

DJAIR FELIX DA SILVA

**CRESCIMENTO, RENDIMENTO EM ÓLEO E PROTEÍNA E
PARTIÇÃO DE NUTRIENTES DE POPULAÇÕES DE *Jatropha*
curcas L.**

Tese apresentada à Universidade Federal
de Viçosa, como parte das exigências do
Programa de Pós-Graduação em
Fitotecnia, para obtenção do título de
Doctor Scientiae

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2013

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

S586c
2013
Silva, Djair Felix, 1982-
Crescimento, rendimento em óleo e proteína e partição de
nutrientes de populações de *Jatropha curcas* L. / Djair Felix
Silva. – Viçosa, MG, 2013.
xvi, 137f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui anexos.

Orientador: Luiz Antônio dos Santos Dias.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Inclui bibliografia.

1. *Jatropha curcas* - Melhoramento genético. 2. Plantas -
Nutrição. 3. Biodiesel. 4. Pinhão-manso. I. Universidade Federal
de Viçosa. Departamento de Fitotecnia. Programa de
Pós-Graduação em Fitotecnia. II. Título.

CDD 22. ed. 633.85

DJAIR FELIX DA SILVA

**CRESCIMENTO, RENDIMENTO EM ÓLEO E PROTEÍNA E
PARTIÇÃO DE NUTRIENTES DE POPULAÇÕES DE *Jatropha*
curcas L.**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*

APROVADA: 27 de junho de 2013.

Prof. Dr. Júlio César Lima Neves
(Co-orientador)

Prof. Dr. Renildes Lúcio Ferreira Fontes

Prof. Dr. José Antônio Saraiva Grossi

Prof. Dr. Fábio Santos Matos

Prof. Dr. Luiz Antônio dos Santos Dias
(Orientador)

A Deus,

A toda minha família, em especial

Aos meus pais Djalma Felix da Silva e Edleuza Freitas das
a meus irmãos Francielle Felix e Deivisson Felix,
a minha esposa Isabel Cardoso,
e a meu filho Ian Cardoso Felix.

Ofereço

Ao meu filho Ian Cardoso Felix, pela minha ausência em
corpo nos seus dois primeiros anos de vida e a minha
esposa Isabel Cardoso que soube entender e
suprir minha ausência.

Dedico

AGRADECIMENTOS

À Deus, quem devo minha existência, vitórias e conquistas alcançadas.

À Universidade Federal de Viçosa, especialmente ao Departamento de Fitotecnia e ao Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, pela oportunidade da realização deste aperfeiçoamento.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos.

Ao Professor Luiz Antônio pelos ensinamentos e experiências transmitidas, que além de orientador é um grande amigo.

Ao Professor Júlio Neves pelos conselhos, sugestões e ensinamentos.

Aos Professores membros da banca examinadora Renildes Lúcio Ferreira Fontes, José Saraiva Grossi e Fábio Santos Matos pelas grandiosas considerações apresentadas com o objetivo de valorizar o trabalho realizado.

Aos Professores da Universidade Federal de Viçosa, pela valiosa contribuição e ensinamento durante as disciplinas cursadas.

A todos da “Equipe *Jatropha*” que contribuíram para a realização deste trabalho, em especial aos amigos Ricardo Galvão, Claudinei Guimarães, Anderson Evaristo, Fábio Matos, Poliane Cardoso, Lucimar Rodrigues, Marilene Lima e Romero Souza.

À todos os funcionários do Vale da Agronomia, pela amizade e ajuda na condução do experimento que proporcionou a elaboração deste trabalho.

Aos laboratoristas do Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas do Departamento de Fitotecnia, UFV, Domingos e Itamar, pelo auxílio fundamental nas análises.

Aos irmãos de república, “Terreiro de Pai José”, Chrystian Soares Mendes, Rafael Viana, Conrado Vieira, Thiago Maia, Filipi Moraes e Luiz Figueredo pelos incentivos e companheirismo.

Um agradecimento especial a minha família e a minha esposa pela paciência, amor, amizade, colaboração e apoio no decorrer desses anos, e a meu filho pela ausência em corpo nos seus primeiros anos de vida.

Enfim, o meu reconhecimento e a minha gratidão a todos aqueles que, de alguma forma, auxiliaram na realização deste trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS -----	vii
LISTA DE FIGURAS -----	ix
RESUMO -----	xii
ABSTRACT -----	xiv
1. INTRODUÇÃO GERAL -----	1
2. REFERÊNCIAS -----	5
CAPÍTULO 1: CRESCIMENTO E RENDIMENTO EM ÓLEO E PROTEÍNA DE POPULAÇÕES DE <i>Jatropha curcas</i> L -----	10
RESUMO -----	11
ABSTRACT -----	12
1. INTRODUÇÃO -----	13
2. MATERIAL E MÉTODOS -----	16
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO -----	21
3.1. Efeito das populações -----	21
3.2. Efeito das fases fenológicas -----	26
3.3. Efeito dos estratos na copa -----	29
3.4. Efeito das interações -----	30
4. CONCLUSÕES -----	33
5. REFERÊNCIAS -----	34
CAPÍTULO 2: TEORES E ACÚMULOS DE NUTRIENTES EM FOLHAS E FRUTOS DE <i>Jatropha curcas</i> L. EM FUNÇÃO DA POPULAÇÃO, FASE FENOLÓGICA E LOCALIZAÇÃO NA PLANTA -----	41
RESUMO -----	42
ABSTRACT -----	43
1. INTRODUÇÃO -----	44
2. MATERIAL E MÉTODOS -----	48

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	53
3.1. Teor de nutrientes nas folhas e frutos	53
3.1.1. Efeito das populações	53
3.1.2. Efeito das fases fenológicas	55
3.1.3. Efeito dos estratos na copa	60
3.1.4. Efeito das interações	64
3.2. Acúmulo de nutrientes nas folhas e frutos	71
3.2.1. Efeito das populações	71
3.2.2. Efeito das fases fenológicas	74
3.2.3. Efeito dos estratos na copa	79
3.2.4. Efeito das interações	81
3.3. Exportação de nutrientes	92
4. CONCLUSÕES	95
5. REFERÊNCIAS	96

CAPÍTULO 3: CORRELAÇÃO ENTRE OS TEORES DE NUTRIENTES DAS FOLHAS E FRUTOS DE <i>Jatropha curcas</i> L. COM A PRODUTIVIDADE DE GRÃOS E TEORES DE ÓLEO E PROTEÍNA	103
RESUMO	104
ABSTRACT	105
1. INTRODUÇÃO	106
2. MATERIAL E MÉTODOS	108
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	112
4. CONCLUSÕES	122
5. REFERÊNCIAS	123
ANEXOS	130

BIOGRAFIA

DJAIR FELIX DA SILVA nasceu em Maceió, AL, aos 07 dias do mês de dezembro de 1982. Em fevereiro de 2001 ingressou no Curso de Agronomia na Universidade Federal de Alagoas (UFAL), concluindo-o em dezembro de 2005. Em fevereiro de 2006 iniciou seus estudos no Mestrado em Produção Vegetal na Universidade Federal de Alagoas, concluindo-o em junho de 2008. Em agosto de 2009 ingressou no Doutorado em Fitotecnia na Universidade Federal de Viçosa (UFV), em Viçosa, MG.

