares, respiração e síntese de DNA; efeito na absorção e utilização de nutrientes, principalmente de Ca e P (SOUSA et al., 2007).

A pesquisa tem distinguido os mecanismos de tolerância ao Al em duas classes principais: aqueles que atuam no sentido de impedir a entrada do Al pela raiz e aqueles que permitem a planta acumular o Al em locais específicos na planta. A maior parte das pesquisas está focada na exclusão do Al pela exsudação de ácidos orgânicos ativados pela presença do Al no ápice da raiz. Porém, evidências vêm sendo acumuladas num mecanismo de tolerância baseado na desintoxicação interna, onde o Al seria complexado pelos ácidos orgânicos (HARTWIG et al., 2007).

A ativação dos ácidos orgânicos pelo Al ocorre numa região muito específica, a poucos milímetros do ápice da raiz. É um processo que ocorre de forma muito rápida. O contínuo processo de exsudação de ácidos orgânicos (malato, citrato e oxalato) promove a elevação de sua concentração na camada superficial do ápice radicular a níveis que quelatizam e desintoxicando uma fração significativa de Al na rizosfera em contato com o ápice radicular, prevenindo sua entrada na raiz. A exsudação do ácido continua, juntamente com o crescimento das raízes no solo, mantém a quelatização como barreira sempre que novas regiões ácidas no solo são encontradas (DELHAIZE et al., 1993).

A fitotoxicidade por Al é reduzida pela ligação deste elemento com ligantes orgânicos, particularmente os ácidos orgânicos. A capacidade desintoxicante destes ácidos decresce na seguinte ordem citrato > oxalato > malato > ácido succínico, devido ao diferencial de estabilidade do complexo com Al (GEORGE et al, 2012).

Hartwig et al. (2007), em revisão sobre os mecanismos associados a tolerância ao Al, observaram na literatura que existem genótipos tolerantes ao Al em várias espécies de plantas. Da mesma forma, existe uma especificidade do ácido orgânico que desempenha a resposta de tolerância ao Al entre as diferentes espécies. No milho, cevada, soja, fumo e sorgo o ácido orgânico exsudado é o citrato. O malato e o citrato são exsudados pelo centeio, triticale, aveia e nabo. O trigo sarraceno exsuda do ácido orgânico oxalato.

Mais recentemente os pesquisadores têm dado atenção especial a espécies de plantas que apresentam a capacidade de acumular elevadas quantidades de Al em seus tecidos, como meio de desintoxicação interna do Al nas plantas. Exemplo destas espécies é a hortênsia (*Hortensia macophylla*), o trigo sarraceno (*Fagopyrum esculentum*) e a *Camellia sinensis* que acumulam Al em seus tecidos (ZHENG et al., 1998; GEORGE et al., 2012).

A hortênsia é uma planta ornamental que torna suas pétalas do vermelho ao azul quando o solo é acidificado. A alteração na cor é dada pela acumulação de complexos de Al nas pétalas. Esta espécie pode acumular até 3000 mg kg<sup>-1</sup> de Al em suas folhas e pétalas, complexado com citrato (MA et al., 1997).

A tolerância ao Al é atribuída a complexação simplástica do Al por ligantes orgânicos, particularmente ácidos. A rápida transferência do Al para o simplasto contribui para manter baixa a atividade do Al no apoplasto (GEORGE et al., 2012).

## 2.4 Referências

- ARRUDA, F. P.; BELTRÃO, N. E. DE M.; ANDRADE, A. P. de; PEREIRA, W. E. & SEVERINO, L. S. Cultivo de pinhão manso (*Jatropha curcas* L.) como alternativa para o semi-árido nordestino. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**, 8:789-799, 2004.
- BELTRÃO, N. E. M. Agronegócio das oleaginosas no Brasil. **Informe Agropecuário**, 26: 44-78, 2005.
- BRASIL.Ministério da Indústria e do Comércio. Secretária de Tecnologia Industrial. **Produção de combustíveis líquidos a partir de óleos vegetais**. Brasília: STI/CIT, 1985. 364 p. (Documentos, 16).
- CAMARGO, O. A.; FURLANI, P. R. Alumínio no solo: concentração, especiação e efeito no desenvolvimento radicular. In: **SIMPÓSIO AVANÇADO DE SOLOS E NUTRIÇÃO DE PLANTAS**, 2., Piracicaba, 1989. Anais. Campinas, Fundação Cargill, 1989. p.45-69.
- DELHAIZE, E.; CRAIG, S.; BEATON, C. D.; BENNET, R. J.; JAGADISH, V. C.; RANDALL, P. J. Aluminum tolerance in wheat (*Triticum aestivum* L.): I. Uptake and distribution of aluminum in root apices. **Plant Physiology**, 103:685-693, 1993.
- DIAS, L. A. S.; LEME, L. P.; LAVIOLA, B. G.; PALLINI FILHO, A.; PEREIRA, O. L.; CARVALHO, M.; MANFIO, C. E.; SANTOS, A. S.; SOUSA, L. C. A.; OLIVEIRA, T. S. & DIAS, D. C. F. S. **Cultivo de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) para produção de óleo combustível**. Viçosa, MG, 2007. v.1. 40p.
- EMBRAPA ALGODÃO, **Pesquisas Realizadas pela Embrapa Algodão e Parceiros com o Pinhão Manso (*Jatropha curcas* L.)** Documentos, 199. Embrapa: Campina Grande, 2008.
- GEORGE, E.; HORTS, W. J.; NEUMANN, E. Adaptation of plants to adverse chemical soil conditions. In: MARSCHNER, P., ed. **Marschner's mineral nutrition of higher plants**. 3 ed. Academic Press: London, 2012. 409-472 p.
- GUSMÃO, C. A. G. **Desempenho do pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) de segundo ano submetido a diferentes doses e relações NPK**. Dissertação mestrado. Universidade Estadual de Montes Claros, 2010. 81p.
- HAKANSSON, I.; STENBERG, M.; RYDBERG, T. Long term experiments with different depths of mouldboard plough in Sweden. **Soil and Tillage Research**, 46:209-223, 1998.
- HARTWIG, I.; OLIVEIRA, A.C.; CARVALHO, F. I. F.; BERTAN, I.; SILVA, J. A. G.; SCHMIDT, D. A. M.; VALÉRIO, I. P.; MAIA, L. C.; FONSECA, D. N. R.; REIS, C. E. S. Mecanismos associados à tolerância ao alumínio em plantas. **Semina Ciências Agrárias**, 28: 219-228, 2007.

HELLER, J. Physic nut (*Jathopa curcas* L.). Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops 1. **IBPGR 161**. Roma, IBPGR, 1996, 66p.

KLEIN, V. **Física do solo**. Passo Fundo: Universidade de Passo Fundo, 2008, 212p.

KOCHIAN, L. V.; HOEKENGA, O. A. & PIÑEROS, M. A. How do cropplants tolerate acid soils? Mechanisms of aluminum tolerance and phosphorous efficiency. **Annual Review of Plant Physiology and Molecular Biology**, 55:459-493, 2004.

LAVIOLA, B. G. **Nutrição mineral e adubação do pinhão-manso**. Disponível em: <[http://www.corpoica.org.co/SitioWeb/Documento/JatrophaContrataciones/5Bruno\\_Laviola-EMBRAPA.pdf](http://www.corpoica.org.co/SitioWeb/Documento/JatrophaContrataciones/5Bruno_Laviola-EMBRAPA.pdf)>. Acesso em 15 mai. 2012.

LINDEMANN, C. Corrente elétrica. In: **Anuário Brasileiro de Agroenergia**: Santa Cruz do Sul, 2008. p. 128.

MA, J. F.; HIRADATE, S.; NOMOTO, K.; IWASHITA, T. & MATSUMOTO, H. Internal detoxification mechanism of Al in hydrangea (Identification of Al form in the leaves). **Plant Physiology**, 113:1033-1039, 1997.

MARQUES, D. de A. & FERRARI, R. A. O Papel das Novas Biotecnologias no Melhoramento Genético do Pinhão Manso. **Biológico**. 70:65-67, 2008.

MATERECHERA, S. A., ALSON, A. M.; KIRBY, J. M. & DEXTER, A. R. Influence of root diameter on the penetration of seminal roots into a compacted subsoil. **Plant and Soil**, 144:297-303, 1992.

MELO, R. D.; LEE, G. T. S. & MASSARO, R. I. Influência da Poda na Produção de Pinhão Manso (*Jatropha Curcas* L.). In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 16, 2008, São Carlos. **Anais...** Universidade Federal de São Carlos, p. 381, 2008.

MEURER, E. J. Fatores que influenciam a crescimento e desenvolvimento das plantas. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B. & NEVES, J. C. L., ed. **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 65-90.

MÜLLER, J. A. CARGNIN, A.; MELLO, F. D. A. & ALBRECHT, J. C. Crescimento e desenvolvimento inicial de mudas de pinhão manso. In: **II SIMPÓSIO INTERNACIONAL SAVANAS TROPICAIS E XI SIMPÓSIO NACIONAL CERRADO**, Brasília. 2008. II Simpósio Internacional Savanas Tropicais E XI Simpósio Nacional Cerrado, 2008.

NUNES, L. F. 2007. **Caracterização de frutos, sementes e plântulas e cultivo de embriões de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.)**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Lavras, Brasil, 78p.

QUEIROZ-VOLTAN, R. B.; NOGUEIRA, S. S. S. & MIRANDA, M. A. C. Aspectos da estrutura da raiz e do desenvolvimento de plantas de soja em solos compactados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 35:929-938, 2000.

RESENDE, J. C. F., AZEVEDO PIMENTEL, R. M., JUHÁZS, A. C. P. & SILVA, V. A. Pinhão manso. In: MONTEIRO, J. E. B. A., ed. **Agrometeorologia dos cultivos: O fator meteorológico na produção agrícola**. Brasília, DF: Instituto Nacional de Meteorologia, 2009. p. 465-476.

ROSSIELLO, R. O. P. & NETTO, J. J. Toxidez de alumínio em plantas: novos enfoques para um velho problema. In: FERNANDES, M. S., ed. **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006.

SANTANA, S. C. **Indicadores físicos da qualidade de solos no monitoramento de pastagens degradadas na região sul do Tocantins**. 2009. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Tocantins . 74p.

SANTOS, C. M. DOS; ENDRES, L; WANDERLEY FILHO, H. C.; DE L.; ROLIM, E. V. & MARQUES FERREIRA, V. Fenologia e crescimento do pinhão-manso cultivado na zona da mata do Estado de Alagoas, **Scientia Agraria**, 11:201-209, 2010.

SANTOS, G. A.; SOUZA, C. A. S.; DIAS JUNIOR, M. S.; FURTINI NETO, A. E. & GUIMARÃES, P. T. G.. Diferentes graus de compactação e fornecimento de fósforo influenciando no crescimento de plantas de milho (*Zea mays* L.) cultivadas em solos distintos. **Ciência Agrotecnológica**, 9:740-752, 2005.

SATURNINO, H. M.; PACHECO, D. D.; KAKIDA, J.; TOMINAGA, N. & GONÇALVES, N. P. Cultura do Pinhão Manso (*Jatropha curcas* L.). **Informe Agropecuário**, 26: 44-78, 2005.

SOUSA, D. M. G.; MIRANDA, L. N. & OLIVEIRA, S. A. de. Acidez do solo e sua correção. In: NOVAIS, R. F., ed. **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007.1017 p.

ZHENG, S. J.; MA, J. F. & MATSUMOTO, H. High aluminum resistance in buckwheat: I. Al-induced specific secretion of oxalic acid from root tips. **Plant Physiology**, 117:745-751, 1998.

### 3 INFLUÊNCIA DA DENSIDADE DO SOLO NO DESENVOLVIMENTO INICIAL DO PINHÃO-MANSO CULTIVADO EM LATOSSOLO VERMELHO EUTROFÉRRICO

#### 3.1 Resumo

A compactação do solo é um problema comum que influi no crescimento e na produtividade de diversas culturas. Neste trabalho teve-se como objetivo avaliar a influência da densidade do solo no desenvolvimento inicial da cultura do pinhão-manso. O experimento foi realizado em vasos de 10,6 dm<sup>3</sup> de volume, em casa de vegetação. O solo utilizado foi o Latossolo Vermelho eutroférico de textura argilosa coletado em Marechal Cândido Rondon – PR. O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, composto pelos cinco níveis de densidade do solo (1,08; 1,22; 1,36; 1,50 e 1,64 kg dm<sup>-3</sup>) em quatro repetições. Após 120 dias da emergência das plantas, avaliou-se o número de folhas, altura de planta, diâmetro de caule, área foliar, comprimento da raiz, volume radicular, produção de matéria seca de folhas+pecíolos, caule, raízes, planta inteira, relação raiz/parte aérea, densidade de raízes e o conteúdo de P, K, Ca e Mg. Houve redução de 25 % na altura das plantas na densidade de 1,64 kg dm<sup>-3</sup> quando comparado a densidade de 1,08 kg dm<sup>-3</sup>. Houve redução de aproximadamente 24 %, 35 %, 54 % e 66 % no comprimento radicular para as densidades de 1,22; 1,36; 1,50 e 1,64 kg dm<sup>-3</sup> respectivamente, quando comparadas a densidade de 1,08 kg dm<sup>-3</sup>. A limitação do desenvolvimento da parte aérea ocorreu a partir da densidade estimada de 1,26 kg dm<sup>-3</sup>, com redução do número de folhas, área foliar e produção de matéria seca da parte aérea. O desenvolvimento do sistema radicular e o conteúdo de P e K nas plantas de pinhão-manso reduziram linearmente com o aumento da densidade do solo.

Palavras-chave: *Jatropha curcas* L.; compactação do solo, resistência a penetração.

### 3.2 Abstract

#### INFLUENCE OF SOIL DENSITY ON THE PHYSIC NUT CULTIVATED IN OXISOL

Compaction is a common problem that affects both the growth and productivity of several crops. The aim of this work was to evaluate the initial development of the physic nut (*Jatropha curcas* L.) under different bulk densities. The experiment was carried in pots under greenhouse conditions. The soil was an Oxisol collected in Marechal Cândido Rondon, Paraná State, Brazil. The experimental design was randomized blocks, consisting of five levels of soil bulk density (soil densities: 1.08, 1.22, 1.36, 1.50 and 1.64 kg dm<sup>-3</sup>) with four repetition. After 120 days of plant emergence, we evaluated the number of leaves, plant height, stem diameter, leaf area, root length, root volume, dry weight of leaves + petioles, stems, roots and whole plant. There was a 25% reduction in plant height at a density of 1.64 kg dm<sup>-3</sup> when compared to density of 1.08 kg dm<sup>-3</sup>. There was a reduced approximately 24%, 35%, 54% and 66% for the root length to the densities of 1.22, 1.36, 1.50 and 1.64 kg dm<sup>-3</sup>, respectively, when compared with density of 1.08 kg dm<sup>-3</sup>. Limitation of shoot development was observed from the estimated density 1.26 kg dm<sup>-3</sup>, reducing the number of leaves, leaf area and dry weight of shoots. The root system development and content of P and K in plants of physic nut decreased linearly with increasing density.

Key-words: *Jatropha curcas* L.; soil compaction; penetration resistance.

### 3.3 Introdução

O pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) é uma espécie oleaginosa considerada como uma alternativa para a produção de biodiesel (ARRUDA et al., 2004). O teor de óleo presente na suas sementes, que varia entre 30 e 40% e com produção anual de 1.100 e 1.700 L ha<sup>-1</sup> (NUNES, 2007). Este óleo apresenta variações pouco significativas de acidez, estabilidade à oxidação e boa viscosidade (TAPANES; ARANDA; CARNEIRO, 2007). Assim, com a possibilidade do uso do óleo do pinhão-manso para a produção do biodiesel, abrem-se perspectivas para o crescimento das áreas de plantio dessa oleaginosa.

O pinhão-manso é uma espécie perene e monóica, pertencente à família das Euforbiáceas. É originário da América Central e encontrado em diversas regiões do Brasil (BELTRÃO, 2005). É um arbusto de crescimento rápido, caducifólio, cuja altura é dois a três metros, mas pode alcançar até cinco metros (ARRUDA et al., 2004; SATURNINO et al., 2005).

Para Laviola e Dias (2008), os resultados de pesquisas com a cultura do pinhão-manso são ainda incipientes e preliminares. Todavia, observa-se expansão da área cultivada com essa espécie. Porém, para se obter alta produtividade de frutos é necessária boa disponibilidade de água, solos férteis e boas condições físicas.

As propriedades físicas do solo são alteradas principalmente pelas condições de manejo. O revolvimento ou a compactação do solo são as principais formas de alterar a sua estrutura, refletindo-se em modificações na sua densidade (SILVA et al., 2004).

As propriedades do solo como a densidade, porosidade, teor de umidade, taxa de infiltração de água estão intimamente associadas à estrutura e a textura do solo e podem tanto estimular como inibir o desenvolvimento das plantas (MEURER, 2007).

O crescimento de raízes ocorre no espaço poroso do solo, o crescimento pode ser reduzido ou inexistente com o aumento da densidade do solo, resultando no aumento da resistência do solo a penetração das raízes (BONFIM-SILVA et al., 2011).

De acordo com Secco et al. (2004), os valores de resistência do solo de até 2,60 MPa e densidade 1,51 kg dm<sup>-3</sup> em Latossolo Vermelho distroférico, na camada

até 0,20 m, não comprometeram o rendimento de grãos de soja, em condições de campo. Silva et al. (2002) verificaram em Latossolo Vermelho argiloso e Latossolo Vermelho-Amarelo franco-arenoso que a compactação do solo restringe o crescimento e aumenta o diâmetro médio de raízes de eucalipto, bem como reduz o acúmulo de K na planta.

De acordo com Materechera et al. (1992), a resistência mecânica do solo causa aumento do diâmetro das raízes na camada compactada por provocar modificações morfológicas e fisiológicas, específicas a cada espécie.