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1

Tabela 1 - Análise química do solo da área experimental nas profundidades de 0 a 20 cm e de 20 a 40 cm -----	17
Tabela 2 - Médias de altura de plantas, diâmetro caulinar, matéria seca (MS) da folha e do fruto, produtividade de grãos e teores de óleo e proteína de seis populações de <i>J. curcas</i> -----	21
Tabela 3 - Teores de óleo mínimo, médio e máximo de populações de <i>J. curcas</i> relatados na literatura -----	24
Tabela 4 - Teores de proteína em grãos de populações de <i>J. curcas</i> relatados na literatura -----	25
Tabela 5 - Médias de altura de plantas, diâmetro caulinar, matéria seca (MS) da folha e do fruto e teores de óleo e proteína de populações de <i>J. curcas</i> em quatro fases fenológicas -----	26
Tabela 6 - Médias de matéria seca (MS) da folha e do fruto e dos teores de óleo e proteína de populações de <i>J. curcas</i> em três estratos na planta -----	29

CAPÍTULO 2

Tabela 1 - Análise química do solo da área experimental nas profundidades de 0 a 20 cm e de 20 a 40 cm -----	49
Tabela 2 - Teores médios de macronutrientes e micronutrientes nas folhas e nos frutos de populações de <i>J. curcas</i> -----	54
Tabela 3 - Teores médios de macronutrientes e micronutrientes nas folhas e nos frutos de populações de <i>J. curcas</i> em função das épocas de amostragem -	58
Tabela 4 - Teores médios de macronutrientes e micronutrientes nas folhas e nos frutos de populações de <i>J. curcas</i> coletadas em diferentes estratos na planta -----	62

Tabela 5 - Acúmulo de macronutrientes e micronutrientes nas folhas e nos frutos de populações de <i>J. curcas</i> -----	72
Tabela 6 - Acúmulo de macronutrientes e micronutrientes nas folhas e nos frutos de populações de <i>J. curcas</i> em função das épocas de amostragem ----	75
Tabela 7 - Acúmulo de macronutrientes e micronutrientes nas folhas e nos frutos de populações de <i>J. curcas</i> coletadas em diferentes estratos na planta	80
Tabela 8 - Exportação de macronutrientes pela produção de 1.000 kg ha ⁻¹ de frutos de populações de <i>J. curcas</i> -----	93
Tabela 9 - Exportação de micronutrientes pela produção de 1.000 kg ha ⁻¹ de frutos de populações de <i>J. curcas</i> -----	93

CAPÍTULO 3

Tabela 1 - Análise química do solo da área experimental nas profundidades de 0 a 20 cm e de 20 a 40 cm -----	109
Tabela 2 - Matriz de correlação linear de Pearson (r) entre as médias de produtividades de grãos (PG), teores de óleo (TO) e proteína (TPR) nos grãos e macro e micronutrientes nas folhas e frutos de <i>J. curcas</i> -----	113

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

- Figura 1** - Dados meteorológicos de precipitação (mm) e temperatura máxima e mínima (°C) durante o período experimental, coletados na Estação Meteorológica da Universidade Federal de Viçosa-MG. ----- 16
- Figura 2** - (A) coleta das folhas e dos frutos quanto à localização na copa das plantas e (B) forma de coleta das folhas em quadrantes ----- 19
- Figura 3** - Efeito da interação fase fenológica x estrato para matéria seca das folhas de *J. curcas*. ----- 31
- Figura 4** - Efeito da interação fase fenológica x estrato para matéria seca dos frutos de *J. curcas*. ----- 32

CAPÍTULO 2

- Figura 1** - Dados meteorológicos de precipitação (mm) e temperatura máxima e mínima (°C) durante o período experimental, coletados na Estação Meteorológica da Universidade Federal de Viçosa-MG. ----- 48
- Figura 2** - (A) coleta das folhas e dos frutos quanto à localização na copa das plantas e (B) forma de coleta das folhas em quadrantes. ----- 51
- Figura 3** - Efeito da interação fase fenológica x estrato para os teores de Zn nas folhas de *J. curcas*. ----- 65
- Figura 4** - Efeito da interação fase fenológica x estrato para os teores de Fe nas folhas de *J. curcas*. ----- 65
- Figura 5** - Efeito da interação fase fenológica x estrato para os teores de Mn nas folhas de *J. curcas*. ----- 66

Figura 6 - Efeito da interação população x fase fenológica para os teores de N nos frutos de <i>J. curcas</i> . -----	67
Figura 7 - Efeito da interação população x estrato para os teores de Zn nos frutos de <i>J. curcas</i> . -----	68
Figura 8 - Efeito da interação população x estrato para os teores de Cu nos frutos de <i>J. curcas</i> . -----	69
Figura 9 - Efeito da interação fase fenológica x estrato para os teores de Cu nos frutos de <i>J. curcas</i> . -----	69
Figura 10 - Efeito da interação população x fase fenológica para o acúmulo de Zn nas folhas de <i>J. curcas</i> . -----	82
Figura 11 - Efeito da interação fase fenológica e estrato para o acúmulo de N nas folhas de <i>J. curcas</i> . -----	83
Figura 12 - Efeito da interação fase fenológica e estrato para o acúmulo de P nas folhas de <i>J. curcas</i> . -----	83
Figura 13 - Efeito da interação fase fenológica e estrato para o acúmulo de K nas folhas de <i>J. curcas</i> . -----	84
Figura 14 - Efeito da interação fase fenológica e estrato para o acúmulo de Ca nas folhas de <i>J. curcas</i> . -----	85
Figura 15 - Efeito da interação fase fenológica e estrato para o acúmulo de Mg nas folhas de <i>J. curcas</i> . -----	86
Figura 16 - Efeito da interação fase fenológica e estrato para o acúmulo de S nas folhas de <i>J. curcas</i> . -----	87
Figura 17 - Efeito da interação fase fenológica e estrato para o acúmulo de Zn nas folhas de <i>J. curcas</i> . -----	88
Figura 18 - Efeito da interação fase fenológica e estrato para o acúmulo de Mn nas folhas de <i>J. curcas</i> . -----	88

Figura 19 - Efeito da interação fase fenológica e estrato para o acúmulo de Cu nas folhas de <i>J. curcas</i> . -----	89
Figura 20 - Efeito da interação fase fenológica e estrato para o acúmulo de N nos frutos de <i>J. curcas</i> . -----	90
Figura 21 - Efeito da interação fase fenológica e estrato para o acúmulo de K nos frutos de <i>J. curcas</i> . -----	91
Figura 22 - Efeito da interação fase fenológica e estrato para o acúmulo de Cu nos frutos de <i>J. curcas</i> . -----	92

CAPÍTULO 3

Figura 1 - Dados meteorológicos de precipitação (mm) e temperatura máxima e mínima (°C) durante o período experimental, coletados na Estação Meteorológica da Universidade Federal de Viçosa-MG. -----	108
---	-----

RESUMO

SILVA, Djair Felix da. Universidade Federal de Viçosa, junho de 2013. **Crescimento, rendimento em óleo e proteína e partição de nutrientes de populações de *Jatropha curcas* L.** Orientador: Luiz Antônio dos Santos Dias. Co-orientadores: Júlio César Lima Neves e Denise Cunha Fernandes dos Santos Dias.

Jatropha curcas L., conhecida popularmente como pinhão manso, é uma euforbiácea, de cujos grãos é extraído o óleo com características físico-químicas ideais para obtenção do biodiesel. É uma planta rústica, tolerante ao déficit hídrico, a pragas e doenças, e adaptável à diversas condições edafoclimáticas. Apesar dessas vantagens, pouco se sabe sobre a nutrição dessa espécie em cultivo. O objetivo do presente estudo foi avaliar o crescimento, os rendimentos de grãos, óleo e proteína e a partição de nutrientes em populações de *J. curcas*. O estudo foi conduzido no Campo Experimental Diogo Alves de Mello, pertencente à Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, Brasil, no período de novembro de 2011 à fevereiro de 2012. Utilizou-se o delineamento em blocos casualizados com quatro repetições, sendo os tratamentos dispostos em parcelas subdivididas. As parcelas foram compostas de clones de seis populações de *J. curcas*, oriundas dos municípios mineiros de Janaúba (J1, J2, J3, J4 e J5) e Bonfim (B1). As subparcelas foram constituídas de quatro fases fenológicas de amostragem (florescimento, frutos verdes, frutos amarelos e frutos secos), e as subsubparcelas, de três estratos de coleta na copa das plantas (superior, médio e inferior). As parcelas foram compostas de quatro plantas com quatro anos e meio de campo, espaçadas de 2,5 m entre si. As características avaliadas foram altura de plantas, diâmetro caulinar, matéria seca das folhas e frutos, produtividade de grãos, teores de óleo e proteína, concentração e acúmulo de nutrientes nas folhas e frutos e exportação de nutrientes. Investigou também o grau de associação entre os conteúdos de nutrientes das folhas e dos frutos, com a produtividade de grãos e com os teores de óleo e proteína através da correlação. Verificou-se que as populações diferiram para altura de planta, diâmetro caulinar e matéria seca foliar. No