O aumento da densidade do solo afeta a velocidade de infiltração da água no solo e a absorção de nutrientes pela cultura da mamoneira (COSTA, NUNES JUNIOR E MELO FILHO, 2010. Vale, Severino e Beltrão (2006) verificaram redução no desenvolvimento do pinhão-manso quando submetido às diferentes níveis de densidade em solo arenoso.

Além dos efeitos da densidade do solo sobre o desenvolvimento das plantas, há sua interferência na absorção de nutrientes. A compactação tem efeito negativo na porosidade do solo, o que afeta a disponibilidade de nutrientes para as plantas. Isto tem efeito nos mecanismos de fluxo de massa e difusão, responsáveis pelo transporte de nutrientes até as raízes. São processos dependentes da estrutura do solo. Além de alterar os mecanismos pelos quais os nutrientes são transportados no solo, a compactação também pode afetar a quantidade de nutrientes disponíveis (MEDEIROS et al., 2005).

A compactação aumenta a interação do íon de fosfato e de potássio com a superfície dos colóides, ao longo de sua trajetória de difusão, fazendo com que estes elementos tenham que se difundir cada vez mais próximo da superfície que os adsorvem (NOVAIS e SMYTH, 1999).

O aumento da densidade do solo promoveu redução na concentração de fósforo no tecido vegetal para a cultura do feijoeiro (ALVES et al., 2003) e de fósforo e potássio para a cultura do arroz (MEDEIROS et al., 2005).

Considerando a variação da diversidade dos solos brasileiros, ressalta-se a importância da realização de estudos quanto ao desenvolvimento cultura do pinhão-manso em diferentes classes e densidades de solo. Assim, este trabalho teve por objetivo avaliar a influência da densidade do solo no desenvolvimento inicial da cultura do pinhão-manso cultivado em Latossolo Vermelho eutroférico.

### 3.4 Material e Métodos

O presente experimento foi desenvolvido em casa de vegetação localizada nas dependências do Centro de Controle Biológico e Cultivo Protegido Prof. Dr. Mário Cezar Lopes, pertencente ao Núcleo de Estações Experimentais do Centro de Ciências Agrárias da UNIOESTE, no município de Marechal Cândido Rondon - PR. O solo utilizado foi coletado em Marechal Cândido Rondon - PR, o qual foi destorroado e peneirado. O solo foi classificado como Latossolo Vermelho eutroférico (EMBRAPA, 2006), com 576 g kg<sup>-1</sup> de argila, 401 g kg<sup>-1</sup> de silte e 23 g kg<sup>-1</sup> de areia, com densidade natural de 1,38 kg dm<sup>-3</sup>. A caracterização química do solo é descrita na tabela 1.

Tabela 1. Caracterização química do solo coletado para o experimento. UNIOESTE – Marechal Cândido Rondon – PR, 2011

P <sup>(1)</sup>	K <sup>(1)</sup>	Ca <sup>(2)</sup>	Mg <sup>(2)</sup>	Al <sup>3+(2)</sup>	H + Al <sup>(3)</sup>	CTC	SB
g dm <sup>-3</sup>	-----			cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	-----		
7,7	0,4	4,1	1,9	0,0	2,8	9,2	6,3
pH	m	V	MO <sup>(4)</sup>	Zn <sup>(1)</sup>	Mn <sup>(1)</sup>	Fe <sup>(1)</sup>	Cu <sup>(1)</sup>
CaCl <sub>2</sub>	-----%		g dm <sup>-3</sup>	----- mg dm <sup>-3</sup>			
5,5	0,0	69,1	8,9	2,6	68,0	78,0	10,7

<sup>(1)</sup> Extrator Mehlich - 1; <sup>(2)</sup> Extrator KCl 1 mol L<sup>-1</sup>; <sup>(3)</sup> pH SMP (7,5); <sup>(4)</sup> Método Walkey-Black; Análise realizada no Laboratório de Química Ambiental e Instrumental da Unioeste, Campus Marechal Cândido Rondon, PR.

As colunas de solo, com 60 cm de altura, foram montadas com tubos de PVC com 15 cm de diâmetro (volume de 10,6 dm<sup>3</sup>), fechada na base com tampa de PVC com quatro furos. As colunas foram preenchidas com quantidade de solo correspondente as densidades de 1,08; 1,22; 1,36; 1,50 e 1,64 kg dm<sup>-3</sup>. O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, com quatro repetições. A densidade do solo foi definida por meio de ensaio preliminar, no qual o solo correspondente as diferentes densidades foi umedecido (65 % da máxima capacidade de retenção de água do solo e teor de umidade de 20 %) e compactado nos vasos mediante a golpes com auxílio de um cilindro de ferro (massa: 11 kg), sendo os golpes de cada tratamento contabilizados e realizados a uma altura de 10 cm da amostra de solo.

A determinação da densidade do solo no ensaio preliminar foi realizada pelo método do anel volumétrico (EMBRAPA, 1997), este anel de volume conhecido foi colocado dentro da massa de solo a ser compactada. A resistência mecânica à

penetração do solo foi estimada a partir das leituras obtidas através de penetrômetro de impacto até à profundidade de 20 cm, por meio da fórmula utilizada por Stolf (1991) :  $RMSp = (3,87 + 9,60 * N) / 0,098$ . Onde: RMSp = Resistência mecânica do solo à penetração, em MPa; N = Número de impactos por decímetro de profundidade. Os resultados de resistência mecânica do solo à penetração foram de 1,40; 2,26; 2,77; 3,59 e 4,02 MPa, correspondentes às densidades do solo de 1,08; 1,22; 1,36; 1,50 e 1,64 kg dm<sup>-3</sup>, respectivamente.

A semeadura do pinhão-mansão foi realizada em quatro de janeiro de 2011, com quatro sementes por vaso, após 10 dias da emergência foi realizado desbaste, deixando-se apenas uma planta por vaso. As sementes de pinhão-mansão foram provenientes do município de Dourados, no estado do Mato Grosso do Sul, em área experimental do Centro de Pesquisas Agropecuária Oeste (CPAO), da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). A adubação do solo foi realizada com 170 mg dm<sup>-3</sup> de N (uréia), 296 mg dm<sup>-3</sup> de P (superfosfato simples) e 200 mg dm<sup>-3</sup> de K (cloreto de potássio), baseado nas recomendações de Dias et al. (2007). Realizaram-se duas adubações nitrogenadas de cobertura, aos 45 e 90 dias após a emergência, utilizando-se em cada aplicação 100 mg dm<sup>-3</sup> de N (uréia). O fornecimento de água as plantas foi por meio de rega diária.

O controle de doenças (ferrugem - *Phakospora arthuriana* Buriticá & Hennen) foi realizado com a aplicação de fungicida (tebuconazole - 200 g L<sup>-1</sup>) na dose de 0,75 L ha<sup>-1</sup>, aos 48, 70 e 95 dias após a emergência. Para controle de ácaros (*Polyphagotarsonemus latus* Banks) utilizou-se acaricida (abamectin - 18 g L<sup>-1</sup>) na dose de 1,0 L ha<sup>-1</sup>, aos 27, 47, 70 e 100 dias após a emergência da cultura.

Após 120 dias da emergência das plantas avaliou-se o número de folhas, altura de planta (cm) com auxílio de régua, desde o colo da planta até a inserção da última folha e diâmetro do caule com auxílio de paquímetro digital, mensurado a 7 cm do colo da planta. Posteriormente, as plantas foram cortadas na altura do colo e a parte aérea separada em caule e folhas. As folhas foram acondicionadas em sacos plásticos para análise da área foliar, com auxílio do equipamento LI-3100C Portable Leaf Area Meter.

Os vasos foram desmontados para a retirada do sistema radicular, mediante lavagem com água corrente com auxílio de peneira, sendo avaliado o comprimento da raiz principal com auxílio de regra graduada. O volume radicular obtido pelo deslocamento de água em proveta graduada de um litro.

As partes das plantas (folhas, caule e raízes) foram acondicionadas em sacos de papel, colocadas em estufa com circulação forçada de ar a 65°C, para secagem até peso constante e posterior quantificação de produção de matéria seca, utilizando-se balança de precisão. A relação raiz/parte aérea é a razão entre a produção de matéria seca de raízes e a produção de matéria seca de folhas + caule. A densidade de raízes é a razão entre a produção de matéria seca de raízes e o volume radicular.

Para a determinação de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) foram utilizadas amostras do material coletado para a avaliação da produção de matéria seca, estas foram moídas em moinho tipo Willey. Amostras de 0,2 gramas de tecido vegetal (folhas+pecíolos, caule e raízes) foram mineralizadas por digestão nítrico-perclórica na proporção de 3:1. Nos extratos, o P foi determinado pelo método do ácido ascórbico, modificado por Braga e Defelipo (1974); o K, por fotometria de emissão de chama; Ca e Mg por espectrofotometria de absorção atômica.

Os resultados obtidos foram submetidos a análise de variância e análise de regressão com auxílio do programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2000).

### **3.5 Resultados e Discussão**

O aumento da densidade do solo de 1,08 a 1,64 kg dm<sup>-3</sup> influenciou as variáveis número de folhas, área foliar e altura de plantas. Entretanto, não houve efeito significativo para o diâmetro de caule (Tabela 2). Observa-se para as variáveis número de folhas (Figura 1A) e área foliar (Figura 1B) efeito quadrático com o aumento da densidade do solo até a densidade de 1,26 kg dm<sup>-3</sup> para o número máximo de folhas (33 folhas/planta) e também o máximo de área foliar (2181,52 cm<sup>2</sup>). O diâmetro de caule não foi influenciado pelas densidades do solo, apresentando diâmetro médio de caule de 3,12 cm (Figura 1D).

Tabela 2. Resumo da análise de variância para número de folhas (NF), área foliar (AF), altura de planta (AP) e diâmetro de caule (DC). UNIOESTE – Marechal Cândido Rondon – PR, 2011

F.V.	GL	NF	AF (cm <sup>2</sup> )	AP (cm)	DC(cm)
			Quadrados médios		
Bloco	3	106,2 <sup>ns</sup>	32.174,27 <sup>ns</sup>	16,693 <sup>ns</sup>	1,000 <sup>ns</sup>
Densidade do solo	4	117,375*	419.365,79*	76,102**	1,625 <sup>ns</sup>
Erro	12	341,3	88.136,74	13,321	0,882
Total	19				
C.V. (%)		18,71	15,60	9,83	3,01
Média		28,5	1.902,76	37,12	3,12

\*significativo pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade, \*\*significativo pelo teste F ao nível de 1% de probabilidade, <sup>ns</sup> não significativo pelo teste F.

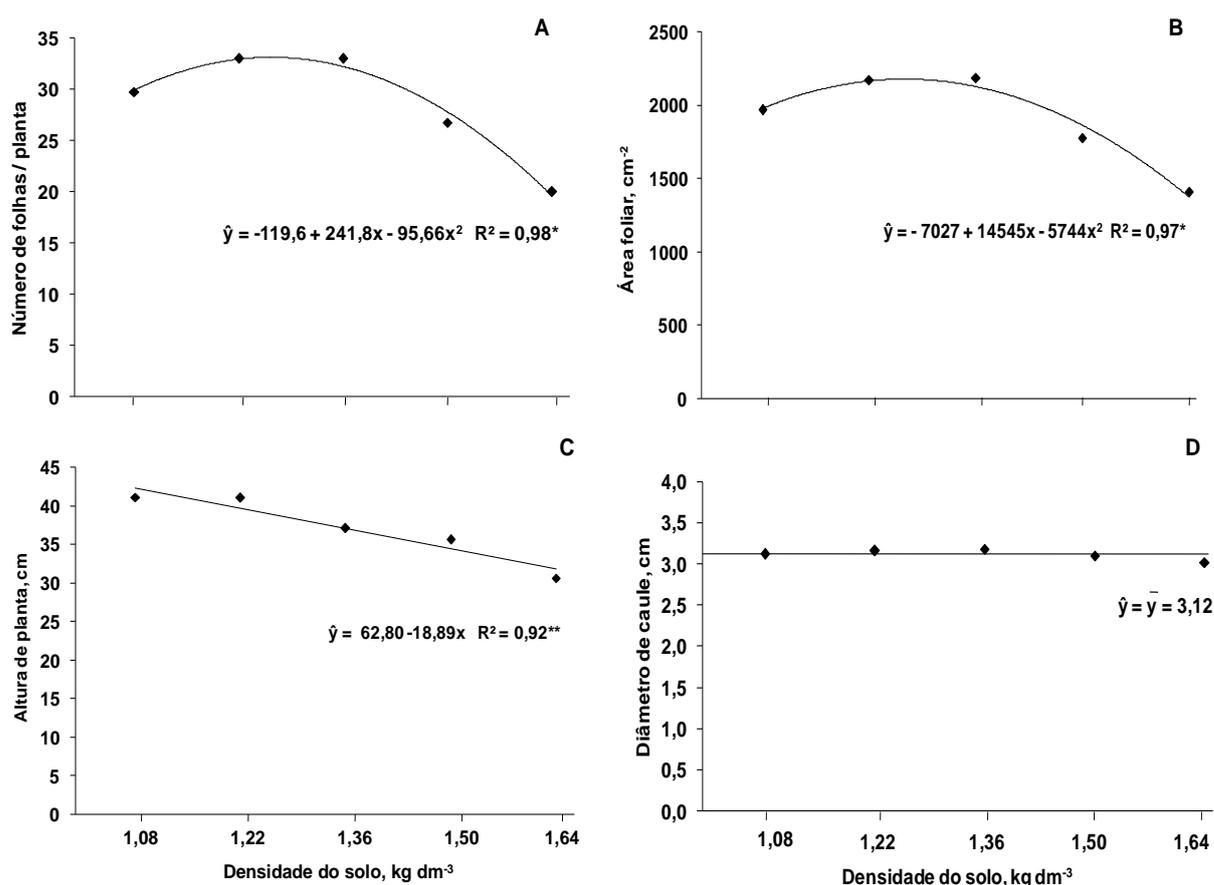


Figura 2. Número de folhas/planta (A), área foliar (B) altura de plantas (C) e diâmetro de caule (D) de pinhão-mansó em razão do aumento da densidade de solo. UNIOESTE – Marechal Cândido Rondon – PR, 2011. (\* significativo ao nível de 5 % de probabilidade, \*\* significativo ao nível de 1 % de probabilidade).

Bonfim-Silva et al. (2011) observaram efeito semelhante para o número de folhas e também para o número de perfilhos em plantas de trigo, sendo que as maiores produções foram observadas nos tratamentos 1,35 e 1,32 kg dm<sup>-3</sup>, respectivamente. Segundo os autores, esses níveis de compactação contribuíram para que os nutrientes do solo permanecessem ao alcance e disponíveis para as raízes da cultura.

A compactação do solo reduz a porosidade e a aeração do solo, aumentando a densidade e resistência do solo à penetração, dificultando o desenvolvimento radicular e aéreo da planta. No entanto, a baixa densidade do solo pode ser indicativo de um solo desagregado, que vem comprometer a retenção de água (SUZUKI et al., 2007).

A resistência do solo a penetração aumenta com a elevação da densidade do solo, sendo restritiva ao crescimento radicular acima de certos valores que variam de 1,5 a 4,0 MPa dependendo da espécie, pode-se citar que resistências a penetração em torno de 3,5 a 6,5 MPa, aparentemente, são as mais corretas para considerar que um solo está com possíveis problemas de impedimento mecânico (SILVA et al., 2004). Ressalta-se que no presente trabalho foram obtidos valores de resistência a penetração dentro desta faixa de restrição ao crescimento radicular.

A tendência linear decrescente demonstrada na variável altura de plantas, ressalta o efeito significativo da densidade do solo no desenvolvimento da cultura do pinhão-mansão. Houve redução de aproximadamente 25 % na altura das plantas na densidade de 1,64 kg dm<sup>-3</sup> quando comparado a densidade de 1,08 kg dm<sup>-3</sup> (Figura 1C). Souza et al. (2008) observaram redução significativa na altura de plantas de milho apenas na máxima densidade do solo (1,67 kg dm<sup>-3</sup>).

O aumento da densidade do solo afetou o comprimento radicular, o volume radicular, a produção de matéria seca de caule, raízes e planta inteira, relação raiz/parte aérea e densidade de raízes, com exceção da produção de matéria seca de folhas (Tabela 3).

O comprimento radicular, o volume radicular, a produção de matéria seca de raiz e a relação raiz/parte aérea apresentaram comportamento linear, decrescendo com o aumento da densidade do solo (Figura 3, Figura 4 A, 4 B, 4 E e 4 G).

Observou-se redução de aproximadamente 24 %, 35 %, 54 % e 66 % no comprimento radicular para as densidades de 1,22; 1,36; 1,50 e 1,64 kg dm<sup>-3</sup> respectivamente, quando comparadas a densidade de 1,08 kg dm<sup>-3</sup> (Figura 4 A).

Tabela 3. Resumo da análise de variância para comprimento radicular (CR), volume radicular (VR), produção de matéria seca de folha (MSF) produção de matéria seca de caule (MSC), produção de matéria seca de raiz (MSR), relação raiz/parte aérea (R/PA) e densidade de raízes (DR). UNIOESTE – Marechal Cândido Rondon – PR, 2011

F.V.	GL	CR (cm)	VR (cm <sup>3</sup> )	MSF (g)	MSC (g)
Quadrados médios					
Bloco	3	72,244 <sup>ns</sup>	30,000 <sup>ns</sup>	2,61 <sup>ns</sup>	17,848
Densidade do solo	4	1295,199 <sup>**</sup>	2696,875 <sup>**</sup>	30,101 <sup>ns</sup>	183,452 <sup>**</sup>
Erro	12	100,703	147,708	10,101	15,13
Total	19				
C.V.(%)		22,85	14,3	20,53	9,27
Média		43,92	85	15,48	41,97
FV	GL	MSR (g)	MST (g)	R/PA	DR (g cm <sup>-3</sup> )
Quadrados médios					
Bloco	3	2,004 <sup>ns</sup>	23,314 <sup>ns</sup>	0,001 <sup>ns</sup>	0,000 <sup>ns</sup>
Densidade do solo	4	92,693 <sup>**</sup>	772,287 <sup>**</sup>	0,007 <sup>**</sup>	0,001 <sup>*</sup>
Erro	12	4,461	54,654	0,001	0,000
Total	19				
C.V.(%)		11,82	9,81	9,69	6,08
Média		17,86	75,36	0,31	0,21

\*\*significativo ao nível de 1% de probabilidade, \* significativo ao nível de 5% de probabilidade, <sup>ns</sup> não significativo pelo teste F.