caso das fases fenológicas, apenas a altura não apresentou efeito significativo. A matéria seca foliar apresentou diferença para os estratos. As populações diferiram quanto aos teores e acúmulo de nutrientes nas folhas e frutos. Observou-se também que as fases fenológicas e os estratos na copa das plantas são determinantes na obtenção dos teores e acúmulos de nutrientes, e que as plantas exportam grande quantidade de nutrientes da área de cultivo pela produção dos frutos. Em relação à correlação, verificou-se associação entre os teores de nutrientes, tanto das folhas quanto dos frutos. Para as folhas, a maioria das correlações significativas foram positivas (0,42 a 0,79), e para os frutos, constatou-se a mesma proporção entre positiva (0,40 a 0,65) e negativa (-0,58 a -0,43). Para os componentes de produção, somente a produtividade de grão foi influenciada pelo teor foliar, sendo o Mg, o responsável pelo efeito negativo (-0,594). No caso dos frutos, apenas a produtividade e o teor de proteína dos grãos foram influenciados pelos teores de nutrientes. Não se observou correlação significativa entre os componentes de produção. Concluiu-se que a população J5 se destacou entre as demais pelo fato de apresentar as maiores médias de altura e diâmetro caulinar, enquanto que a população J2 apresentou o maior peso seco foliar. As populações não diferiram quanto à matéria seca dos frutos, produção de grãos e teores de óleo e proteínas. Os frutos devem ser colhidos maduros por apresentar os maiores teores de óleo, proteína e peso seco. E a localização dos frutos na planta não influencia os teores de óleo e proteína dos grãos. Há variabilidade genética entre as populações somente para o teor foliar de Zn, destacando-se a J4 pelo maior teor. Também verificou-se variabilidade genética para os teores de P, Fe e Cu nos frutos, encontrando-se as maiores médias nas populações J2 para P; J1 para Fe e J2 e J5 para o Cu. Os teores e acúmulos de todos os nutrientes determinados nas folhas e frutos variaram com a fase fenológica. A localização das folhas influenciou nos teores de N, K, Ca, Mg, Zn, Fe, Mn e Cu, e dos frutos os teores de N, Ca e Cu. Observou-se a ocorrência de variabilidade genética entre populações para os acúmulos foliares de N, P, S e Zn, e para os frutos, apenas o Cu apresentou variabilidade genética,

destacando-se as populações J2, J3, J4 e J5 pelos maiores conteúdos. Os estratos influenciaram nos acúmulos foliares de todos os nutrientes avaliados, enquanto nos frutos, somente os acúmulos de N e Ca foram influenciados. Somente a exportação de Cu foi influenciada pela população, destacando-se a J5 pela maior exportação. Baseada na exportação de N: P₂O₅: K₂O pela produção de 1.000 kg ha⁻¹ de frutos de *J. curcas*, recomenda-se a aplicação de proporcional de 4,62: 1,70: 4,73. Concluiu-se que os teores de nutrientes dos frutos são mais sensíveis às interações do que os das folhas, os teores foliares de micronutrientes são determinantes nos teores dos outros micronutrientes, e que os teores de nutrientes nos frutos influenciam na produção de grãos e o nos teores de proteínas.

ABSTRACT

SILVA, Djair Felix da. Universidade Federal de Viçosa, June, 2013. **Growth, oil and protein yield and nutrient partitioning of *Jatropha curcas* L. populations.** Adviser: Luiz Antônio dos Santos Dias. Co-advisers: Júlio César Lima Neves and Denise Cunha Fernandes dos Santos Dias.

Jatropha curcas L., popularly known as physic nut, is an euforbiacea plant, whose grain is extracted oil with physicochemical characteristics ideal for obtaining biodiesel. Is a rustic plant, tolerant to water deficit, pests and diseases, and adaptable to many soil and climate conditions. Despite these advantages, little is known about the nutrition of this species in cultivation. The objective of the present study was to evaluate growth, yields of grain, oil and protein and the partition of nutrients in populations of *J. curcas*. The study was conducted in the Experimental Field Diogo Alves de Mello, in the Federal University of Viçosa, Minas Gerais, Brazil, in the period of November 2011 to February 2012. It was used randomized block design with four replications, being arranged in split-plot. The plots were composed of clones of six *J. curcas* populations, from the municipalities of Janaúba (J1, J2, J3, J4 and J5) and Bonfim (B1). The subplots were constituted of four phenological phases of sampling (flowering, unripe fruit, yellow fruits and dried fruit), and the subsubplots, of three strata of plant (top, middle and bottom). The plots were composed of four plants with four and a half years of field, spaced 2.5 m from each other. The traits evaluated were plant height, stem diameter, dry weight of leaves and fruits, grain yield, oil and protein levels, concentration and accumulation of nutrients in leaves and fruits and export of nutrients. It was investigated also the degree of association, by correlation, between the nutrient content of the leaves and the fruits, with the grain yield and oil and protein content. It was found that the populations differed for plant height, stem diameter, and leaf dry matter. In the case of phenological stages, only the plant height showed no significant effect. The leaf dry matter showed difference to the strata. Populations differed as to the contents and accumulation of nutrients in

leaves and fruits. We also observed that the phenological stages and the strata in the tops of the plants are crucial in achieving the levels and nutrient accumulations, and plants to export large amounts of nutrients of cultivation area for the fruit production. In relation to correlation, association between the levels of nutrients, both the leaves and the fruits, was found. For the leaves, the most significant correlations (0.42 to 0.79) were positive, and for the fruits, it found the same proportion between positive (0.40 to 0.65) and negative (-0.58 to -0.43). For the yield components, only the grain yield was influenced by the leaf Mg content, responsible for the negative effect (-0.594). In the case of fruit, only productivity and grain protein content were influenced by levels of nutrients. No significant correlation was observed between the yield components. It was concluded that the J5 population stood out among the rest because the largest averages of plant height and stem diameter, while the J2 population presented larger dry weight leaf. Populations did not differ as to the fruits, dry matter production of grain and oil and proteins contents. The fruits should be harvested ripe for presenting the highest levels of oil, protein and dry weight. The location of the fruits on the plant does not influence oil and protein contents of grain. There is genetic variability between populations only for the leaf content of Zn, highlighting the J4 to the highest level. Also found genetic variability for the levels of P, Fe and Cu in fruit, and is the largest mean in the J2 populations to P; J1 to Fe, and J2 and J5 to Cu. All nutrients in their contents and accumulation determined in the leaves and fruits varied with phase phenology. The location of leaves influenced in the contents of N, K, Ca, Mg, Zn, Fe, Mn and Cu, and the contents of N, Ca and Cu in the fruits. Occurrence of genetic variability between populations for the foliar accumulations of N, P, S and Zn, and for the fruits, only Cu presented genetic variability, notably J2, J3, J4, and J5 populations by larger content. The strata influenced in leaf accumulation of all nutrients measured, while in fruit, only the accumulations of N and Ca were influenced. Only the export of Cu was influenced by the population, especially the J5 population for the largest export. Based on export of N: P₂O₅: K₂O by yield of 1,000 kg

ha⁻¹ of fruits of *J. curcas*, we recommend the application of proportional 4.62: 1.70: 4.73. It was concluded that the levels of nutrients of fruits are more sensitive to interactions than the leaf, leaf levels of micronutrients are essential in content of other micronutrients, and that the levels of nutrients in the fruits influence on grain yield and protein content.