Figura 3. Sistema radicular de plantas de pinhão-manso em razão do aumento da densidade de solo. UNIOESTE – Marechal Cândido Rondon – PR, 2011.

O volume radicular foi severamente afetado pelo aumento da densidade do solo. Houve redução de 22 %, 17 %, 42 % e 56 % para as densidades de solo de 1,22; 1,36; 1,50 e 1,64 kg dm<sup>-3</sup> respectivamente, quando comparadas a densidade de 1,08 kg dm<sup>-3</sup> (Figura 4 B). O decréscimo na relação raiz/parte aérea com o aumento da densidade do solo, expressa que o menor crescimento radicular afetou o crescimento da parte aérea.

A produção de matéria seca de caule e a matéria seca total apresentaram resposta polinomial de segunda ordem (Figura 4 D e 4 F). Verificou-se que na densidade na 1,21 kg dm<sup>-3</sup> obteve-se maior produção de matéria seca de caule (47,37 g). Para a matéria seca total (Figura 4 F), observou-se maior produção de produção de matéria seca (87,08 g) na densidade de 1,12 kg dm<sup>-3</sup>.

A densidade de raízes, razão entre a matéria seca de raízes e volume radicular, aumentou linearmente à medida que a densidade do solo aumentou (Figura 4 H). Observou-se que na densidade do solo de 1,08 kg dm<sup>-3</sup> as raízes não tinham alterações na morfologia. Nas densidades do solo de 1,22 e 1,36 kg dm<sup>-3</sup> crescimento do sistema radicular em profundidade foi moderadamente afetado. Já para as densidades do solo de 1,50 e 1,64 kg dm<sup>-3</sup>, foram considerados os mais críticos para o crescimento das plantas de pinhão-manso, o sistema radicular teve dificuldade de se desenvolver e a raiz pivotante foi impedida de crescer. Assim, o sistema radicular tornou-se mais superficial com o aumento da densidade do solo.

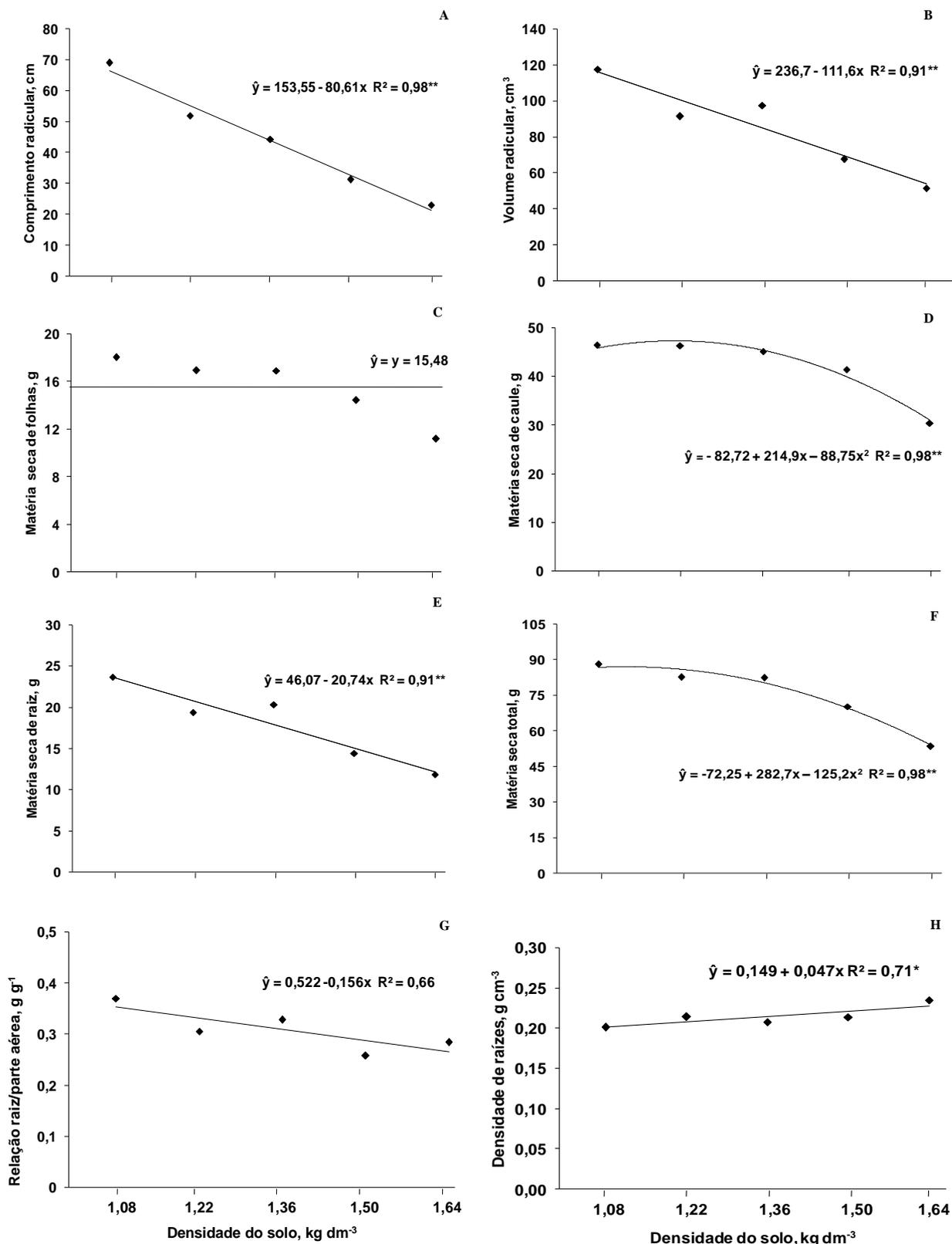


Figura 4. Comprimento radicular (A), volume radicular (B) produção de matéria de folhas (C) de caule (D), de raiz (E), produção de matéria seca total de planta (E), relação raiz/parte aérea (G) e densidade de raízes (H) de pinhão-mansão em razão do aumento da densidade de solo. UNIOESTE – Marechal Cândido Rondon – PR, 2011. (\*\* significativo ao nível de 1 % de probabilidade, \* significativo ao nível de 5 % de probabilidade).

Abreu et al. (2006) não encontraram efeito significativo do aumento da densidade do solo de 1,34 a 1,81 kg dm<sup>-3</sup> sobre a produção de matéria seca da parte aérea de plantas de pinhão-manso, após 37 dias do plantio, porém o crescimento radicular foi reduzido linearmente com o aumento da densidade do solo em subsuperfície.

Para a aveia branca, o aumento da densidade do solo proporciona redução na matéria seca da parte aérea, sendo significativamente menor na densidade 1,70 kg dm<sup>-3</sup> (MÜLLER et al., 2001). Para a cultura do eucalipto a produção de matéria seca foi negativamente afetada pelo aumento da compactação para os valores de densidade do solo de 0,91 a 1,30 kg dm<sup>-3</sup> em Latossolo Vermelho (SILVA, 2000).

Ribeiro et al. (2010) observaram que o aumento da densidade do solo de 0,90 a 1,30 kg dm<sup>-3</sup> em Latossolo Vermelho (LV) muito argiloso e de 1,30 a 1,70 kg dm<sup>-3</sup> em Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) de textura média, proporcionaram efeito depressivo no crescimento da soja e do eucalipto. A redução observada na parte aérea da soja foi de 50 % no solo LV e 26 % no LVA; para o eucalipto, esses valores foram de 52 % e 32 %, respectivamente.

Para Tavares Filho et al. (1999), a estrutura do solo é modificada em função da elevação da densidade do solo, sendo que os macroagregados são destruídos e o solo apresenta estrutura degradada, podendo impedir o crescimento de raízes e diminuir o volume de solo explorado pelo sistema radicular. Isso implica na redução do desenvolvimento da planta, o que foi observado na avaliação da produção de matéria seca.

Houve redução linear para conteúdo de P nas folhas e raízes e K nas raízes, com o aumento da densidade do solo (Tabela 4 e Figura 5). No entanto, não houve efeito significativo do aumento da densidade do solo para o conteúdo de Ca e Mg presente nas folhas, no caule e nas raízes de pinhão-manso (Tabela 4).

A difusão é o principal mecanismo de transporte do P e do K da solução do solo até a superfície radicular (MEURER, 2006). A absorção destes nutrientes pelas plantas cria uma zona depleção em torno das raízes e se a difusão é dificultada, não há reposição desses nutrientes na zona de absorção, refletindo em menor absorção dos mesmos (RAIJ, 2011).

Tabela 4. Resumo da análise de variância para conteúdo de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) nas folhas, no caule e nas raízes de pinhão-manso. UNIOESTE – Marechal Cândido Rondon – PR, 2011

FV	P			K		
	Folhas	Caule	Raízes	Folhas	Caule	Raízes
	Quadrados médios					
Bloco	36,16 <sup>ns</sup>	10,69 <sup>ns</sup>	2,23 <sup>ns</sup>	2368,02 <sup>ns</sup>	47429,82 <sup>ns</sup>	257,16 <sup>ns</sup>
Densidade do solo	172,22 <sup>*</sup>	139,76 <sup>ns</sup>	91,81 <sup>**</sup>	17197,28 <sup>ns</sup>	61269,61 <sup>ns</sup>	41923,71 <sup>**</sup>
Erro	32,98	46,25	4,84	8205,86	63556,57	1697,57
C.V. (%)	21,3	17,11	12,27	35,28	36,48	12,59
Média (mg/planta)	26,96	39,74	17,93	256,75	691,13	327,34
FV	Ca			Mg		
	Folhas	Caule	Raízes	Folhas	Caule	Raízes
	Quadrados médios					
Bloco	11237,47 <sup>ns</sup>	31319,87 <sup>ns</sup>	55142,33 <sup>ns</sup>	16,96 <sup>ns</sup>	8089,32 <sup>ns</sup>	897,56 <sup>ns</sup>
Densidade do solo	34424,58 <sup>ns</sup>	158504,70 <sup>ns</sup>	58446,62 <sup>ns</sup>	718,54 <sup>ns</sup>	16888,55 <sup>ns</sup>	1396,46 <sup>ns</sup>
Erro	23143,1	94682,53	40005,7	501,35	5915,11	615,13
C.V. (%)	22,81	37,92	53,91	24,78	44,36	35,01
Média (mg/planta)	666,5	811,5	371,64	90,36	173,36	70,81

\*\*significativo ao nível de 1% de probabilidade, \* significativo ao nível de 5% de probabilidade, <sup>ns</sup> não significativo pelo teste F.

O fluxo difusivo de K no solo é influenciado pela umidade e pela compactação do solo, aumentando com o acréscimo do conteúdo de água e apresentando valores mais baixos na condição de solo com elevada densidade (COSTA et al., 2009). Outro fator de fundamental importância na absorção de P e K é a extensão do sistema radicular. Os efeitos da carência de P são mais evidentes pela acentuada redução no crescimento de planta como um todo. O baixo suprimento deste nutriente diminui a área foliar, em consequência principalmente no número de folhas (ARAÚJO e MACHADO, 2006).

Desta forma, neste trabalho o aumento da densidade do solo provocou menor crescimento do sistema radicular. A redução dos poros do solo em decorrência da compactação pode ter afetado o processo de transporte de nutrientes por difusão, resultando em menor absorção de P e K.

Silva et al. (2002), avaliando solos distintos (Latosolo Vermelho e Latossolo Vermelho-Amarelo) e níveis de compactação em plantas de eucalipto, verificaram que o aumento no grau de compactação do solo reduz o crescimento e o acúmulo

de K na planta. Na cultura da soja, houve redução no acúmulo de K quando a densidade do solo aumentou de 1,12 para 1,36 kg dm<sup>-3</sup> (SILVA e ROSOLEM, 2001).

Estudos indicam que o pinhão-mansão possui alto teor de nutrientes em seus tecidos, apresentando a seguinte ordem de acúmulo no limbo foliar: N > Ca > K > Mg > P > S > Mn > Fe > B > Zn > Cu (LAVIOLA e DIAS, 2008). Estes autores constataram os valores de 3,31; 15,85; 22,36 e 5,61 mg/folha para o conteúdo de P, K, Ca e Mg, respectivamente. No presente trabalho, os macronutrientes analisados as folhas, no caule e nas raízes apresentaram ordem de semelhante para o conteúdo, sendo Ca > K > Mg > P.

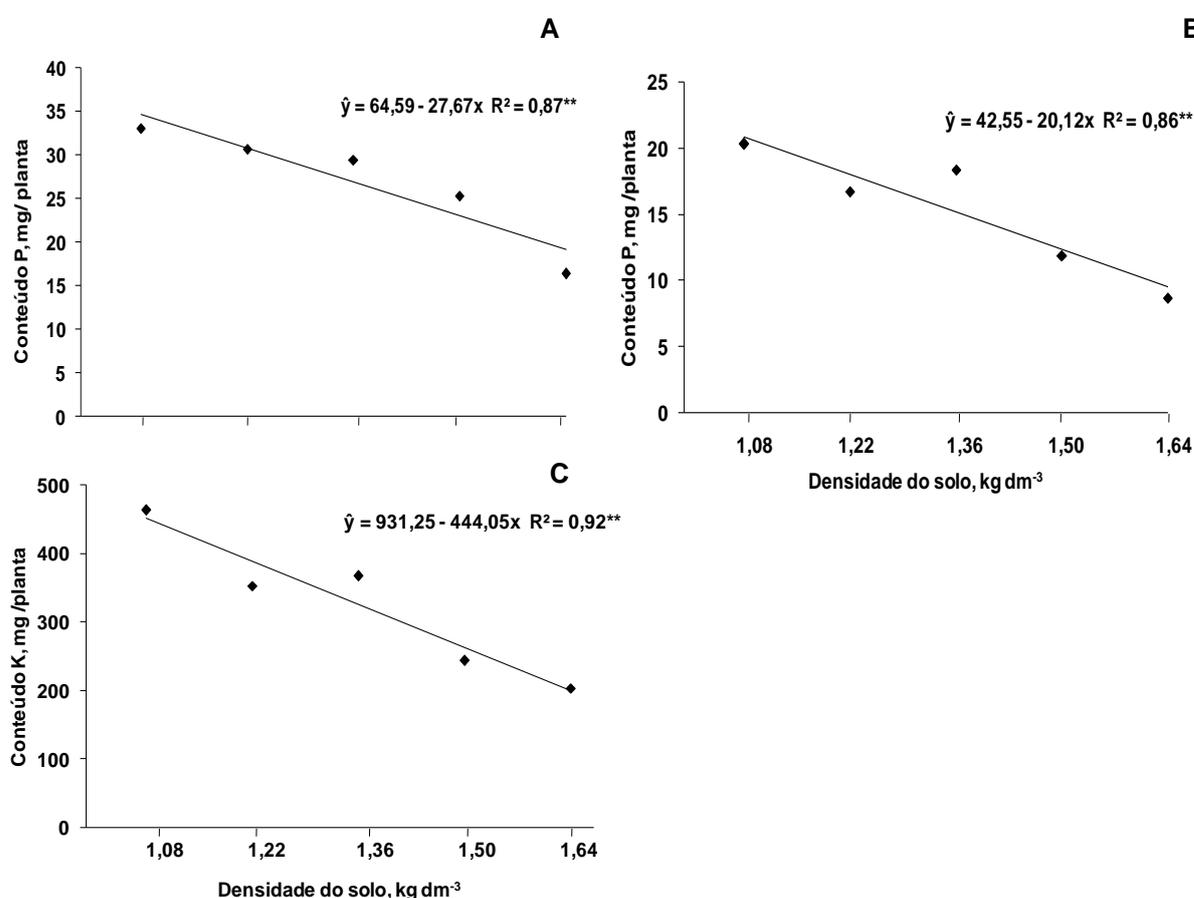


Figura 5. Conteúdo de fósforo nas folhas (A), fósforo nas raízes (B) potássio nas raízes (C) de plantas pinhão-mansão em função de diferentes densidades de solo. UNIOESTE – Marechal Cândido Rondon – PR, 2011. (\*\* significativo ao nível de 1 % de probabilidade).

Apesar do P estar entre o quarto nutriente acumulado na matéria seca, ele é muito limitante para a cultura, sobretudo na fase inicial de crescimento. Resultados de pesquisas demonstram que o pinhão-mansão em fase inicial de desenvolvimento é responsivo a adubação fosfatada (PRATES et al., 2012).

De acordo com Silva e Rosolem (2001), o aumento da densidade do solo de 1,12 para 1,36 kg dm<sup>-3</sup> reduz o conteúdo de Ca e Mg para a cultura da soja. Para o presente trabalho, não se observou redução no conteúdo de Ca e Mg nas folhas, caule e raízes de pinhão-manso com o aumento da densidade do solo. Os teores de Ca e Mg no solo encontrava-se em altas concentrações (Tabela 1). Assim, a interceptação radicular atendeu parte da demanda da planta, bem como o fluxo de massa supriu o restante da necessidade exigida pela cultura.

### 3.6 Conclusões

- O aumento da densidade do solo de 1,08 a 1,64 kg dm<sup>-3</sup> prejudica o crescimento da parte aérea e raízes do pinhão-manso na fase inicial de desenvolvimento da cultura.
- A limitação do desenvolvimento da parte aérea ocorre partir da densidade 1,26 kg dm<sup>-3</sup>, com redução do número de folhas, área foliar e produção de matéria seca da parte aérea.
- O aumento da densidade do solo afeta o conteúdo de P e K no tecido vegetal, elementos que são transportados no solo por difusão. Os teores Ca e Mg não foram influenciados pelo aumento da densidade.