1. INTRODUÇÃO GERAL

Os crescentes níveis de gases de efeito estufa (GEE) emitidos na atmosfera têm impulsionado a busca por fontes renováveis de energia. Visando reduzir o consumo de combustíveis fósseis, e a consequente emissão destes gases, é necessário optar por fontes alternativas de energia que provoquem menores impactos ao meio ambiente. Os biocombustíveis têm se apresentado como uma excelente alternativa energética por serem fontes de energia limpas e renováveis.

Biocombustíveis são todos os produtos capazes de gerar energia a partir de biomassa, tais como: carvão vegetal (madeira), álcool (açúcares – glicose, amido, celulose), biogás (biomassa em geral) e biodiesel (óleo e gorduras) (OLIVEIRA et al., 2008). Estes biocombustíveis podem substituir parcial ou totalmente os combustíveis derivados do petróleo e gás natural (ANP, 2013). Trata-se de uma alternativa vantajosa, uma vez que, além de poluírem menos, os biocombustíveis apresentam processo de produção mais limpo (OLIVEIRA et al., 2008). Segundo a ANP (2013) em estudos do National Biodiesel Board (associação que representa a indústria de biodiesel nos Estados Unidos) a queima de biodiesel pode emitir em média 48% menos monóxido de carbono; 47% menos material particulado (que penetra nos pulmões); 67% menos hidrocarbonetos.

No Brasil, o principal biocombustível utilizado nos motores de combustão é o etanol extraído da cana-de-açúcar, e em escala crescente, o biodiesel, que é produzido pela transesterificação dos triglicerídeos de óleos vegetais e gordura animal com álcoois de cadeia curta (SUAREZ & MENEGHETTI, 2007; LÔBO et al., 2009). As principais matérias-primas utilizadas para a produção do biodiesel no Brasil são soja, gordura animal e algodão com contribuições de 81%, 13% e 4% respectivamente, sendo os outros materiais responsáveis por apenas 2% dessa produção (ANP, 2013). É necessário, portanto, diversificar a produção de matéria-prima para produção de biodiesel, utilizando oleaginosas com potencial bioenergético,

como a *Jatropha curcas* L. (HELLER et al., 1996; DIAS et al., 2007; JONGSCHAAP et al., 2007; BEHERA et al., 2010).

J. curcas pertence à família Euphobiaceae, a mesma da mandioca, mamona e seringueira. Caracteriza-se como um arbusto de crescimento rápido que pode atingir 5 m de altura, e até 20 cm de diâmetro caulinar (DIAS et al., 2007). Em condições favoráveis, a produção de grãos pode iniciar-se ainda no primeiro ano de cultivo, entretanto o clímax produtivo é geralmente obtido a partir do quarto ano. Dependendo das condições do cultivo, a longevidade produtiva pode alcançar 40 anos. A produtividade de grãos pode atingir 160, 800, 3.200 e 6.400 kg ha⁻¹ de grãos no primeiro, segundo, terceiro e quarto ano, respectivamente (LAVIOLA & DIAS, 2008). Com essas produtividades é possível produzir cerca de 2.400 kg ha⁻¹ de óleo, e com o aprimoramento da cultura por meio do melhoramento genético espera-se que a *J. curcas* possa produzir mais de 4.000 kg ha⁻¹ (LAVIOLA & DIAS, 2008).

O interesse pela *J. curcas* atribui-se ao alto teor de óleo nos grãos, variando de 33 a 38%, associado às características físico-químicas do óleo, que são ideais para produção do biodiesel (AKBAR et al., 2009; DIAS et al., 2007). Além disso, a *J. curcas* é adaptada a várias condições edafoclimáticas sendo tolerante ao déficit hídrico e aos ataques de pragas e doenças (HELLER et al., 1996; SATURNINO et al., 2005; JONGSCHAAP et al., 2007; LAVIOLA & DIAS, 2008; BEHERA et al., 2010).

Apesar da *J. curcas* possuir diversas vantagens e por apresentar-se potencialmente apta à produção do biodiesel, essa espécie não possui até o momento nenhuma variedade melhorada (DIVAKARA et al., 2010; DAUDET et al., 2011). A busca por materiais melhorados é motivada pelas características das plantas que afetam o crescimento, desenvolvimento e principalmente a produtividade de grãos e óleo, tais como: desuniformidades no ciclo, no crescimento e no desenvolvimento, e principalmente, variabilidade na produtividade de grãos e óleo (RAO et al., 2008; FREITAS et al., 2011; SUNIL et al., 2011; DIAS et al., 2012).

Tendo em vista que o aumento da produtividade de grãos e óleo por meio do melhoramento genético é de fundamental importância, onde associado com práticas agrícolas, torna o processo produtivo muito mais vantajoso. A adubação é dentre as práticas de manejo, uma das mais importantes, pois, apesar da *J. curcas* crescer em solos marginais e pobres nutricionalmente, nessas condições a cultura não expressa seu máximo potencial produtivo. O fornecimento de fertilizantes se faz necessário visando garantir o suprimento nutricional da cultura para manifestação do máximo potencial genético. Entretanto, apesar do ganho produtivo advindo da adubação ainda não há um sistema de recomendação para a *J. curcas*. Para obtenção da recomendação baseada no balanço nutricional, é necessária a determinação da composição química e do acúmulo de nutrientes pelas folhas e frutos, assim como da exportação de nutrientes do solo pela colheita dos frutos (LAVIOLA & DIAS, 2008).

A composição química das plantas varia de acordo com as condições físico-químicas do substrato (solo ou solução nutritiva) e com a espécie, sendo relatada diferença até entre variedades (PINTO, 2009). Pode haver diferença, ainda, entre as fases fenológicas da cultura, entre os órgãos e suas localizações na planta, e até em relação ao ataque de pragas e doenças (RAIJ, 1991; PRADO et al., 2008).

Outra variável que também pode influenciar os teores de nutrientes nas plantas e conseqüentemente a produtividade são as interações existentes entre os íons. As interações são: antagonismo, inibição e sinergismo. Ocorre antagonismo quando um nutriente diminui a absorção do outro, podendo até diminuir a toxidez de um deles. A inibição caracteriza-se pela redução na absorção de um determinado elemento em virtude da presença de outro em excesso (inibidor). Já o sinergismo deve-se ao estímulo positivo na absorção de um elemento na presença de outro (MALAVOLTA et al., 1997).

A composição química dos grãos de *J. curcas* também tem despertado interesse pelos pesquisadores. A torta obtida pela prensagem dos grãos é rica em proteína e pode ser utilizada na alimentação animal. No entanto, para que esse material possa ser utilizado para esse fim, é

necessário desintoxicá-lo antes, pois a torta de *J. curcas* possui em sua composição substâncias tóxicas, como a curcina e o éster de forbol (GÜBITZ et al., 1999; NDONG et al., 2009). De acordo com Ávila Filho et al. (2006) uma das formas de reduzir essas substâncias tóxicas é por meio do tratamento térmico a qual pode ser submetido a torta. Esse método de destoxificação possui custo alto, o que torna o processo de produção em grande escala economicamente inviável. Pode-se, ainda, utilizar materiais genéticos não tóxicos como os encontrados no México, onde não há a necessidade de qualquer tratamento antes do fornecimento aos animais. Desta forma, selecionar genótipos que possuam altos teores de óleo e proteína, e baixos de curcina e éster de forbol, é imprescindível dentro de um programa de melhoramento e poderá alavancar o sistema de produção dessa oleaginosa.

O momento correto de colher os frutos também influencia na composição dos grãos de *J. curcas*. Resultados obtidos por Costa et al. (2009), Silva et al. (2012), Santos et al. (2012) e Pessoa et al. (2012) indicam que há diferenças nos teores de óleo e proteína dos grãos de frutos colhidos em diferentes estádios de maturação.

Dessa forma, o objetivo dessa pesquisa foi avaliar o crescimento, a produtividade de grãos, óleos e proteína, e a partição de nutrientes de populações de *J. curcas*, em diferentes épocas e locais de coleta na planta, visando selecionar genótipos promissores e subsidiar um sistema de recomendação de adubação para esta cultura.

2. REFERÊNCIAS

- AKBAR, E.; YAAKOB, Z.; KAMARUDIN, S. K.; ISMAIL, M.; SALIMON, J. Characteristic and Composition of *Jatropha curcas* Oil Seed from Malaysia and its Potential as Biodiesel Feedstock Feedstock. **European Journal of Scientific Research**, v. 19, n. 3, p. 396-403, 2009.
- ANP (2013) Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/?id=472>> Acesso em: fevereiro de 2013.
- ÁVILA FILHO, S.; DUARTE, F. R.; JESUS, D. S.; MACHADOR, A.; RIBEIRO, N. M.; VELOSO, M. C. C. **Métodos para desintoxicação de tortas de oleaginosas**. In: Anais I Congresso da Rede Brasileira de Tecnologia de Biodiesel. Brasília, 2006, v. 1, p. 24-27.
- BEHERA, S. K.; SRIVASTAVA, P.; TRIPATHI, R.; SINGH, J. P.; SINGH, N. Evaluation of plant performance of *Jatropha curcas* L. under different agro-practices for optimizing biomass – A case study. **Biomass and Bioenergy**, v. 34, n. 1, p. 30-41, 2010.
- COSTA, P. R.; POSSE, S. C. P.; CORTI, G. S.; TAMAGNONI, B. D.; DIAS, I. S. Quantificação de óleo no albúmen das sementes de pinhão-mansão em diferentes estádios de maturação dos frutos In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FISILOGIA VEGETAL. 12., 2009. **Anais...** Fortaleza: SBFV, 2009.
- DAUDET, M. M. S.; MERGEAI, G.; BAUDOIN, J-P.; TOUSSAINT, A. Culture in vitro de *Jatropha curcas* L. **Biotechnology, Agronomy, Society and Environment**, v. 15, n. 4, p. 567-574, 2011.

- DIAS, L. A. S.; LEME, L. P.; LAVIOLA, B. G.; PALLINI, 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: LAS Dias, 40 p. 2007.
- DIAS, L. A. S.; MISSIO, R. F.; DIAS, D. C. F. S. Antiquity, botany, origin and domestication of *Jatropha curcas* (Euphorbiaceae), a plant species with potential for biodiesel production. **Genetics and Molecular Research**, v. 11, n. 3, p. 2719-2728, 2012.
- DIVAKARA, B. N.; UPADHYAYA, H. D.; WANI, S. P.; LAXMIPHATHI GOWDA, C. L. Biology and genetic improvement of *Jatropha curcas* L.: A review. **Applied Energy**, v. 87, n. 3, p. 732-742, 2010.
- FREITAS, R. G.; MÍSSIO, R. F.; MATOS, F. S.; RESENDE, M. D. V.; DIAS, L. A. S. Genetic evaluation of *Jatropha curcas*: an important oilseed for biodiesel production. **Genetics and Molecular Research**, v. 10, n. 3, p. 1490-1498, 2011.
- GÜBITZ, G. M.; MITTELBAACH, M.; TRABI, M. Exploitation of the tropical oil seed plant *Jatropha curcas* L. **Bioresource Technology**, v. 67, n. 1, p. 73-82, 1999.
- HELLER, J. Physic nut. *Jatropha curcas* L. Promoting the conservation and use of underutilised and neglected crops. 1. Gatersleben, **Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research and Rome. International Plant Genetic Resources Institute.** 1996. 66 p.
- JONGSCHAAP, R. E. E; CORRE, W. J.; BINDRABAN, P. S.; BRANDENBURG, W. A. Claims and Facts on *Jatropha curcas* L.: Global *Jatropha curcas* evaluation, breeding and propagation programme. **Plant Research International Report**, Wageningen, p. 158. 2007.

- 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**, v. 32, n. 5, p. 1969-1975, 2008.
- LÔBO, I. P.; FERREIRA, S. L. C.; CRUZ, R. S. Biodiesel: parâmetros de qualidade e métodos analíticos. **Química Nova**, v. 32, n. 6, p. 1596-1608, 2009.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C. & OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: Princípios e aplicações**. 2^a ed. Piracicaba, Potafos, 1997. 319 p.
- NDONG, R.; MONTREJAUD-VIGNOLES, M.; SAINT GIRONS, O.; GABRIELLE, B.; PIROT, R.; DOMERGUE, M.; SABLAYROLLES, C. Life cycle assessment of biofuels from *Jatropha curcas* in West Africa: a field study. **Global Change Biology Bioenergy**, v. 1, n. 3, p. 197–210, 2009.
- OLIVEIRA, F. C. C.; SUAREZ, P. A. Z.; SANTOS, W. L. P. Biodiesel: possibilidades e desafios. **Química Nova na Escola**, n. 28, p. 2-8, 2008.
- PESSOA, A. M. S.; MANN, R. S.; SANTOS, A. G.; RIBEIRO, M. L. F. Influência da maturação de frutos na germinação, vigor e teor de óleo de sementes de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.). **Scientia Plena**, v. 8, n. 7, p. 1-11, 2012.
- PINTO, S. I. C. **Cinética de absorção conjunta de fósforo, potássio, cálcio, e magnésio e eficiência nutricional de macronutrientes de clone de eucalipto**. 2009. 102 f. Tese (Doutorado Ciência do Solo) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG: 2009.
- PRADO, R. M.; ROZANE, D. E.; VALE, D. W.; CORREIA, M. A. R.;

- SOUZA, H. A. **Nutrição de plantas diagnose foliar em grandes culturas.** Jaboticabal-SP, FCAV/Unesp, 2008, 301 p.
- RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação.** São Paulo: Editora Agronômica Ceres Ltda., 1991. 343p.
- RAO, G. R.; KORWAR, G. R.; SHANKER, A. K.; RAMAKRISHNA, Y. S. Genetic associations, variability and diversity in seed characters, growth, reproductive phenology and yield in *Jatropha curcas* (L.) accessions. **Trees**, v. 22, n. 5, p. 697-709, 2008.
- SANTOS, S. B.; MARTINS, M. A.; AGUILAR, P. R. M.; CANESCHI, A. L.; CARNEIRO, A. C. O.; DIAS, L. A. S. Acúmulo de matéria seca e óleo nas sementes de pinhão-mansão e qualidade do óleo extraído. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.2, p. 209-215, 2012.
- SATURNINO, H. M.; PACHECO, D. D.; KAKIDA, J.; TOMINAGA, N.; GONÇALVES, N. P. Cultura do pinhão-mansão (*Jatropha curcas* L.). **Informativo Agropecuário**, v.26, n. 229, p.44-78, 2005.
- SILVA, L. J.; DIAS, D. C. F. S.; MILAGRES, C. C.; DIAS, L. A. S. Relationship between fruit maturation stage and physiological quality of physic nut (*Jatropha curcas* L.) seeds. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 36, n. 1, p. 39-44, 2012.
- SUAREZ, P. A. Z.; MENEGHETTI, S. M. P. 70º aniversário do biodiesel em 2007: evolução histórica e situação atual no Brasil. **Química Nova**, v. 30, n. 8, p. 2068-2071, 2007.
- SUNIL, N.; SUJATHA, M.; KUMAR, V.; VANAJA, M.; BASHA, S. D.; VARAPRASAD, K. S. Correlating the phenotypic and molecular diversity

in *Jatropha curcas* L. **Biomass and Bioenergy**, v. 35, n. 3, p. 1085-1096,
2011.

CAPÍTULO 1

CRESCIMENTO E RENDIMENTO EM ÓLEO E PROTEÍNA DE POPULAÇÕES DE *Jatropha curcas* L.