### 3.7 Referências

- ABREU, H. A.; GUERRA, G. M.; MESQUITA, D. N.; PEREIRA, V. C.; ASSIS, R. L. de, SILVA, O. A.; SILVA, G. P. & IMOLES, A. S. Crescimento aéreo e radicular de pinhão-manso sob diferentes níveis de compactação do solo. **I CONGRESSO DA REDE BRASILEIRA DE TECNOLOGIA DE BIODIESEL**: artigos técnico-científico. Brasília, 2006.
- ALVES, V. G.; ANDRADE, M. J. B.; CORRÊA, J. B. D.; MORAES, A. R. & SILVA, M. V. da. Concentração de macronutrientes na parte aérea do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) em função da compactação e classes de solos. **Ciência e Agrotecnologia**, 27:44-53, 2003.
- ARAÚJO, A. P. & MACHADO, C. T. de T. Fósforo. In: FERNANDES, M. S., ed. **Nutrição mineral de Plantas**, Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006, p. 253-280.
- ARRUDA, F. P.; BELTRÃO, N. E. DE M.; ANDRADE, A. P. de; PEREIRA, W. E. & SEVERINO, L. S. Cultivo de pinhão manso (*Jatropha curcas* L.) como alternativa para o semi-árido nordestino. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**, 8:789-799, 2004.

BELTRÃO, N. E. M. Agronegócio das oleaginosas no Brasil. **Informe Agropecuário**, 26:44-78, 2005.

BONFIM-SILVA, E. M.; ANICÉSIO, E. C. A.; SILVA, F. C. M. ; DOURADO, L. G. A. & AGUERO, N. F. **Compactação do solo na cultura do trigo em Latossolo do Cerrado**. Disponível em: <<http://www.conhecer.org.br/enciclop/2011a/agrarias/compactacao.pdf>>. Acesso em 30 jan. 2012.

BRAGA, J. M. & DEFELIPO, B. V. Determinação espectrofotométrica de fósforo em extratos de solo e plantas. **Revista Ceres**, 21:73-85, 1974.

COSTA, F. X. ; NUNES JÚNIOR, E. S. & MELO FILHO, J. S. Efeito da torta de mamona no plantio da mamoneira com diferente densidade global do solo. **Revista Engenharia Ambiental: pesquisa e tecnologia** 7:229-238, 2010.

COSTA, J. P. V.; BARROS, N. F.; BASTOS, A. L. & ALBUQUERQUE, A. W. Fluxo difusivo de potássio em solos sob diferentes níveis de umidade e de compactação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, 13:56–62, 2009.

DIAS, L. A. S.; LEME, L. P.; LAVIOLA, B. G.; PALLINI FILHO, A.; PEREIRA, O. L.; CARVALHO, M.; MANFIO, C. E.; SANTOS, A. S.; SOUSA, L. C. A.; OLIVEIRA, T. S. & DIAS, D. C. F. S. **Cultivo de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) para produção de óleo combustível**. Viçosa, MG, 2007. v.1. 40p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro, 2006. 412p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2 ed. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

FERREIRA, D. F. Análise estatística por meio do SISVAR (Sistema para Análise de Variância) para Windows versão 4.0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, São Carlos, 2000. **Anais...** São Carlos: UFSCar, 2000. p.255-258.

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**, 32:1969-1975, 2008.

MATERECHERA, S. A.; ALSTON, A. M.; KIRBY, J. M. & DEXTER, A. R. Influence of root diameter on the penetration of seminal roots into a compacted subsoil. **Plant and Soil**, 144: 297-303, 1992.

MEDEIROS, R. D.; SOARES, A. A. & GUIMARÃES, R. M. Compactação do solo e manejo da água. I: Efeitos sobre a absorção de N, P, K, massa seca de raízes e parte aérea de plantas de arroz. **Ciência e Agrotecnologia**, 29:940-947, 2005.

MEURER, E. J. Fatores que influenciam a crescimento e desenvolvimento das plantas. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.;

CANTARUTTI, R. B. & NEVES, J. C. L., ed. **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 65-90.

MEURER, E. J. Potássio. In: FERNANDES, M. S., ed. **Nutrição mineral de Plantas**, Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006, p. 281-298.

MÜLLER, M. A. L.; CECCON, G. & ROSOLEM, C. A. Influência da compactação do solo em subsuperfície sobre o crescimento aéreo e radicular de plantas de adubação verde de inverno. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 25:531-538, 2001.

NOVAIS, R. F. & SMYTH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa: UFV, 1999. 399 p.

NUNES, L. F. 2007. **Caracterização de frutos, sementes e plântulas e cultivo de embriões de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.)**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Lavras, Brasil, 78pp.

PRATES; F. B. S.; LUCAS, C. S. G.; SAMPAIO, R. A.; BRANDÃO JÚNIOR, D. S.; FERNANDES, L. A. & ZUBA JUNIOR, R. G. R. Crescimento de mudas de pinhão-manso em resposta a adubação com superfosfato simples e pó-de-rocha. **Revista Ciência Agronômica**, 43: 207-213, 2012.

RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2011, 420 p.

RIBEIRO, M. A. V.; NOVAIS, R. F.; FAQUIN, V.; FERREIRA, M. M.; FURTINI NETO, A. E.; LIMA, J. M. & VILLANI, E. M. A. Resposta da soja e do eucalipto ao aumento da densidade do solo e a doses de fósforo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 54:1187-1164, 2010.

SANTOS, G. A.; SOUZA, C. A. S.; DIAS JUNIOR, M. S.; FURTINI NETO, A. E. & GUIMARÃES, P. T. G.. Diferentes graus de compactação e fornecimento de fósforo influenciando no crescimento de plantas de milho (*Zea mays* L.) cultivadas em solos distintos. **Ciência Agrotecnológica**., 9:740-752, 2005.

SATURNINO, H. M.; PACHECO, D. D.; KAKIDA, J.; TOMINAGA, N. & GONÇALVES, N. P. Cultura do Pinhão Manso (*Jatropha curcas* L.). **Informe Agropecuário**, 26:44-78, 2005.

SECCO, D.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. & ROS, C. O. Produtividade de soja e propriedades físicas de um Latossolo submetido a sistemas de manejo e compactação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 28:797-804, 2004.

SILVA, R. H. & ROSOLEM, C. A. Influência da cultura anterior e da compactação do solo na absorção de macronutrientes em soja. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, 36:1269-1275, 2001.

SILVA, S. R.; BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F. & PEREIRA, P. R. G. Eficiência nutricional de potássio e crescimento de eucalipto influenciados pela compactação do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 26:1001-1010. 2002.

SILVA, S. R. **Crescimento do eucalipto influenciado pela compactação de solos e doses de fósforo e de potássio**. Dissertação mestrado. Viçosa : UFV, 2000. 97p

SILVA, V. R.; REINERT, D. & REICHERT, J. M. Variabilidade espacial da resistência à penetração em plantio direto. **Revista Ciência Rural**, 34: 399-406, 2004.

SOUZA, R. V. C. C.; ANTUNES, P. D.; MARQUES, M. C. & FREIRE, M. B. G. S. Influência de diferentes níveis de compactação e doses de fósforo no crescimento e nos teores de p na matéria seca de plantas milho (*Zea mays* L.) em um solo representativo do estado de Pernambuco. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, 8: 94-99, 2008.

STOLF, R. Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 15:229-235, 1991.

SUZUKI, L. E. A. S.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. & LIMA, C. L. R. Grau de compactação, propriedades físicas e rendimento de culturas em Latossolo e Argissolo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 42:1159-1167, 2007.

TAPANES, N. O.; ARANDA, D. A. G. & CARNEIRO, J. W. M. Transesterificação dos glicerídeos do óleo de *Jatropha curcas* L.: estudo teórico. In: CONGRESSO DA REDE BRASILEIRA DE TECNOLOGIA DE BIODIESEL, 2., 2007, Brasília, DF. **Anais...** Brasília, DF: MCT: ABIPTI, 2007. p. 241-246.

TAVARES FILHO, J.; RALISCH, R.; GUIMARÃES, M. F.; MEDINA, C. C.; BALBINO, L. C. & NEVES, C. S. V. J. Método do perfil cultural para avaliação do estado físico de solos em condições tropicais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 23:393-399, 1999.

VALE, L. S.; SEVERINO, L. S. & BELTRÃO, N. E. M. **Crescimento do pinhão manso em solo compactado**. 2006. Disponível em: <<http://www.biodiesel.gov.br/docs/congresso2006/agricultura/CrescimentoPinhao.pdf>>. Acesso em 29 fev. 2012.

## 4 EFEITO DE DOSES DE CALCÁRIO NO DESENVOLVIMENTO INICIAL DO PINHÃO-MANSO

### 4.1 Resumo

Este trabalho teve por objetivo avaliar o desenvolvimento inicial de plantas de pinhão-manso em razão da aplicação de doses de calcário em subsuperfície. O experimento foi realizado em vasos e sob condição de casa de vegetação. O solo utilizado foi o Latossolo Vermelho distroférico de textura argilosa coletado em Cascavel - PR. O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, com quatro repetições. As plantas de pinhão-manso foram cultivadas em vasos de PVC dividido em dois anéis, o anel superior (0-20 cm) recebeu solo corrigido (11,1 t ha<sup>-1</sup> de CaCO<sub>3</sub> e MgCO<sub>3</sub>) e adubação com NPK, no anel inferior (20-60 cm) foi adicionado ao solo as doses de 0; 3,7; 5,6; 7,4; 11,1 e 14,9 t ha<sup>-1</sup> de CaCO<sub>3</sub> e MgCO<sub>3</sub> na relação molar 4:1. Após 120 dias da emergência das plantas, avaliou-se o número de folhas, área foliar, altura de planta, diâmetro de caule, comprimento da raiz, volume radicular, produção de matéria seca de folhas, caule, raízes, planta inteira e o teores de Al, P, K, Ca, Mg, Zn, Cu, Mn e Fe nas folhas, no caule e nas raízes. O desenvolvimento da parte aérea do pinhão-manso não foi limitado pela presença de Al em subsuperfície, avaliado pela altura de planta, diâmetro de caule, produção de matéria de matéria seca de folhas, de caule e de matéria seca total. A diminuição das doses de calcário proporciona redução no volume e na produção de matéria seca de raízes em subsuperfície. A calagem reduz os teores de Zn e Mn na parte aérea e raízes, afetando a altura de planta e volume de raízes.

Palavras-chave: *Jatropha curcas* L., calagem, acidez do solo.

## 4.2 Abstract

### EFFECT OF LIMESTONE RATES IN THE INITIAL DEVELOPMENT OF PHYSIC NUT

The aim of this work was to evaluate the initial development of physic nut (*Jatropha curcas* L.) in different limestone rates in subsurface. The experiment was carried in pots and under greenhouse conditions. The soil used was Oxisol clayey collected in Cascavel, Paraná State, Brazil. The experimental design was randomized blocks with four replications. Physic nut plants were grown in PVC pots divided into two rings, the upper ring (0-20 cm) received limed soil (11.1 t ha<sup>-1</sup> of CaCO<sub>3</sub> and MgCO<sub>3</sub>) and fertilizers, the lower ring (20 - 60 cm) was added doses of 0, 3.7, 5.6, 7.4, 11.1 and 14.9 t ha<sup>-1</sup> MgCO<sub>3</sub> and CaCO<sub>3</sub> in molar ratio 4:1. After 120 days of plant emergence, was evaluated the number of leaves, leaf area, plant height, stem diameter, root length, root volume, dry matter of leaves, stems, roots, and total dry matter of plant and levels of Al, P, K, Ca, Mg, Zn, Cu, Mn and Fe in leaves, stems and roots. The development of the shoot of physic nut was not limited by the limestone rates in subsurface, as assessed by plant height, stem diameter, dry matter of leaves, stem and total dry matter of plant. The decrease of limestone rates reduced the volume and dry matters of roots in the subsurface. Liming decreased the concentration of Zn and Mn in shoots and roots, which may have influenced the plant height and root volume.

Key-words: *Jatropha curcas* L., liming, soil acidity.

### 4.3 Introdução

Um dos principais fatores que oferece restrições para os cultivos agrícolas nos trópicos está relacionado à acidez dos solos (MACEDO et al., 2011). Neste caso, a toxidez por Al limita a produtividade das plantas em solos ácidos, estes compreendem cerca de 50 % de toda área potencialmente arável do mundo (PEREIRA et al., 2008).

O Brasil possui aproximadamente 1,8 milhões de km<sup>2</sup> de solos sob vegetação de Cerrado, que se caracterizam por possuir elevada acidez, deficiência de P, Ca, Mg e teores elevados de Al e Mn (OLMOS e CAMARGO, 1976).

Em solos com pH menores que 5,5, a dissolução das formas sólidas do Al tende a aumentar, ocorrendo formas iônicas a solução do solo. Todavia, mesmo em baixas concentrações o Al em solução é tóxico para a maioria das espécies vegetais, primeiramente por afetar o desenvolvimento normal das raízes, inibindo o seu crescimento e bloqueando os mecanismos de aquisição e transporte de nutrientes (ROSSIELO e NETTO, 2006).

Em plantas submetidas a níveis tóxicos de Al, constatam-se quase sempre, sintomas de deficiência de P, indicativos de interações entre estes dois elementos, que ocorrem no solo e continuam na superfície e no interior das células das raízes (PEREIRA et al., 2008). Desta forma, a baixa resposta das plantas às adubações pode ser atribuída, em parte, ao excesso de alumínio que, em solo com elevada acidez. Os efeitos nocivos do alumínio para algumas espécies vegetais foram mencionados por Furlani (1989).

O pinhão-mansão (*Jatropha curcas* L.) é uma espécie perene e monóica, pertencente à família das Euforbiáceas, a mesma família da mamona e seringueira. É originário da América Central e é encontrado em diversas regiões do Brasil (BELTRÃO, 2005). Com a possibilidade do uso do óleo do pinhão-mansão para a produção do biodiesel, abrem-se amplas perspectivas para o crescimento das áreas de plantio.

Para Laviola e Dias (2008) os resultados de pesquisas com a cultura do pinhão-mansão são ainda incipientes e preliminares. Todavia, observa-se expansão da área cultivada com essa espécie. O pinhão-mansão é considerado uma cultura rústica, que se adaptada as mais diversas condições edafoclimáticas, e sobrevive bem em solos de baixa fertilidade natural (ARRUDA et al., 2004; SATURNINO et al.,

2005). Porém, para se obter alta produtividade de frutos é necessária boa disponibilidade de água, solos férteis e com boas condições físicas.

Macedo et al. (2011) observaram que plântulas de pinhão-manso de diferentes procedências (São Paulo, Minas Gerais e Bahia) submetidas a estresse de alumínio, nas concentrações 0; 3,0; 4,5 e 6,0 mg L<sup>-1</sup> em solução nutritiva tiveram o crescimento de raízes prejudicado, sendo as doses de Al superiores a 3 mg L<sup>-1</sup>, as mais prejudiciais ao crescimento da planta. Por outro lado, Lana et al. (2009) verificaram que concentrações de Al acima de 20 mg L<sup>-1</sup> foram as mais limitantes para o desenvolvimento do pinhão-manso em solução nutritiva.

Passos et al, (2007) em estudo de tolerância de cultivares de mamoneira à toxicidade de Al em solução nutritiva, verificaram que o comprimento da raiz principal, bem como o crescimento da raiz principal e secundária foi drasticamente reduzido em função do aumento das concentrações de Al. Resultados semelhantes foram observados por Lima et al. (2007) para a cultura da mamona, onde seu crescimento foi prejudicado pelo aumento do Al no solo, observaram também que a presença de matéria orgânica ameniza o efeito fitotóxico do Al.

Com a expansão da cultura do pinhão-manso no território nacional para a produção de biocombustível, tornam-se necessários estudos que abordam os reflexos do Al no seu crescimento e desenvolvimento. Considerando que este elemento é de ocorrência bastante representativa nos solos brasileiros, principalmente naqueles sob vegetação de Cerrado que, além de ácidos, são carentes em P, Ca e Mg. Portanto, este trabalho teve por objetivo avaliar o desenvolvimento inicial de plantas de pinhão-manso em razão da aplicação de doses de calcário em subsuperfície.

#### 4.4 Material e Métodos

O presente experimento foi conduzido casa de vegetação localizada nas dependências do Centro de Controle Biológico e Cultivo Protegido Prof. Dr. Mário Cezar Lopes, pertencente ao Núcleo de Estações Experimentais do Centro de Ciências Agrárias da UNIOESTE, no município de Marechal Cândido Rondon - PR. O solo foi coletado no município de Cascavel – PR, concedido pela Coodetec, o qual possuía elevado teor de alumínio sendo coletado na camada de 0-15 cm de profundidade. O solo foi classificado como Latossolo Vermelho distroférrico (EMBRAPA, 2006), com 473,50 g kg<sup>-1</sup> de argila, 362,31 g kg<sup>-1</sup> de silte e 164,19 g kg<sup>-1</sup> de areia.

Os vasos foram constituídos de coluna de PVC com 15 cm de diâmetro e 60 cm de altura, subdivididas em dois anéis, correspondentes as duas camadas de 0 a 20 e 20 a 60 cm de espessura. Os anéis foram unidos por fita adesiva, fechada na base com tampa de PVC com quatro furos.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, composto pelos cinco tratamentos em quatro repetições. As doses de carbonatos de cálcio e magnésio utilizadas foram 0; 3,7; 5,6; 7,4; 11,1 e 14,9 t ha<sup>-1</sup>, que correspondem a 0; 0,5; 0,75; 1,0; 1,5 e 2,0 vezes a necessidade de calagem para elevar a saturação por bases a 60 %. As porções de solo receberam calagem diferencial que constitui na mistura de carbonatos de cálcio e de magnésio, p.a. na relação molar 4:1, resultando nas diferentes saturações de Al. Após a calagem, o solo foi umedecido e incubado em sacos plásticos por 30 dias. Após este período as amostras de solo foram analisadas quanto as características químicas (Tabela 5).

Os cilindros de PVC foram preparados da seguinte forma: no anel inferior foi colocado 7,06 dm<sup>3</sup> de solo correspondente as diferentes saturações por Al e no anel superior todos os vasos receberam 3,53 dm<sup>3</sup> de solo corrigido com 1,5 vezes a necessidade de calagem, que correspondeu a 11,1 t ha<sup>-1</sup>.

A semeadura do pinhão-manso foi realizada em 10 de janeiro de 2011, com quatro sementes por vaso, após 10 dias da emergência foi realizado o desbaste, deixando-se apenas uma planta por vaso. A adubação do solo foi realizada no anel superior, utilizando-se 170 mg dm<sup>-3</sup> de N (uréia), 296 mg dm<sup>-3</sup> de P (superfosfato simples) e 200 mg dm<sup>-3</sup> de K (cloreto de potássio), baseado na recomendação de Dias et al. (2007). Realizaram-se duas adubações nitrogenada de cobertura, aos 45

Tabela 5. Características químicas das amostras de solo após a incubação com diferentes doses de calcário. UNIOESTE. Marechal Cândido Rondon - PR, 2011

Calcário	M.O.	pH	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al	CTC	V	m	Zn	Fe	Mn	Cu
t ha <sup>-1</sup>	g dm <sup>-3</sup>	CaCl <sub>2</sub>	mg dm <sup>-3</sup>	-----cmol dm <sup>-3</sup> -----				----%----		----- mg dm <sup>-3</sup> -----					
0	39,6	3,9	18,4	0,5	1,6	0,4	2,4	9,3	11,9	21,3	48,8	3,1	38	64	5,5
3,7	36,9	4,3	17,1	0,6	3,6	0,9	0,8	7,5	12,6	40,6	13,6	2,9	36	51	5,1
5,6	41,0	4,6	17,8	0,6	4,4	1,1	0,2	4,8	10,9	56,1	3,2	2,9	32	59	5,2
7,4	36,2	4,6	18,1	0,6	5,3	1,3	0,1	5,4	12,5	57,3	1,4	2,9	31	49	5,4
11,1	37,6	4,9	18,3	0,6	7,7	1,9	0	3,7	13,9	73,5	0	2,7	32	62	4,8
14,8	38,3	5,1	18,6	0,4	9,6	2,2	0	3,2	15,4	79,4	0	2,3	38	65	5,3

Fonte: Análises realizadas no Laboratório de Química Ambiental e Instrumental da Unioeste Campus Marechal Cândido Rondon.

Tabela 6. Características químicas das amostras de solo após o período de condução do experimento. UNIOESTE. Marechal Cândido Rondon - PR, 2011

Calcário	pH	P	K	Ca	Mg	Al	Zn	Fe	Mn	Cu
t ha <sup>-1</sup>	CaCl <sub>2</sub>	g dm <sup>-3</sup>	-----cmol dm <sup>-3</sup> -----				----- mg dm <sup>-3</sup> -----			
0	4,0	18,2	0,4	6,1	0,9	2,3	3,2	97,7	87,5	9,8
3,7	4,2	17,8	0,5	7,4	1,1	1,1	2,8	76,5	78,0	7,7
5,6	4,8	17,4	0,4	8,9	1,1	0,4	2,6	67,2	59,0	7,3
7,4	4,9	18,5	0,5	7,7	1,0	0,3	2,6	65,0	51,0	7,2
11,1	5,2	17,7	0,5	8,8	1,2	0,1	2,5	71,2	69,8	7,5
14,8	5,9	18,2	0,6	11,3	1,6	0,0	3,2	71,7	64,8	7,6

e 90 dias após a emergência, utilizando-se em cada aplicação 100 mg dm<sup>-3</sup> de N (uréia).

O controle de doenças (ferrugem - *Phakospora arthuriana* Buriticá & Hennen) foi realizado com a aplicação de fungicida (tebuconazole - 200 g L<sup>-1</sup>) na dose de 0,75 L ha<sup>-1</sup>, aos 38, 60 e 85 dias após a emergência. Para controle de ácaros (*Polyphagotarsonemus latus* Banks) utilizou-se acaricida (abamectin - 18 g L<sup>-1</sup>) na dose de 1,0 L ha<sup>-1</sup>, aos 17, 37, 60 e 90 dias após a emergência da cultura.

Após 120 dias da emergência das plantas avaliou-se o número de folhas, altura de planta (cm) com auxílio de régua, desde o colo da planta até a inserção da última folha e diâmetro do caule com auxílio de paquímetro digital, mensurado a 7 cm do colo da planta. Posteriormente, as plantas foram cortadas na altura do colo e a parte aérea separada em caule e folhas. As folhas foram acondicionadas em sacos plásticos para análise da área foliar, com auxílio do equipamento LI-3100C Portable Leaf Area Meter.

Os vasos foram desmontados para a retirada do sistema radicular, mediante lavagem com água corrente com auxílio de peneira, sendo avaliado o comprimento da raiz principal com auxílio de régua graduada e o volume radicular obtido pelo deslocamento de água em proveta graduada de um litro.

As partes das plantas (folhas, caule e raízes) foram acondicionadas em sacos de papel, colocadas em estufa com circulação forçada de ar a 65 °C, para secagem até peso constante e posterior quantificação da produção de matéria seca.

Para a determinação dos teores de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), zinco (Zn), manganês (Mn), ferro (Fe), cobre (Cu) e alumínio (Al). Foram utilizadas amostras de 0,2 gramas de tecido vegetal (folhas+pecíolos, caule e raízes) secas e moídas, que foram mineralizadas por digestão nítrico-perclórica na proporção de 3:1. Nos extratos, o P foi determinado pelo método do ácido ascórbico, modificado por Braga e Defelipo (1974); o K, por fotometria de emissão de chama; Ca, Mg, Zn, Mn, Fe, Cu por espectrofotometria de absorção atômica e Al pelo método espectrofotométrica com eriocromo cianina R (EMBRAPA, 2009).

Os dados obtidos foram submetidos a análise de variância e de regressão, utilizando o software estatístico SISVAR versão 5.1 (FERREIRA, 2000).

## 4.5 Resultados e Discussão

As doses de calcário aplicadas no anel inferior não influenciaram o número de folhas e área foliar (Figura 6A e 6B). Entretanto, houve efeito significativo para altura de planta e diâmetro de caule. A altura de planta apresentou resposta quadrática para as doses de calcário, a menor altura foi verificada na dose de 10,37 t ha<sup>-1</sup> de calcário (Figura 6C). O diâmetro de caule reduziu linearmente em função do aumento das doses de calcário, os resultados obtidos nesta variável estão relacionados a altura de plantas, que foram superior nas menores doses de calcário.

O comportamento da variável altura de planta, aparentemente contraditório, pode estar relacionado com a maior disponibilidade de micronutrientes no solo, principalmente cobre e zinco, em condições de acidez no anel inferior para as menores doses de calcário (Tabela 5).

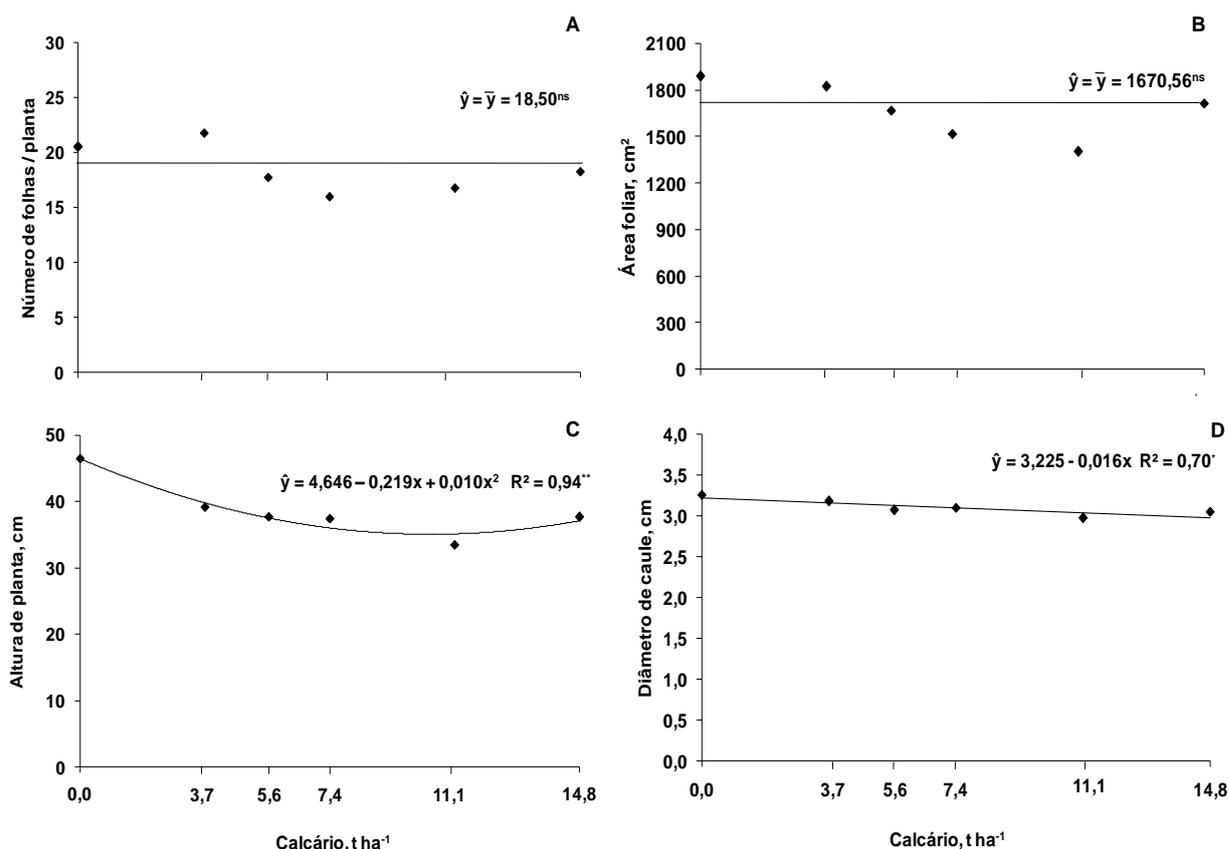


Figura 6. Número de folhas (A) área foliar (B), altura de planta (C) e diâmetro de caule (D) em plantas de pinhão-mansó em função de diferentes doses de calcário aplicadas no anel inferior. UNIOESTE – Marechal Cândido Rondon – PR, 2011. (\*\* significativo a 1 % de probabilidade e \* significativo à 5 % de probabilidade).

Não houve efeito significativo das doses de calcário no comprimento da raiz principal e volume total de raízes (Figura 7A e 7B). Porém, diferenças significativas foram verificadas no volume radicular na profundidade de 0-20 e de 20-60 cm. Na figura 6C, observa-se que o volume de raízes no anel superior, apresentou decréscimo linear conforme o aumento das doses de calcário em subsuperfície. Como o anel superior foi corrigido, as raízes se concentraram neste anel quando a saturação por Al no anel inferior encontrava-se alta, entretanto, com o aumento das doses de calcário no anel inferior houve maior desenvolvimento das raízes em profundidade.

O volume radicular no anel inferior apresentou resposta quadrática, observando-se o aumento do volume radicular até a dose de  $7,4 \text{ t ha}^{-1}$  de calcário (Figura 6D). Com o aumento das doses de calcário e a conseqüente redução na saturação de Al permitiu melhor distribuição das raízes em ambos os anéis, não apresentando diferença significativa para o volume total de raízes em função das doses de calcário aplicadas no anel inferior (Figura 7B).

Diante do exposto, pode-se considerar que as menores doses de calcário no anel inferior promoveram o maior desenvolvimento radicular no anel superior, estando relacionado às condições químicas do solo, neste caso a presença de alumínio no anel inferior.

Com base nos resultados obtidos, verifica-se que o comprimento da raiz principal do pinhão-mansão não foi limitado na camada subsuperficial, com presença de Al, quando a camada superficial (0-20 cm) é corrigida. Embora, em trabalhos com solução nutritiva têm sido verificadas diferenças marcantes no crescimento do sistema radicular e da parte aérea em presença de alumínio.

Lana et al. (2009) observaram que plantas de pinhão-mansão cultivadas em solução nutritiva contendo  $25 \text{ mg L}^{-1}$  de Al tiveram redução de 23,9; 23,8; 16,0 e 11,2% para produção de matéria seca da parte aérea, número de folhas, área foliar e altura, respectivamente, quando comparado a testemunha ( $0 \text{ mg L}^{-1}$ ). O crescimento da raiz primária reduziu linearmente com o aumento da concentração de alumínio. De modo que houve uma redução no comprimento da raiz primária de 0,28 cm para cada  $\text{mg L}^{-1}$  de alumínio adicionado em solução.

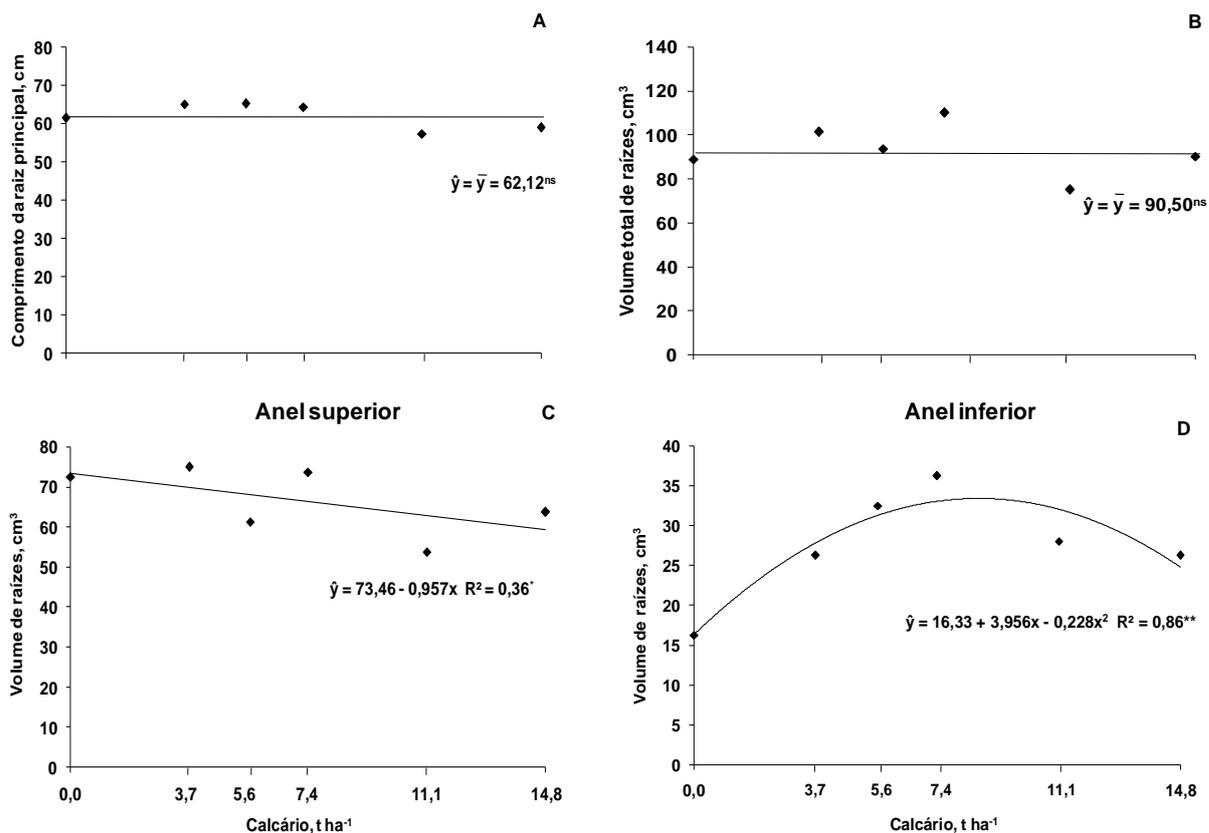


Figura 7. Comprimento da raiz principal (A), volume total de raízes (B), volume de raízes no anel superior (C) e volume de raízes no anel inferior (D) em plantas de pinhão-mansinho em função de doses de calcário aplicadas no anel inferior. UNIOESTE – Marechal Cândido Rondon – PR, 2011. (\*\* significativo à 1% de probabilidade, \* significativo a 5% de probabilidade, <sup>ns</sup> significativo).

Macedo et al. (2011) cultivaram plantas de pinhão-mansinho de três procedências (Bahia, Minas Gerais e São Paulo) em solução nutritiva contendo diferentes concentrações de alumínio (0; 3,0; 4,5 e 6,0 mg L<sup>-1</sup>). Conforme estes autores, os acessos procedentes da Bahia e de Minas Gerais são menos susceptíveis à toxidez de alumínio, quando comparados com os provenientes de São Paulo. As doses de alumínio afetaram o crescimento das raízes para todas as procedências, sendo as doses superiores a 3 mg L<sup>-1</sup>, as mais prejudiciais ao crescimento da planta.

A adubação e a correção da acidez do solo no anel superior colaboraram para manter o crescimento da parte aérea, mas não foi capaz de amenizar os efeitos tóxicos do Al quando este elemento se encontrava em contato direto com as raízes, como ocorreu no anel inferior, verificado pelo menor volume de raízes nas menores doses de calcário aplicadas (Figura 8).