RESUMO

Jatropha curcas L. é uma oleaginosa com potencial para produção de biodiesel devido às características físico-química ideais do óleo contido em seus grãos. No entanto, ainda não há variedades melhoradas e muitos aspectos fenológicos necessitam de estudos. Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar o crescimento vegetativo, a produtividade de grãos e os teores de óleo e proteína nos grãos de populações de *J. curcas*, em diferentes épocas e locais de coleta na planta, visando subsidiar a seleção de genótipos superiores e indicar a melhor fase e localização de coleta dos frutos. O experimento foi realizado no Campo Diogo Alves de Mello, pertencente à Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, Brasil. Utilizou-se o delineamento em blocos casualizados com quatro repetições, sendo os tratamentos dispostos em parcelas subsubdivididas. As parcelas foram compostas de clones de seis populações de *J. curcas*, oriundas dos municípios mineiros de Janaúba (J1, J2, J3, J4 e J5) e Bonfim (B1). Já as subparcelas foram constituídas de quatro fases fenológicas de amostragem (florescimento, frutos verdes, frutos amarelos e frutos secos), e as subsubparcelas, de três estratos de coleta na copa das plantas (superior, média e inferior). As parcelas foram compostas de quatro plantas com quatro anos e meio de campo, espaçadas de 2,5 m entre si. As características avaliadas foram altura de plantas, diâmetro caulinar, matéria seca das folhas e frutos, produtividade de grãos e teores de óleo e proteína. Verificou-se que as populações diferiram quanto à altura de planta, diâmetro caulinar e matéria seca foliar. Em relação às fases fenológicas, a altura não apresentou efeito significativo; e a matéria seca foliar apresentou diferença quanto aos estratos. A população J5 apresentou plantas mais altas e de maior diâmetro caulinar. O maior peso seco foliar foi encontrado na população J2. As populações não apresentaram variabilidade genética quanto à matéria seca dos frutos, produção de grãos e teores de óleo e proteína. Os frutos devem ser colhidos maduros por apresentarem maiores teores de óleo, proteína e peso seco. A localização dos frutos na planta não influencia os teores de óleo e proteína dos grãos.

Palavras-chave: Melhoramento genético, produção de grãos e óleo, biodiesel.

ABSTRACT

Jatropha curcas L. is an oilseed crop with potential for biodiesel production due to physico-chemical characteristics ideals of oil contained in their grain. However, there is still no improved varieties and many phenological aspects require further studies. Thus, the objective of this work was to evaluate vegetative growth, productivity of grain and oil and protein contents in grains of *J. curcas* populations, at different times and locations of collection in the plant in order to subsidize the selection of superior genotypes and indicate the best location and phase of collecting the fruits. The experiment was accomplished in the field Diogo Alves de Mello, in the Federal University of Viçosa, Minas Gerais, Brazil. The randomized block design with four replications was arranged in split-plot. The plots were composed of clones of six *J. curcas* populations, from the municipalities of Janaúba (J1, J2, J3, J4 and J5) and Bonfim (B1). Subplots were constituted of four phenological phases of sampling (flowering, unripe fruit, yellow fruits and dried fruit), and the subsubplots, of three strata of plant Cup collection (top, middle and bottom). The plots were composed of four plants with four and a half years of field, spaced 2.5 m from each other. The traits evaluated were plant height, stem diameter, dry weight of leaves and fruits, grain yield and oil and protein contents. It was found that the populations differed regarding the plant height, stem diameter, and leaf dry matter. With regard to phenological phases, height showed no significant effect; and the leaf dry matter showed difference on strata. The J5 population presented higher plants and larger diameter stem. The greater leaf dry weight was found on J2 population. Populations showed no genetic variability regarding fruits dry matter grain yield, and oil and protein contents. The fruit should be harvested ripe for presenting greater contents of oil, protein and dry weight. The location of the fruits on the plant does not influence oil and protein contents of grain.

Keywords: Genetic breeding, oil and grain yield, biodiesel.

1. INTRODUÇÃO

A escassez de combustíveis fósseis e os danos ambientais provocados pela emissão de gases de efeito estufa (GEE) têm impulsionado a busca por alternativas energéticas, como os biocombustíveis. São definidos como todos os produtos capazes de gerar energia a partir de biomassa, tais como: carvão vegetal (madeira); álcool (açúcares – glicose, amido, celulose); biogás (biomassa em geral) e biodiesel (óleo e gorduras) (OLIVEIRA et al., 2008).

No Brasil, o principal biocombustível utilizado nos motores de combustão é o etanol extraído da cana-de-açúcar e, em escala crescente, o biodiesel produzido a partir de óleos vegetais ou gorduras animais (SATURNINO et al. 2005; SEGALL & ARTZ, 2007; OLIVEIRA et al., 2008). As principais matérias-primas brasileiras utilizadas na obtenção do biodiesel são soja, gordura animal e algodão com contribuições de 81%, 13% e 4% respectivamente, sendo as outras matérias responsáveis por apenas 2% dessa produção (ANP 2013). Esses resultados revelam a existência de poucas matérias primas para suprir a produção de biodiesel, necessitando, portanto, a busca por outras fontes energéticas, com potencial para a obtenção de biodiesel. Atualmente, uma cultura tem-se destacado e apresentado promissora é o pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) (HELLER et al., 1996; DIAS et al., 2007; JONGSCHAAP et al., 2007; BEHERA et al., 2010).

Jatropha curcas L. tem se destacado por apresentar alto teor de óleo, variando de 33 a 38 % (DIAS et al., 2007). Além do alto teor, o óleo contido nos grãos apresenta características físico-químicas ideais para a produção de biocombustíveis (AKBAR et al., 2009). Além dessas vantagens, *J. curcas* é uma planta rústica, adaptada às mais diversas condições edafoclimáticas, tolerante à seca, e a solos de baixa fertilidade, sendo resistente a diversas pragas e doenças (HELLER et al., 1996; SATURNINO et al., 2005;

JONGSCHAAP et al., 2007; LAVIOLA & DIAS, 2008; BEHERA et al., 2010).

A cultura encontra-se em fase de domesticação e até o momento não há variedades melhoradas. Contudo, visto a implementação de vários programas de melhoramento no Brasil e no mundo, acredita-se que em alguns anos a espécie contará com variedades melhoradas para cultivo comercial.

Entre os motivos que têm levado à busca por variedades comerciais melhoradas estão a desuniformidade no ciclo, no crescimento e no desenvolvimento (RAO et al., 2008; SUNIL et al., 2011; BRASILEIRO et al., 2012) e, principalmente, a variabilidade da produtividade de grãos e óleo (RAO et al., 2008; FREITAS et al., 2011; DIAS et al. 2012). Face aos dados fenológicos obtidos pelos autores supracitados pode-se concluir que *J. curcas* é uma espécie com alta variabilidade genética, o que favorece o seu processo de melhoramento genético.

J. curcas é um arbusto de crescimento rápido, podendo atingir 5 m de altura, e até 20 cm de diâmetro de caule (DIAS et al., 2007). Em relação à produtividade, informações atuais indicam que a planta pode produzir 160, 800, 3.200 e 6.400 kg ha⁻¹ de grãos no primeiro, segundo, terceiro e quarto ano, respectivamente (LAVIOLA & DIAS, 2008). Com essas produtividades é possível produzir cerca de 2.400 kg ha⁻¹ de óleo; e com o aprimoramento da cultura por meio do melhoramento genético, espera-se que a *J. curcas* possa produzir mais de 4.000 kg ha⁻¹ (LAVIOLA & DIAS, 2008).

Além das características ligadas ao crescimento e desenvolvimento vegetativo, outro ponto que merece destaque é o momento correto de colher os frutos, pois resultados obtidos por Costa et al. (2009), Silva et al. (2012), Santos et al. (2012) e Pessoa et al. (2012) indicam que há diferenças nos teores de óleo dos grãos de frutos colhidos em diferentes estádios de maturação.