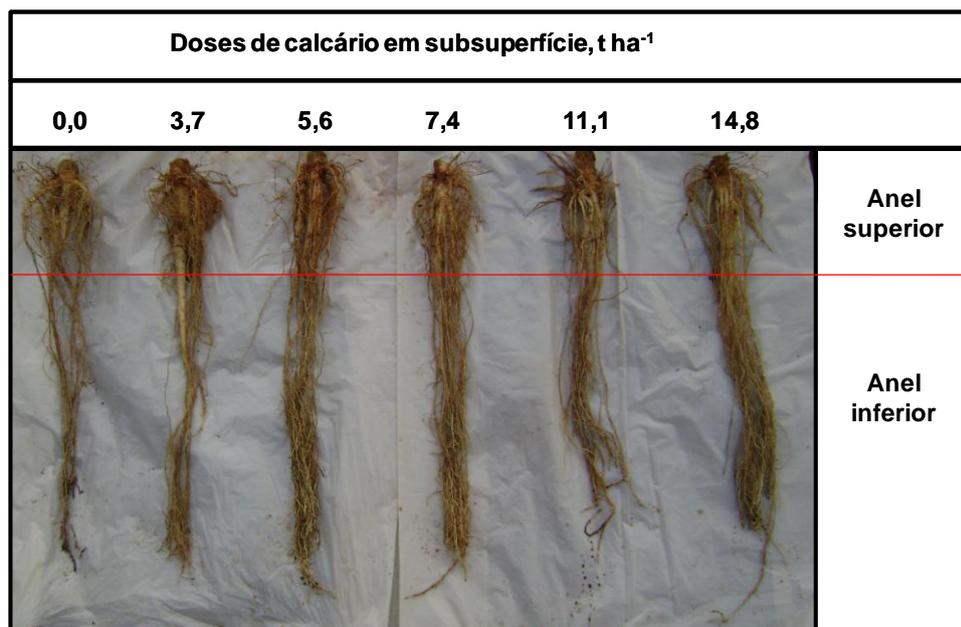


Figura 8. Sistema radicular de plantas de pinhão-manso em função de doses de calcário aplicadas no anel inferior. UNIOESTE – Marechal Cândido Rondon – PR, 2011.

As produções de matéria seca de folhas e de caule apresentaram efeito quadrático em relação ao aumento das doses de calcário aplicadas. Houve decréscimo da produção de matéria de folhas até a dose aproximada de 8,77 t ha<sup>-1</sup> (Figura 9A). Para a produção de matéria seca de caule houve decréscimo até a dose aproximada de 13,82 t ha<sup>-1</sup> (Figura 9B).

Houve variação na distribuição da matéria seca de raízes em profundidade nas colunas de PVC (vasos) em função do aumento das doses de calcário aplicadas ao solo da subsuperfície. Verificou-se maior produção de matéria seca de raízes no anel superior em relação ao anel inferior.

Houve decréscimo linear para produção de matéria seca de raízes do anel superior com o aumento das doses de calcário em subsuperfície (Figura 9 C). A produção de matéria seca raízes no anel inferior apresentou resposta quadrática, observando-se o máximo acúmulo de matéria de raízes próximo a dose 10 t ha<sup>-1</sup> de calcário (Figura 9 D). Desta forma, pode-se inferir o menor acúmulo de matéria seca de raízes no anel inferior está relacionado a presença Al no solo, o que afetou o desenvolvimento do sistema radicular.

A produção de matéria seca total de planta foi superior nos tratamentos que receberam 0,0 e 3,7 t ha<sup>-1</sup> de calcário, observa-se redução da matéria seca total até a dose de 11,77 t ha<sup>-1</sup> (Figura 9 E). A correção gradual do solo no anel inferior e

conseqüente presença de diferentes saturações por alumínio em profundidade não afetou desenvolvimento pinhão-manso.

Com os resultados obtidos, verifica-se que o anel superior que possuía solo corrigido proporcionou condições para o desenvolvimento da cultura e nas condições experimentais também não houve limitação na disponibilidade de água. Entretanto, para uma condição de déficit hídrico pode haver limitação uma vez que a presença de Al no anel inferior afetou a volume das raízes distribuídas no anel inferior (Figura 9 D).

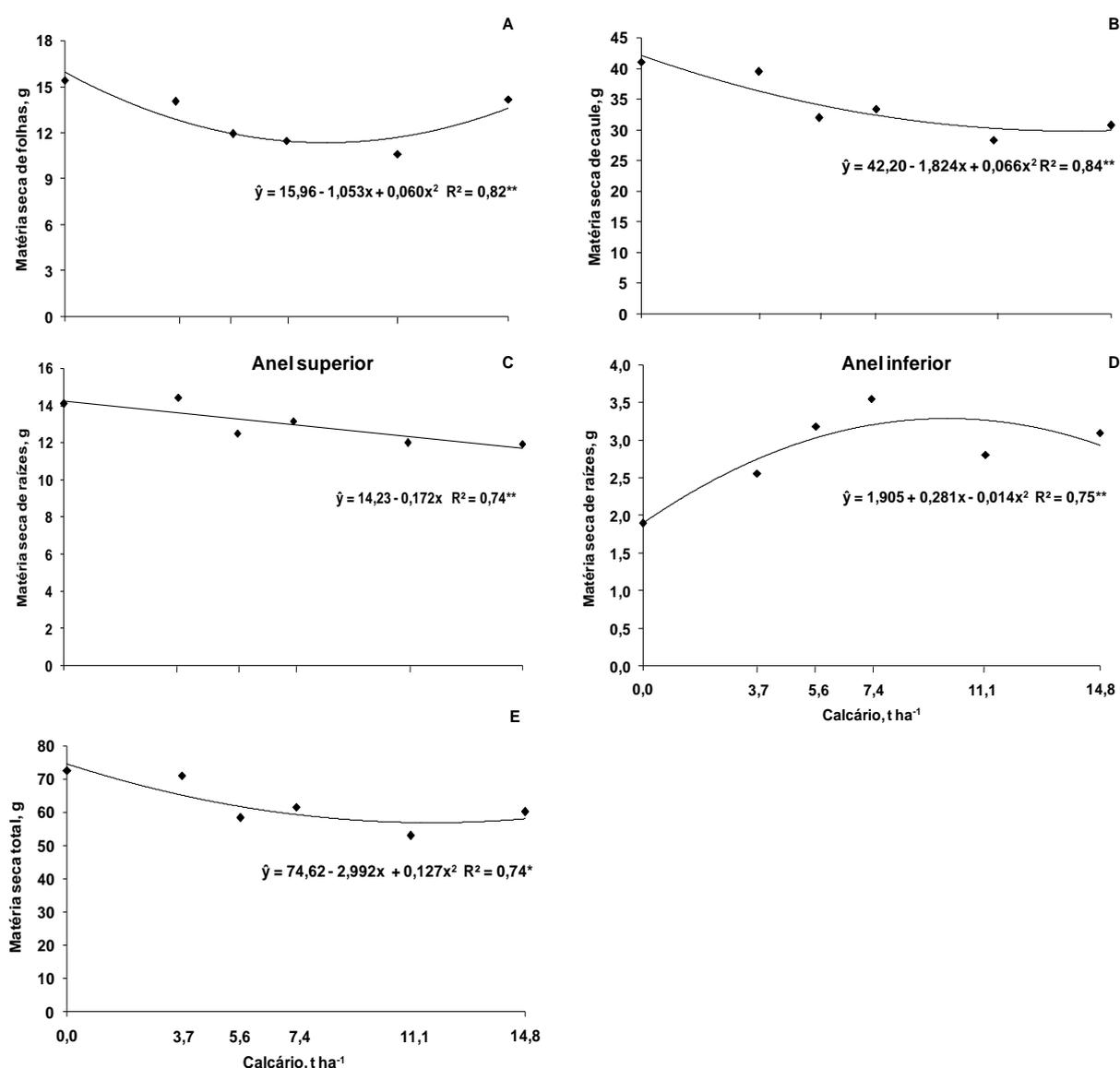


Figura 9. Produção de matéria seca de folhas (A), de caule (B), de raízes na profundidade no anel superior (C), de raízes na profundidade no anel inferior (D) e produção de matéria seca total de planta (E) em função de doses de calcário aplicadas no anel inferior. UNIOESTE – Marechal Cândido Rondon – PR, 2011. (\*\* significativo à 1 % de probabilidade, \* significativo a 5 % de probabilidade).

Veloso et al. (1995) observaram em plantas de pimenta do reino efeito positivo do alumínio na produção de matéria seca das folhas, caule e raízes até a concentração de  $15 \text{ mg L}^{-1}$  de Al em solução nutritiva, sendo constatada a maior produção nesta concentração, o que correspondeu também a uma maior absorção de P, K, Ca, Mg, Mn, Fe e Al. Segundo os autores a adição de  $20 \text{ mg L}^{-1}$  de Al diminuiu a produção da matéria seca e a absorção de nutrientes. Portanto, verificou-se que a pimenteira do reino é acumuladora e tolerante à presença de concentrações de alumínio inferiores a  $20 \text{ mg L}^{-1}$  em solução e que concentrações superiores provocam distúrbios nutricionais na planta.

Em espécies perenes, Salvador et al. (2000), em mudas de goiabeira (*Psidium guajava* L.), observaram que concentrações de Al abaixo de  $10 \text{ mg L}^{-1}$  aumentaram a altura da planta e a área foliar, respectivamente, aos 30 e 90 dias de cultivo em solução nutritiva.

Keltjens e Van Loenen (1989) verificaram que na presença de  $30 \text{ mg L}^{-1}$  de Al não houve redução de crescimento e de produção de matéria seca em *Betula pendula* e *Pinus silvestris*, e nas espécies *Larix decidua* e *Quercus robur* houve até um estímulo na produção de matéria seca na presença de Al em solução nutritiva.

Visualmente não foram observados sintomas de toxidez de Al na parte aérea. Entretanto, observou-se menor volume das raízes no anel inferior nas menores doses de calcário, com presença de  $2,4 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  de Al (48,8 % de saturação por Al).

O teor de Al das raízes no anel superior (Figura 10E) foi menor que o teor nas raízes do anel inferior (Figura 10 G). Na parte aérea verificou-se efeito significativo para os teores nas folhas e no caule. O teor de Al nas folhas atingiu o ponto de mínimo com a dose de calcário de  $8,34 \text{ t ha}^{-1}$  (Figura 10 A). Entretanto, o teor de alumínio no caule aumentou conforme o aumento das doses de calcário (Figura 10 C). Este resultado pode estar relacionado ao crescimento das plantas, uma vez que a altura de plantas decresceu com o aumento das doses de calcário. Este efeito da produção de matéria de seca de caule pode ser visualizado no conteúdo de Al no caule, o qual não apresentou efeito significativo para as doses de calcário.

Foi observada maior concentração de Al nas raízes do que na parte aérea em todas as doses de calcário utilizadas, respostas semelhantes foram observadas para a cultura do cafeeiro sob diferentes saturações por Al (BRACCINI, 2000).

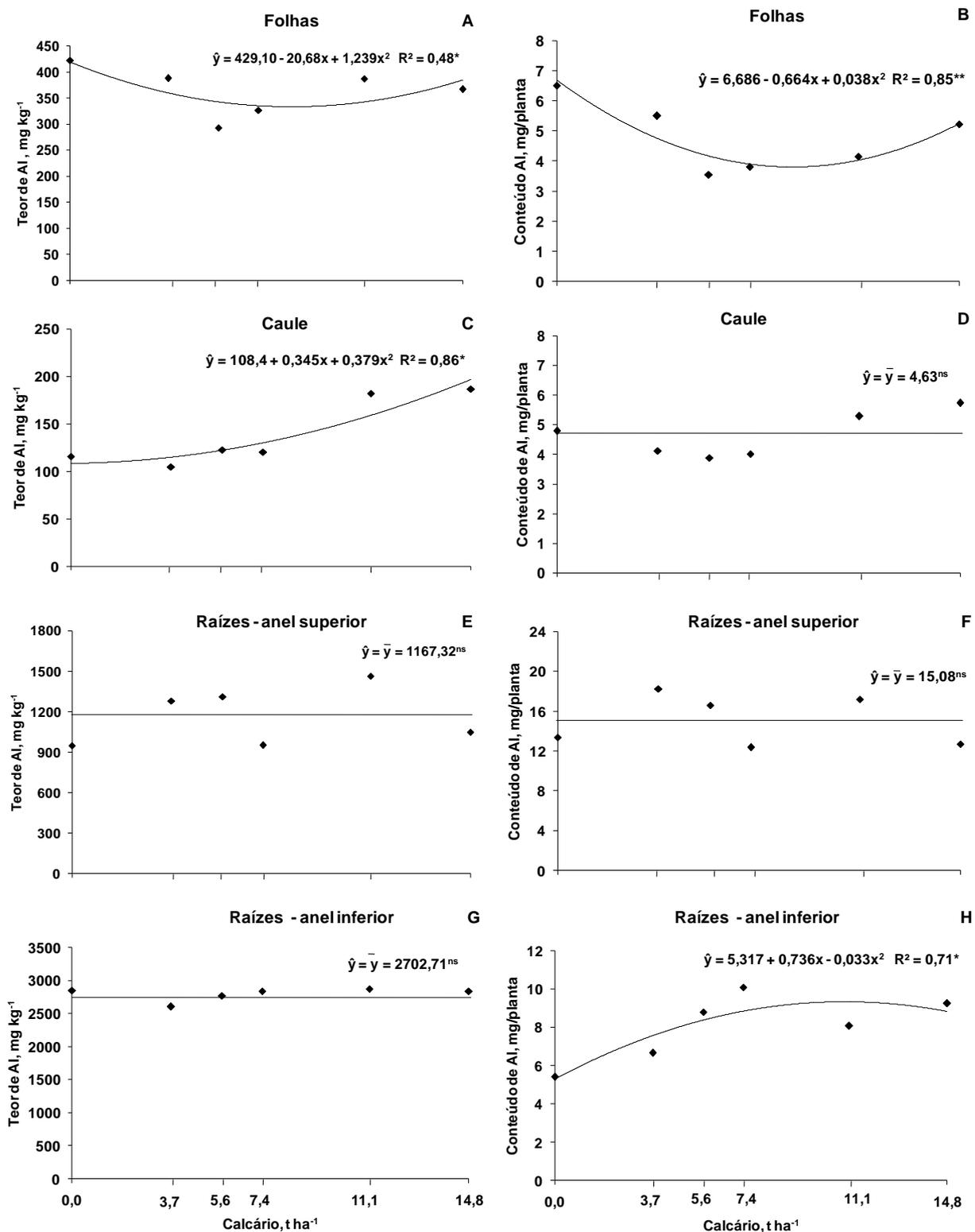


Figura 10. Teor e conteúdo de Al nas folhas, caule, raízes no anel superior e raízes no anel inferior em função de doses de calcário aplicadas no anel inferior. UNIOESTE – Marechal Cândido Rondon – PR, 2011. (\*\*significativo à 1 % de probabilidade). UNIOESTE – Marechal Cândido Rondon – PR, 2011.

O teor de Al nas folhas de plantas cultivadas é em geral menor que 300 mg kg<sup>-1</sup> e as folhas mais velhas apresentam as maiores concentrações. O teor nas raízes pode ser algumas vezes mais alto que nas folhas. Na soja, por exemplo, as folhas apresentam teor de 182 mg kg<sup>-1</sup> de Al e nas raízes chegam ter 8075 mg kg<sup>-1</sup> (MALAVOLTA, 2006).

O conteúdo de Al nas folhas apresentou efeito quadrático, decrescendo até a dose de 8,74 t ha<sup>-1</sup> (Figura 10B). Nas raízes o conteúdo de Al do anel inferior apresentou resposta quadrática aumentando até a dose de 11,1 t ha<sup>-1</sup>, este efeito está relacionado a produção de matéria seca de raízes nesta camada (Figura 9D) que apresentou aumento com incremento das doses de calcário no anel inferior até 10 t ha<sup>-1</sup>.

A pesquisa tem distinguido os mecanismos de tolerância ao Al em duas classes principais: aqueles que atuam no sentido de impedir a entrada do Al pela raiz e aqueles que permitem a planta acumular o Al em locais específicos na planta. A maior parte das pesquisas está focada na exclusão do Al pela exsudação de ácidos orgânicos ativados pela presença do Al no ápice da raiz. Porém, evidências vêm sendo acumuladas num mecanismo de tolerância baseado na desintoxicação interna, onde o Al seria complexado pelos ácidos orgânicos (HARTWIG et al., 2007).

Rodrigues et al. (2006) verificaram que as variedades de cafeeiro Catuaí e Icatu apresentaram diferentes mecanismos de ajuste ao estresse por Al. Catuaí manteve inalteradas as concentrações de Al da parte aérea, enquanto as concentrações radiculares aumentaram com saturações crescentes por Al em subsuperfície, sugerindo a atuação de um mecanismo de exclusão ou compartimentalização do elemento nas raízes. No entanto, a variedade Icatu manteve inalteradas e mais baixas as concentrações radiculares de Al, o que previne a toxidez radicular do elemento, transportando-o para a parte aérea, sugerindo, além de mecanismos de exclusão ou compartimentalização, a atuação de algum mecanismo de tolerância interna ao elemento.

Na análise do tecido vegetal das diferentes partes da plantas houve diferença significativa para o teor de P apenas para caule. Este apresentou efeito quadrático com incremento do teor de P com o aumento das doses de calcário (Figura 11 B).

Para o teor de K, houve efeito significativo para os teores encontrados no caule e nas raízes do anel superior (0-20 cm). O teor de K no caule apresentou resposta cúbica com o aumento das doses de calcário (Figura 11 D) e o teor de K no

anel superior apresentou resposta quadrática, sendo observado na dose de 8,46 t ha<sup>-1</sup> de calcário o menor teor de K. Portanto, o incremento dos teores de Ca e Mg com a calagem influenciam os teores de K nas raízes na camada de 0-20 cm (Figura 11F).

Para se adaptar as condições locais do solo com elevada acidez, diferentes espécie de plantas desenvolveram mecanismos de tolerância ao alumínio. A tolerância ao Al pode ocorrer em plantas eficientes em absorver e translocar P para a parte aérea. Parte do P absorvido é utilizado para precipitar o Al nas raízes, já que, segundo Sousa et al. (2007), os efeitos tóxicos do Al manifestam-se tanto na parte aérea quanto no sistema radicular, por meio de sintomas anatômicos e morfológicos.