Outra questão importante e que tem despertado interesse entre os pesquisadores é a composição química dos grãos, sobretudo o teor de

proteína. Os motivos que impulsionam maior investigação quanto aos teores proteicos em grãos de *J. curcas* referem-se ao fato da torta obtida pela prensagem dos grãos ser rica em proteína e poder ser utilizada na alimentação animal. Para esse fim, a torta deve ser desintoxicada antes do fornecimento aos animais, pois em sua composição são encontradas substâncias tóxicas, tais como a curcina e o éster de forbol (GÜBITZ et al., 1999; NDONG et al., 2009). Neste contexto, selecionar genótipos que possuam altos teores de óleo e proteína, e baixos de curcina e éster de forbol, será bastante válido e alavancará o sistema de produção dessa oleaginosa.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o crescimento vegetativo, a produtividade de grãos e os teores de óleo e proteína nos grãos de populações de *J. curcas*, em diferentes épocas e locais de coleta na planta, visando selecionar de genótipos superiores e indicar a melhor fase e localização de coleta dos frutos.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido de novembro de 2011 a fevereiro de 2012, com plantas de *J. curcas* de 4,5 anos de idade. As plantas foram cultivadas no espaçamento 2,5 x 2,5 m, no Campo Experimental “Diogo Alves de Mello”, pertencente à Universidade Federal de Viçosa, MG (latitude de 20° 45’ 58” S, longitude de 42° 52’ 06” W e altitude média de 676 m). O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo (EMBRAPA, 1999). O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é Cwa, quente e úmido, caracterizado por inverno seco e frio com temperaturas mínimas inferiores a 10 °C. A temperatura, durante o período experimental, variou de 15,5 a 33,4 °C, e a precipitação pluvial acumulada foi de 844,5 mm (Figura 1).

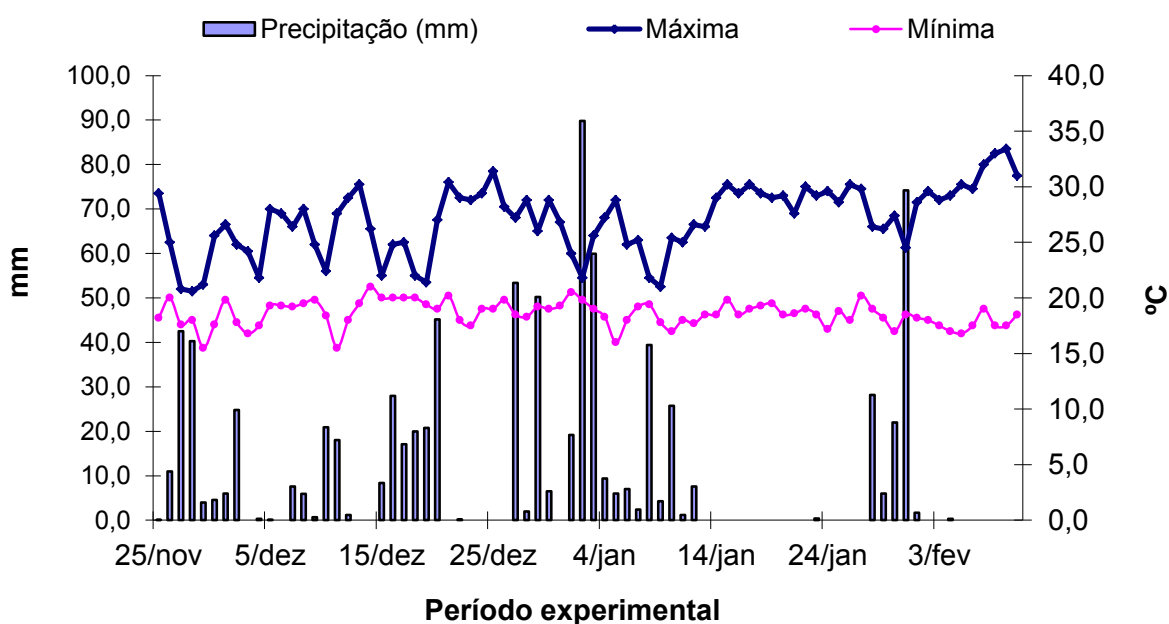


Figura 1 - Dados meteorológicos de precipitação (mm) e temperaturas máxima e mínima (°C), durante o período experimental, coletados na Estação Meteorológica da Universidade Federal de Viçosa-MG, Campus Viçosa.

A adubação química foi realizada de acordo com Dias et al. (2007), aplicando-se no plantio 100 g planta⁻¹ do formulado N-P-K, 20-10-15. No primeiro ano após o plantio foram aplicados 150 g planta⁻¹ do formulado N-P-K, 20-00-15 e, nos três anos subsequentes, em forma parcelada, aplicaram-se 200, 300 e 400 g planta⁻¹ do formulado N-P-K, 20-10-15, respectivamente. O experimento foi conduzido em sistema de sequeiro e livres de competição com plantas daninhas e aos ataques de pragas e doenças. Antes da tomada de dados experimentais coletaram-se amostras de solo nas camadas de 0-20 e 20-40 cm, para análise química (Tabela 1).

Tabela 1 - Análise química do solo da área experimental nas profundidades de 0 a 20 cm e de 20 a 40 cm

Atributos químicos	Profundidade (cm)	
	0-20	20-40
pH (H ₂ O)	4,50	4,56
MO (dag kg ⁻¹)	2,93	2,00
P (mg dm ⁻³)	2,6	0,9
K (mg dm ⁻³)	37	25
Ca ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,99	0,97
Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,37	0,37
Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,59	0,49
H + Al (cmol _c dm ⁻³)	6,9	5,5
SB (cmol _c dm ⁻³)	1,45	1,40
CTC _{efetiva} (cmol _c dm ⁻³)	2,04	1,89
CTC _{total} (cmol _c dm ⁻³)	8,35	6,90
V (%)	17,4	20,3
m (%)	28,9	25,9
Zn (mg dm ⁻³)	1,39	1,14
Fe (mg dm ⁻³)	47,2	42,6
Mn (mg dm ⁻³)	17,0	12,4
Cu (mg dm ⁻³)	1,98	2,14
B (mg dm ⁻³)	0,25	0,27
S (mg dm ⁻³)	22,4	21,7

pH em água. MO: Mat. Org. = C.org x 1,724 – Walkley – Black. P, K, Zn, Fe, Mn, Cu: extrator Mehlich⁻¹. Ca²⁺, Mg²⁺ e Al³⁺: extrator KCl 1 mol L⁻¹. H + Al: extrator acetato de cálcio 0,5 mol L⁻¹. SB: soma de bases (Ca²⁺ + Mg²⁺ + K⁺). CTC_{efetiva} = SB + Al³⁺. CTC_{total} = SB + (H + Al). V: saturação por bases: (SB/CTC_{total}) × 100. m: índice de saturação de Al. B (Água quente); S (NH₄O Ac. 0,5 mol L⁻¹ e HO Ac. 0,25 mol L⁻¹).

Utilizou-se o delineamento em blocos casualizados, com os tratamentos dispostos em parcelas subdivididas para altura e diâmetro do caule. As parcelas foram compostas de clones de seis populações de

J. curcas, oriundas dos municípios mineiros de Janaúba (J1, J2, J3, J4 e J5) e Bonfim (B1). As subparcelas foram constituídas de quatro fases fenológicas de amostragem, sendo elas: i) florescimento; ii) frutos verdes, iii) frutos maduros e iv) frutos secos. Os intervalos entre as avaliações foram de 30 dias para as três primeiras fases e 15 dias para as duas últimas. A parcela foi composta de quatro plantas. Para obtenção da altura das plantas, mediu-se do solo até o ápice do ramo mais alto. O diâmetro do caule foi medido a 5 cm do solo, utilizando-se um paquímetro.