Os resultados indicam que a redução na concentração de P no caule na ausência da calagem pode estar associado ao seu acúmulo nas raízes, evidenciando a ocorrência de precipitação de fosfato de alumínio nos tecidos radiculares e a interferência na translocação deste elemento. Outro fator que pode ter influenciado o menor teor P no caule está relacionado ao maior desenvolvimento das plantas nas menores doses de calcário, promovendo um efeito de diluição do P no tecido.

Segundo Londoño e Valencia (1983) a maior parte do alumínio incorporado pelas raízes liga-se a sítios de adsorção na parede celular, e sobre essas superfícies o fosfato se precipita. Seja por precipitação nos espaços livres, seja por adsorção-precipitação na superfície das paredes celulares, há um impedimento da movimentação do fósforo dos tecidos radiculares. Este impedimento pode estar relacionado ao teor de Al no anel inferior, em média de 2702,7 mg kg<sup>-1</sup>, o qual não apresentou variação em função das doses de calcário aplicadas.

Braccini et al. (1998) constaram que a tolerância genótipos de cafeeiro ao Al em solução nutritiva estava associada à menor acúmulo de P nas raízes e maior eficiência no uso deste nutriente, também observaram acúmulo de quantidades elevadas de Al nas raízes. Neste caso, a tolerância ao Al também foi relacionada com menor redução na absorção de Ca e aumento na eficiência deste nutriente.

Por outro lado, o teor de P do solo e a matéria orgânica podem ter contribuído para reduzir a atividade do Al na solução do solo. De acordo com Ernani et al. (2007), o P reage as formas iônicas de Al e de Fe em solos ácidos ou a Ca em solos neutros, formando compostos de composição definida e pouco solúveis.

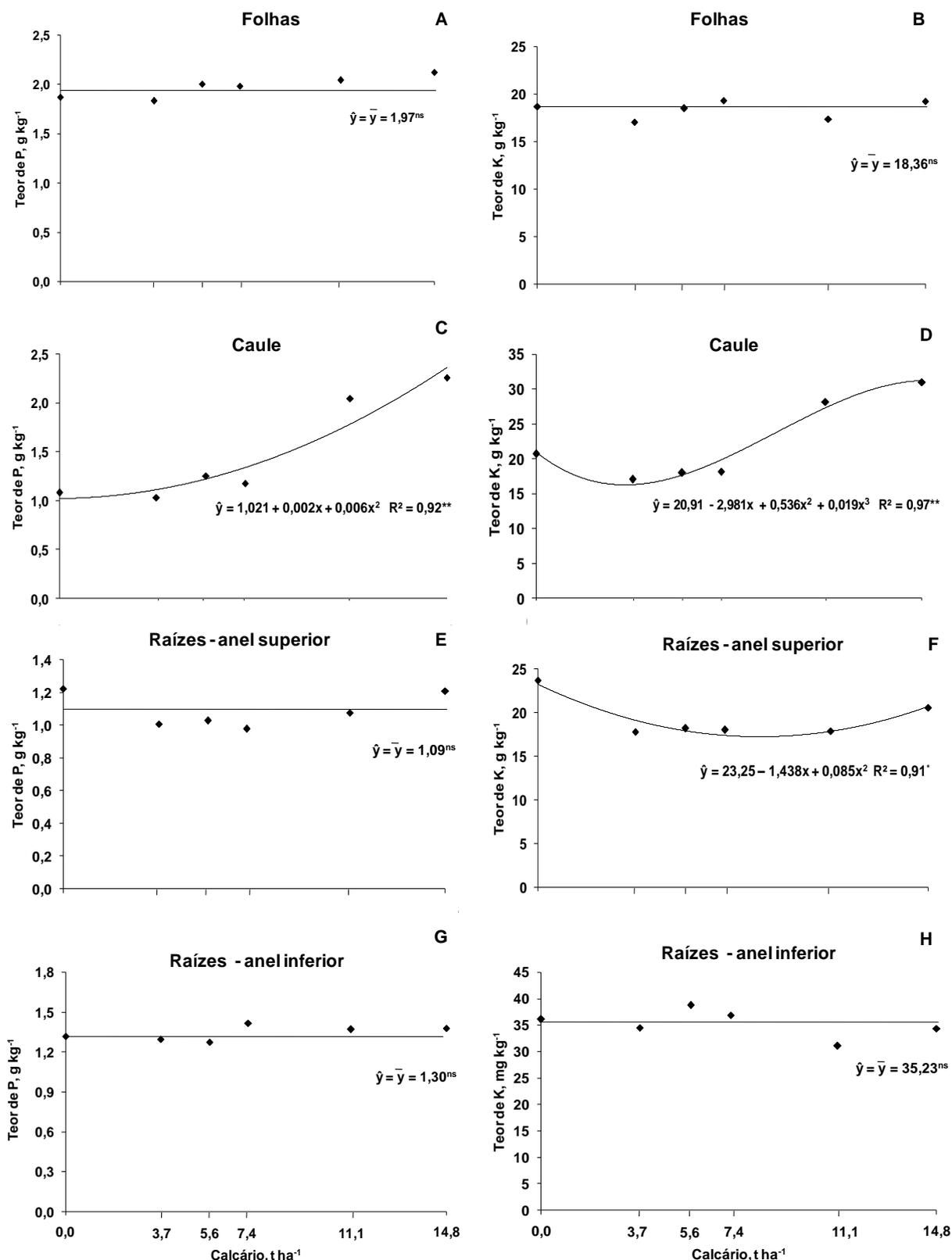


Figura 11. Teor de fósforo (P) e potássio (K) em folhas, caule, raízes no anel superior e raízes no anel inferior em função de doses de calcário no anel inferior. UNIOESTE – Marechal Cândido Rondon – PR, 2011. (\*\* significativo à 1 % de probabilidade).

Para o teor de Ca foi observada diferença significativa para caule e raízes no anel inferior. No caule o teor de Ca aumentou linearmente com o aumento das doses de calcário (Figura 12 C). Nas raízes do anel inferior (20-60 cm) verificou-se resposta quadrática, com teor máximo de  $12,3 \text{ g kg}^{-1}$  de Ca na dose de  $9,24 \text{ t ha}^{-1}$  (Figura 12 G). A redução na concentração de Ca nas raízes do anel inferior pode ser atribuída ao efeito do Al na absorção desse nutriente pela planta.

Em solos ácidos, o Ca cede lugar para o Al no complexo de troca. Desta forma, em condição de acidez do solo com pH menor que 5,5 a disponibilidade de Al é aumentada, afetando portanto, a absorção de Ca (MALAVOLTA, 2006).

O cálcio contribui para o crescimento e desenvolvimento das raízes das plantas (SOUZA et al. 2000), sendo que o aumento da sua concentração no ambiente radicular pode diminuir, por competição, a adsorção do Al à plasmalema das células, e ter funções metabólicas específicas que minimizem os efeitos danosos do Al, como, por exemplo, a estabilização da membrana plasmática pelo Ca (MALAVOLTA, 2006), além disso o aumento da concentração de Ca em solução diminui o efeito tóxico do Al, por reduzir a atividade do  $\text{Al}^{3+}$  na superfície externa da membrana plasmática das células da raiz (SILVA et al., 2005).

Segundo Veloso et al., (2000) a absorção de cálcio pelas raízes é reduzida com o aumento da concentração de Al na solução nutritiva e o aumento da concentração de Ca em solução não diminuiu a toxicidade do Al em plantas de pimenta do reino.

O pinhão-mansão possui alto teor de nutrientes em seus tecidos apresentando a seguinte ordem de acúmulo no limbo foliar:  $\text{N} > \text{Ca} > \text{K} > \text{Mg} > \text{P} > \text{S} > \text{Mn} > \text{Fe} > \text{B} > \text{Zn} > \text{Cu}$ . Segundo Laviola e Dias (2008), o Ca é o nutriente mais exigido para a formação das folhas e o terceiro mais acumulado pelos frutos. Estes autores encontraram teores foliares de 2,8; 13,7; 19,0 e  $4,8 \text{ g kg}^{-1}$  para P, K Ca e Mg, respectivamente. No entanto, para o presente trabalho foram verificados os teores foliares de 1,97; 18,36;  $17,28 \text{ g kg}^{-1}$  para P, K Ca, respectivamente.

Houve resposta linear para o teor de Mg nas folhas, aumentando conforme o incremento das doses de calcário (Figura 12 B). Para o teor de Mg no caule e nas raízes do anel inferior houve resposta quadrática ao aumento das doses de calcário. O teor de Mg no caule decresceu até a dose de  $4,5 \text{ t ha}^{-1}$  e elevou-se a partir desta dose (Figura 12 D).

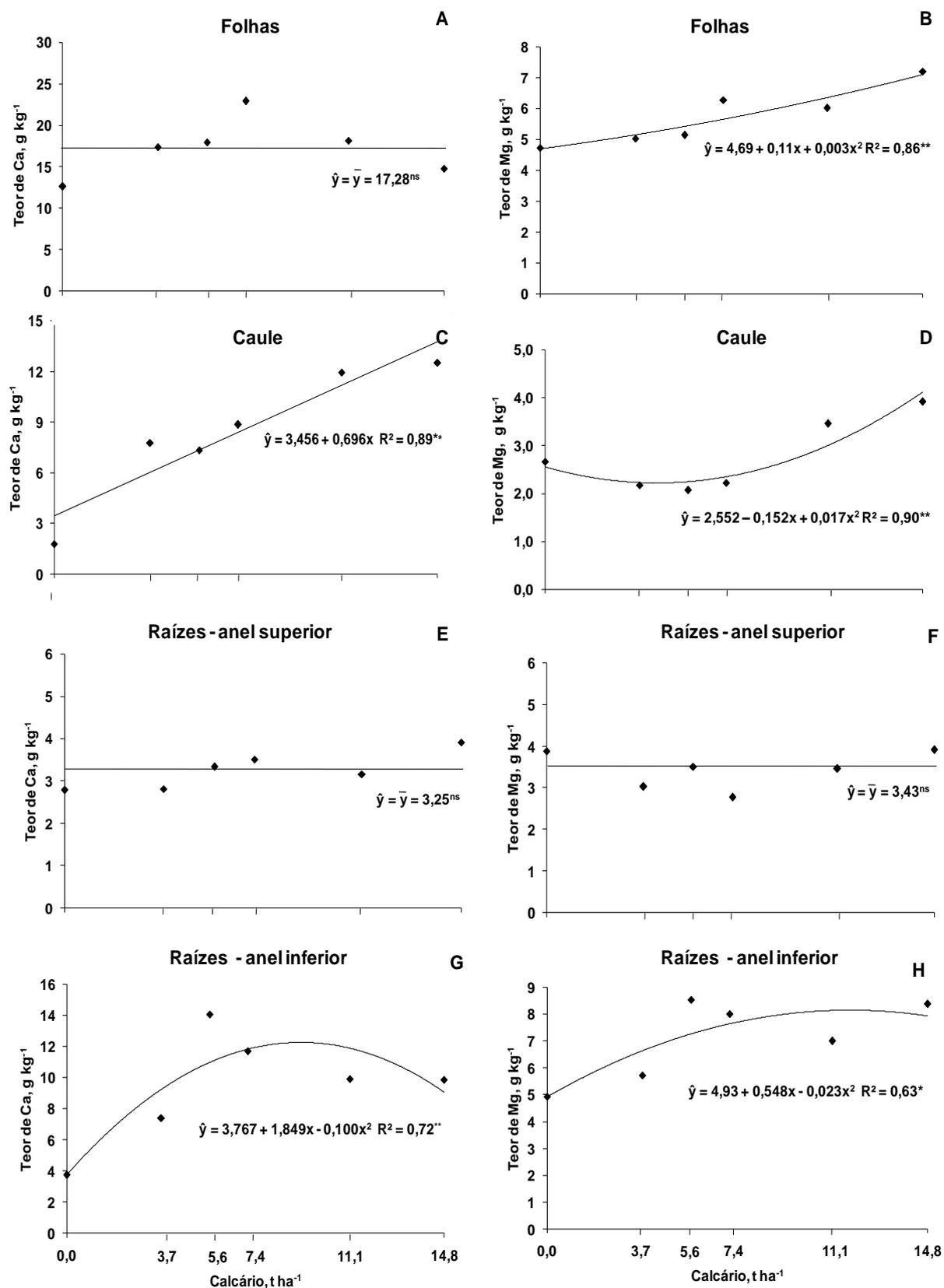


Figura 12. Teor de cálcio (Ca) e magnésio (Mg) em folhas, caule, raízes no anel superior e raízes no anel inferior em função de doses de calcário aplicadas no anel inferior. UNIOESTE – Marechal Cândido Rondon – PR, 2011. (\*\* significativo à 1 % de probabilidade).

A correção do solo no anel superior manteve os teores de Mg constantes nas raízes na profundidade de 0-20 cm (Figura 12 F). De modo geral, o calagem proporcionou aumento no teor de Mg no solo, resultando conseqüentemente em maior absorção deste nutriente, como observado no teor de Mg nas raízes do anel inferior que aumentou até a dose de  $11,9 \text{ t ha}^{-1}$  (Figura 12 H).

O teor de Zn decresceu linearmente nas folhas com o aumento das doses de calcário no anel inferior (Figura 13 A). Foi observada resposta quadrática do teor de Zn para caule e raízes de 20-60 cm (anel inferior), sendo observado o menor teor de Zn na dose de  $7,5 \text{ t ha}^{-1}$  para o caule e  $9,4 \text{ t ha}^{-1}$  de calcário nas raízes do anel inferior (Figura 13 C e G).

De acordo com Malavolta (2006) o pH do solo influencia na disponibilidade e conseqüente absorção de Zn. Em solos ácidos com pH acima de 5,5 o Zn é adsorvido em hidróxidos de Al, Fe e Mn. Nestes solos, o aumento em uma unidade de pH em água dentro dos limites da faixa de 5-7 causa uma diminuição de 30 vezes na concentração em solo ácido. Em alguns solos, entretanto a elevação do pH pode aumentar a disponibilidade devido à dissolução da matéria orgânica ou à formação de  $\text{Zn(OH)}^+$ .

No presente trabalho, houve o aumento no teor de Zn no caule e nas raízes (de 20-60 cm) nos tratamentos com maiores doses de calcário, enquanto que o teor de Zn na folha decresceu linearmente com o incremento das doses de calcário.

O teor de Cu não apresentou variação para caule, raízes na profundidade de 0-20 cm e raízes na profundidade de 20-60 cm (Figura 13D, 13F e 13H). No entanto, houve resposta quadrática para o teor de Cu presente nas folhas, sendo verificado o menor teor na dose de  $8,5 \text{ t ha}^{-1}$  de calcário (Figura 13B). Na planta, uma fração considerável do Cu está nos tecidos foliares, associado à plastocianina e também em proteínas (EPSTEIN e BLOOM, 2006). O Cu trocável está adsorvido à matéria orgânica do solo e o aumento do pH do solo aumenta a energia de ligação do Cu com ácidos húmicos. No entanto, o Cu passa a se tornar disponível após a mineralização da matéria orgânica (DECHEN e NACHTIGALL, 2007).

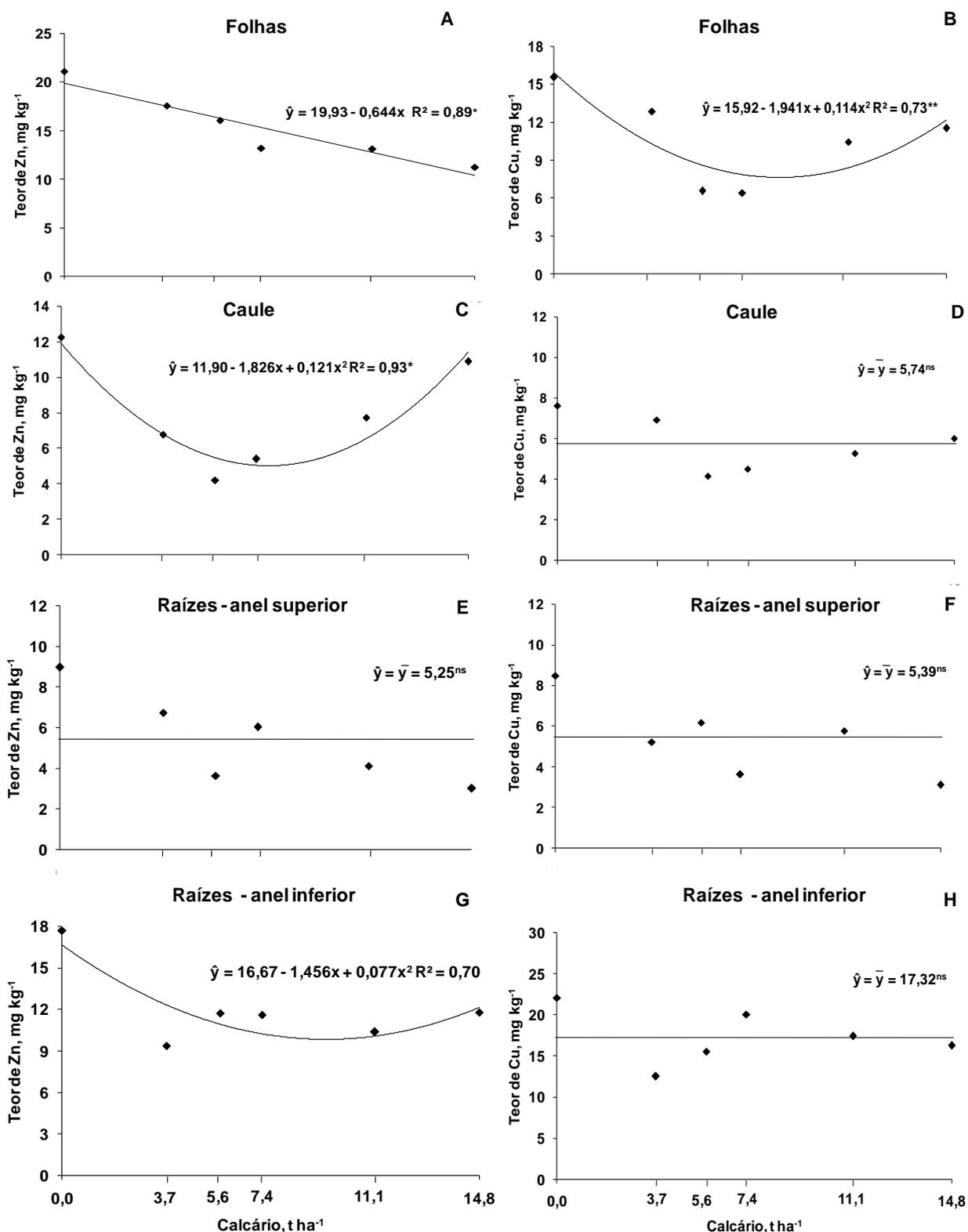


Figura 13. Teor de zinco (Zn) e cobre (Cu) em folhas, caule, raízes no anel superior e raízes no anel inferior em função de doses de calcário aplicadas no anel inferior. UNIOESTE – Marechal Cândido Rondon – PR, 2011. (\*\* significativo à 1 % de probabilidade).

Os nutrientes que menos se acumulam em folhas de pinhão-mansão são o Zn e Cu, sendo verificado teores foliares de 22,7 mg kg<sup>-1</sup> de Zn e 10,0 mg kg<sup>-1</sup> de Cu (LAVIOLA e DIAS, 2008). Em trabalhos de diagnose por subtração, a omissão de Zn e Cu demonstra que a cultura do pinhão-mansão não é exigente nestes nutrientes (ANDRADE et al. (2007). Porém, estes elementos não deixam de ser essenciais para desenvolvimento da cultura, assim, é necessário manter à sua disposição, pelo menos, o teor mínimo necessário para tal.

Gusmão et al. (2007), também avaliando com diagnose por subtração em pinhão-mansão, observaram que a ausência de Zn causa redução nos internódios e aumento no número de folhas.

No presente trabalho a altura de plantas foi maior na ausência de calagem (Figura 6C) que pode ter sido influenciada pelo maior teor de zinco tanto nas folhas como no caule (Figuras 13A e 13C) apresentada pelas plantas na ausência de calagem no anel inferior.

O teor de Mn decresceu linearmente nas folhas com ao aumento das doses de calcário no anel inferior. Foi observada resposta quadrática do teor de Mn para caule, raízes (0-20 cm) e raízes (20-60 cm), sendo observado os teores de 28,6; 8,9 e 40,8 mg kg<sup>-1</sup> para a dose de 14,8 t ha<sup>-1</sup> de calcário, respectivamente. Os teores de Mn no tecido vegetal reduziram severamente a partir da dose de 3,7 t ha<sup>-1</sup> de calcário (Figura 14). A calagem proporcionou a elevação do pH do solo, o que diminuiu a concentração deste Mn na solução do solo e a absorção deste nutriente. Para o Fe não houve efeito significativo no tecido vegetal.

Laviola e Dias (2008), verificaram teores de 314,5 mg kg<sup>-1</sup> de Mn e 150,5 mg kg<sup>-1</sup> Fe em folhas de pinhão-mansão. No entanto, Lima et al., (2011) analisando o teor de Mn em diferentes posições da folha no ramo de pinhão-mansão, verificaram que o Mn tende a se acumular nas folhas mais velhas, sendo que os teores variam de 78,6 mg kg<sup>-1</sup> para as folhas mais novas e 153,5 mg kg<sup>-1</sup> para as mais velhas.

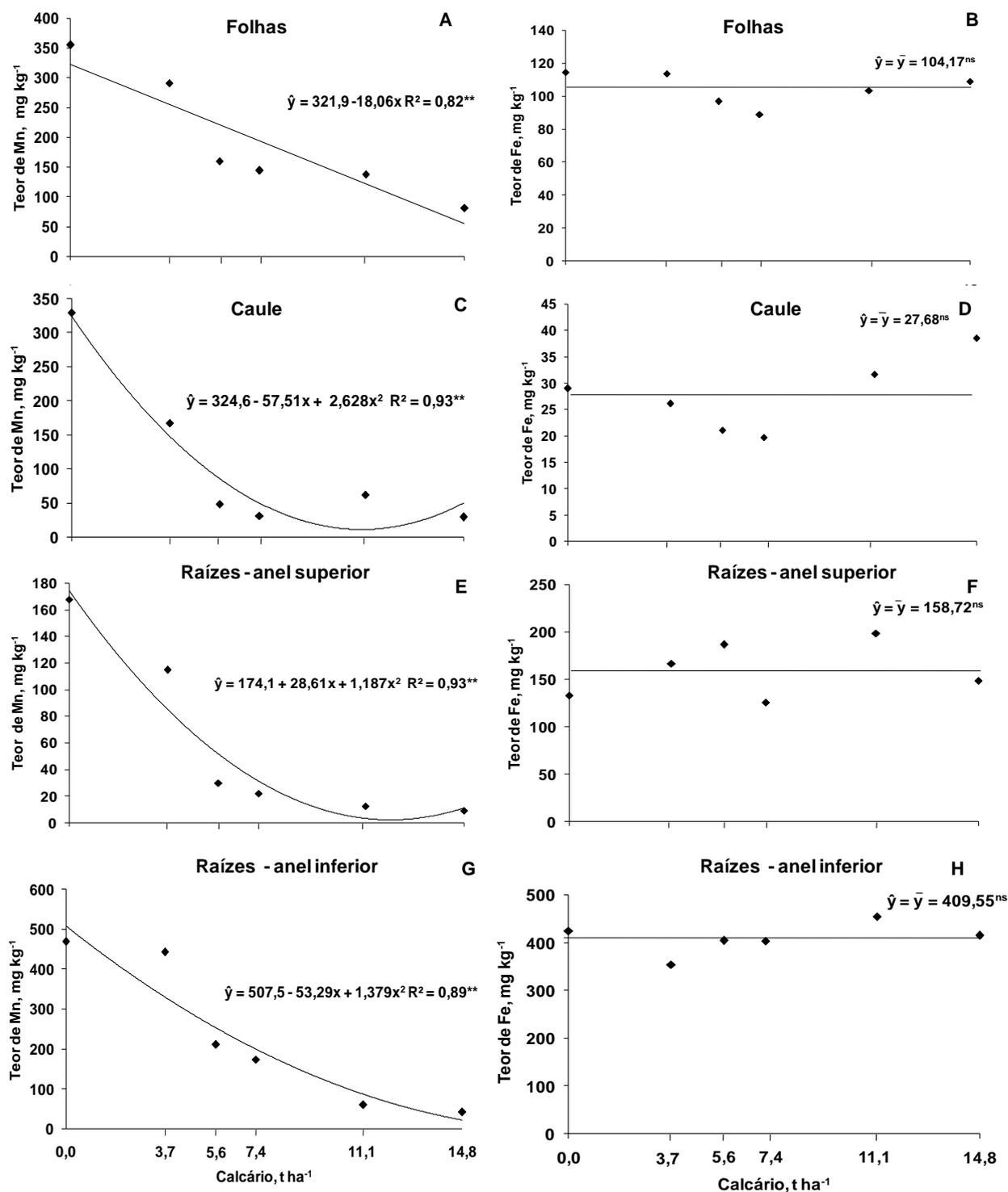


Figura 14. Teor de manganês (Mn) e ferro (Fe) em folhas, caule, raízes no anel superior e raízes no anel inferior em função de doses de calcário aplicadas no anel inferior. UNIOESTE – Marechal Cândido Rondon – PR, 2011. (\*\* significativo à 1 % de probabilidade).

No presente trabalho, o teor foliar de Mn nas doses de 0 e 3,6 t ha<sup>-1</sup> de calcário foram próximos aos valores encontrados por Laviola e Dias (2008). Para as demais doses de calcário, os teores foliares de Mn apresentaram-se dentro da faixa observada por Lima et al., (2011). O teor foliar de Fe (104,17 mg kg<sup>-1</sup>) apresentou-se abaixo do observado por Laviola e Dias (2008).

#### 4.6 Conclusões

- O desenvolvimento da parte aérea do pinhão-mansão não foi limitado pelas doses de calcário em subsuperfície, avaliado pela altura de plantas, diâmetro de caule, produção de matéria seca de folhas, de caule e produção de matéria seca total.
- A diminuição das doses de calcário em subsuperfície reduz o volume e a produção de matéria seca de raízes, e implicando em maior volume e produção de matéria seca de raízes na superfície.
- Os teores de Ca e Mg nas raízes do anel inferior são influenciados pelo aumento das doses de calcário no solo, obtendo-se o teor máximo de 12,3 e 8,2 g kg<sup>-1</sup> doses de 9,24 e 11,91 t ha<sup>-1</sup> respectivamente.
- Doses crescentes de calcário de 0 a 14,8 t ha<sup>-1</sup> reduziram os teores de Zn e Mn na parte aérea e raízes, o que afetou a altura de plantas e volume de raízes.

#### 4.7 Referências

ANDRADE, T. M.; SANTOS, H. O.; SILVA-MANN, R.; BISPO, M. V. C.; SANTOS JUNIOR, J. B. & SANTANA, U. A. **Deficiência de micronutrientes em mudas de *Jatropha curcas* L.: resultados preliminares.** 2007. Disponível em: [http://www.biodiesel.gov.br/docs/congresso\\_2007/agricultura](http://www.biodiesel.gov.br/docs/congresso_2007/agricultura). Acesso em 15 de abr. de 2012.

ARRUDA, F. P.; BETRÃO, N. E. M.; ANDRADE, A. P.; PEREIRA, W. E. & SEVERINO, L. S. Cultivo de pinhão manso (*Jatropha curcas* L.) como alternativa para o semi-árido nordestino. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**, 8:789-799, 2004.

BELTRÃO, N. E. M. Agronegócio das oleaginosas no Brasil. **Informe Agropecuário**, 26: 44-78, 2005.

BRACCINI, M. C. L. **Tolerância ao Al por genótipos de cafeeiro em solução nutritiva e no solo**. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2000. 102p. (Tese de Doutorado)

BRACCINI, M. C. L.; MARTINEZ, H. E. P.; PEREIRA P. R. G.; SAMPAIO, N. F. & PEREIRA, A. A. Tolerância de genótipos de cafeeiro ao alumínio em solução nutritiva. II. Teores de P, Ca e Al e eficiência ao P e Ca. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 22:443-450, 1998.

BRAGA, J. M. & DEFELIPO, B. V. Determinação espectrofotométrica de fósforo em extratos de solo e plantas. **Revista Ceres**, 21:73-85, 1974.

DECHEN, A. R. & NACHTIGALL, G. R. Micronutrientes. In: FERNANDES, M. S., ed. **Nutrição Mineral de Plantas**, Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006, p. 281-298.

DIAS, L. A. S.; LEME, L. P.; LAVIOLA, B. G.; PALLINI FILHO, A.; PEREIRA, O. L.; CARVALHO, M.; MANFIO, C. E.; SANTOS, A. S.; SOUSA, L. C. A.; OLIVEIRA, T. S. & DIAS, D. C. F. S. **Cultivo de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) para produção de óleo combustível**. Viçosa, MG, 2007. v.1. 40p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2.ed. Embrapa Informação Tecnológica. Brasília, 2009. 627 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro, 2006. 412p.

EPSTEIN, E. & BLOOM, A. J. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. Londrina, Planta, 2006. 403p.

ERNANI, P. R.; ALMEIDA, J. A. & SANTOS, F. C. Potássio. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B. & NEVES, J. C. L., ed. **Fertilidade do solo**. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.551-594.

FERREIRA, D. F. Análise estatística por meio do SISVAR (Sistema para Análise de Variância) para Windows versão 4.0. In: Reunião Anual da Região Brasileira da Sociedade Internacional de Biometria, São Carlos, 2000. **Anais**. São Carlos, UFSCar, 2000. p.255-258.

FURLANI, P. R. Efeitos fisiológicos do alumínio em plantas. In: Simpósio Avançado de Solos e Nutrição de Plantas, 2.ed., Piracicaba, 1989. **Anais**. Campinas, Fundação Cargill, 1989. p. 73-90.

GUSMÃO, C. A. G.; FERNANDES, L. A.; D'ANGELIS, S. J.; SOUZA, F. F. O.; VITORINO, D. S. J. & LEITE, G. L. D. **Modificações no crescimento e na área foliar de plântulas de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) ocasionadas por distúrbios nutricionais**. Disponível em:

<<http://www.biodisel.gov.br/docs/congresso2007/agricultura/56.pdf>>. Acesso em 23 mai. 2012.

HARTWIG, I.; OLIVEIRA, A. C.; CARVALHO, F. I. F.; BERTAN, I.; SILVA, J. A. G.; SCHMIDT, D. A. M.; VALÉRIO, I. P.; MAIA, L. C.; FONSECA, D. N. R. & REIS, C. E. S. Mecanismos associados à tolerância ao alumínio em plantas. **Semina Ciências Agrárias**, 28: 219-228, 2007.

KELTJENS, W. G. & VAN LOENEN, E. Effects of aluminum on growth and chemical composition of hydroponically grown seedlings of five different forest tree species. **Plant and Soil**. 119: 39-50, 1989.

LANA, M. do C.; STEINER, F.; FEY, R.; FRANDOLOSO, J. F.; ZOZ, T. Tolerância de plântulas de pinhão-manso a toxicidade de alumínio em solução nutritiva. I: desenvolvimento da parte aérea e sistema radicular. **Synergismus scyentifica UTFPR**: 4: 2009.

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**, 32:1969-1975, 2008.

LIMA, R. L. S.; SEVERINO, L. S.; CAZETTA, J. O.; AZEVEDO, C. A.; SOFIATTI, V. & ARRIEL, N. H. C. Posição da folha e estágio fenológico do ramo para análise foliar do pinhão-manso. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 15:1068-1072, 2011.

LIMA, R. L. S.; SEVERINO, L. S.; FERREIRA, G. B.; SILVA, M. I. L.; ALBUQUERQUE, R. C. & BELTRÃO, N. E. M. Crescimento da mamoneira em solo com alto teor de alumínio na presença e ausência de matéria orgânica **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**, 11:15-21, 2007.

LONDOÑO, M. E. A. & VALENCIA A., G. Toxicidad de alumínio en plantas de café. **Cenicafé**, 34: 61-97, 1983.

MACEDO, F. L.; PEDRA, W. N.; SILVA, S. A.; BARRETO, M. C. V. & MANN, R. S. Efeito do alumínio em plantas de Pinhão-Manso (*Jatropha curcas* L.), cultivadas em solução nutritiva. **Revista Semina**, 32: 157-164, 2011.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo, Ceres, 2006. 638 p.

OLMOS, I. L. & CAMARGO, M. N. Ocorrência de alumínio tóxico nos solos do Brasil, sua caracterização e distribuição. **Ciência e Cultura**, 28:171-180, 1976.

PASSOS, A. R.; SILVA, S. A.; CARVALHO, F. I. F., HARTWIG, I.; CRESTANI, M. & CANÇADO, E. S. **Tolerância de cultivares de mamoneira à toxicidade de alumínio em solução nutritiva**. 2007. Disponível em: <<http://www.cnpa.embrapa.br/produtos/mamona/publicacoes/cbm3/trabalhos/FERTILIDADE%20E%20ADUBACAO/FA%2022.pdf>>. Acesso em 13 mar. 2012.

PEREIRA, J. M.; CAMBRAIA, J.; FONSECA JUNIOR, E. M. & RIBEIRO, C. Efeito do alumínio sobre a absorção, o acúmulo e o fracionamento do fósforo em sorgo. **Revista Bragantia**, 67:961-967, 2008.

RODRIGUES, L. A.; MARTINEZ, H. E. P.; NEVES, J. C. L.; NOVAIS, R. F. & MENDONÇA, S. M. de. Respostas nutricionais de cafeeiros Catuaí e Icatu a doses de calcário em subsuperfície. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 30: 985-995, 2006.

ROSSIELLO, R. O. P. & NETTO, J. J. Toxidez de alumínio em plantas: novos enfoques para um velho problema. In: FERNANDES, M. S., ed. **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p. 375-418.

SALVADOR, J. O.; MOREIRA, A.; MALAVOLTA, E. & CABRAL, C. P. Influência do alumínio no crescimento e na acumulação de nutrientes em mudas de goiabeira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 24:787-796, 2000.

SATURNINO, H. M.; PACHECO, D. D.; KAKIDA, J.; TOMINAGA, N. & GONÇALVES, N. P. Cultura do pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.). **Informe Agropecuário**, 26: 44-78, 2005.

SILVA, I.R.; FERRUFINO, A.; SANZONOWICZ, C.; SMYTH, T. J.; ISRAEL, D. W. & CARTER JUNIOR, T.E. Interactions between magnesium, calcium and aluminum on soybean root elongation. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 29:747-754, 2005.

SOUSA, D. M. G. de; MIRANDA, L. N. & OLIVEIRA, S. A. de. Acidez do solo e sua correção. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B. & NEVES, J. C. L., ed. **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 205-274.

SOUZA, L. F. da; TRINDADE, A. V. & OLIVEIRA, A. M. G. Calagem, exigências nutricionais e adubação. In: **Mamão, produção: aspectos técnicos**. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 2000. p. 26-34.

VELOSO, C. A. C.; MALAVOLTA, E.; MURAOKA, T. & CARVALHO, E. J. M. Alumínio e a absorção de cálcio por mudas de pimenta do reino. **Scientia Agricola**, 57:141-145, 2000.

VELOSO, C. A. C.; MURAOKA, T.; MALAVOLTA, E. & CARVALHO, E. J. M. Efeitos do alumínio em pimenteiros do reino (*Piper nigrum*, L.) cultivadas em solução nutritiva. **Scientia Agricola**, 52:368-375, 1995.