A matéria seca das folhas e dos frutos foi determinada utilizando o delineamento em blocos casualizados, com os tratamentos dispostos em parcelas subdivididas. As parcelas foram compostas pelas seis populações, enquanto as subparcelas foram constituídas de quatro fases fenológicas de amostragem para as folhas e três para os frutos. Para as folhas, as coletas foram efetuadas quando as plantas se encontravam nos estádios de florescimento, frutos verdes, frutos maduros e frutos secos. Os frutos foram coletados quando se encontravam verdes, maduros e secos. A subsubparcela foi constituída por três estratos de amostragem na copa das plantas (parte superior, mediana e inferior) (Figura 2A), coletando-se em forma de quadrantes (Figura 2B), tanto para a coleta de folhas quanto para a de frutos. Após a coleta, as folhas e frutos foram encaminhadas ao Laboratório de Agroenergia/UFV, lavadas com água deionizada e secas em estufa de circulação forçada de ar a 70 °C, até peso constante e, em seguida, foram pesadas para obtenção do peso seco. Para as folhas, coletaram-se os limbos completamente expandidos entre a sexta e a oitava folha abaixo da inflorescência ou infrutescência, dependendo da fase avaliada. Amostrou-se dezesseis unidades de folhas e seis unidades de frutos, por parcela, de cada estrato da planta. As amostras foram coletadas em forma de quadrantes. Foram coletadas apenas as folhas e frutos livres de deficiência nutricional aparente e com ausência de ataque de praga e doenças.

Para mensurar a produtividade de grãos, utilizou-se o delineamento em blocos casualizados, sendo os tratamentos constituídos por seis populações de *J. curcas*. Colheram-se todos os frutos maduros e secos de

todas as plantas da parcela. Após debulhados, pesaram-se os grãos, extrapolando o valor obtido para 1 hectare. Nessa época não havia frutos verdes.

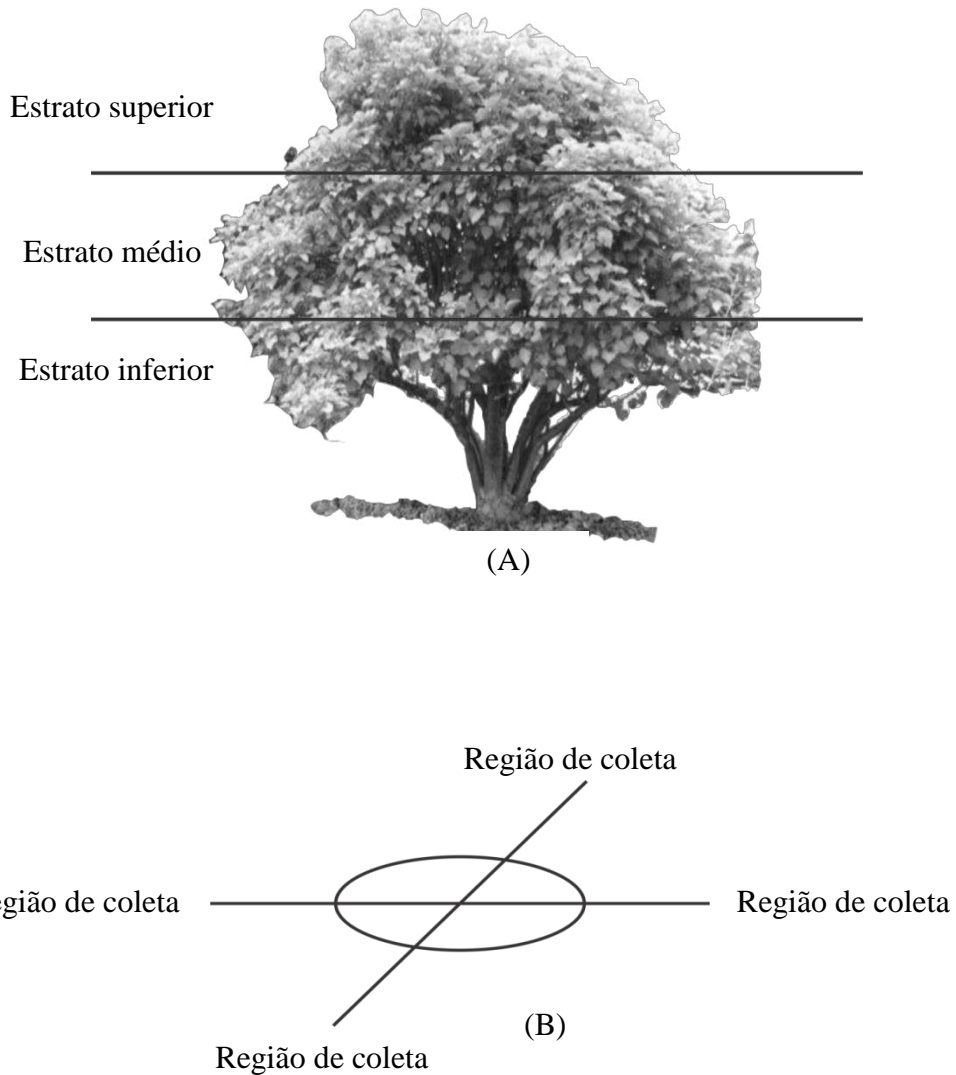


Figura 2 - (A) coleta das folhas e dos frutos quanto à localização na copa das plantas e (B) forma de coleta das folhas em quadrantes.

Os teores de óleo e de proteína foram determinados utilizando-se o delineamento em blocos casualizados, com os tratamentos dispostos em parcela subdivididas. As parcelas foram compostas por seis populações e

as subparcelas constituídas por duas fases fenológicas. Na primeira fase, coletou-se os frutos maduros, e na segunda, os frutos secos. As subsubparcelas foram constituídas de três estratos de coleta na planta, ou seja, as mesmas empregadas na matéria seca das folhas e dos frutos (superior, mediana e inferior). Os teores de óleo nos grãos foram obtidos pelo método de ressonância nuclear magnética, utilizando o aparelho Oxford Instruments. Para essa mensuração, os grãos foram inicialmente aquecidos à 40 °C e subsequentemente pesados em tubo de ensaio. O tubo possui uma marcação que corresponde ao alcance dos raios magnéticos, e sua função é delimitar a quantidade de grãos utilizados na análise. Em média foram utilizados em cada amostra 10 grãos com 0,5 g cada, totalizando 5 g por amostra. Com o equipamento previamente calibrado, registrou-se a massa da amostra e em seguida essas foram inseridas no leitor, onde percorridos 20 segundos determinou-se o teor de óleo em percentagem (%).

O teor de proteína foi obtido no espectrofotômetro de infravermelho próximo (FT-NIR). A metodologia de preparo da amostra no aparelho de NIR é semelhante à do teor de óleo por ressonância.

Tanto para a quantificação do óleo quanto para a de proteína, utilizaram-se os grãos de seis frutos de cada estrato por parcela.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância, precedido pelos testes de normalidade e de homocedasticidade de variância. Como esperança matemática dos quadrados médios para adequação dos testadores de F, utilizou o modelo fixo. Já as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Esses parâmetros estatísticos foram obtidos conforme preconizado por Dias & Barros (2009). Os procedimentos estatísticos foram realizados utilizando o software SAS (SAS Institute, 2000).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Efeito das populações

Entre as variáveis analisadas nas seis populações de *J. curcas* houve efeito significativo da altura de plantas, diâmetro caulinar e matéria seca da folha (Tabela 2). A população J5 apresentou maior média de altura de plantas (3,29 m), enquanto as menores médias foram obtidas pelas populações B1 e J4 (2,70 e 2,83 m, respectivamente). A maior média do diâmetro caulinar, 15,34 cm, foi obtida pela população J5, porém a população que apresentou a menor diâmetro foi a J4, com 12,09 cm. Quanto à matéria seca das folhas, as populações que apresentaram médias superior e inferior foram a J2, com 0,864 g folha⁻¹, e a J1, com 0,751 g folha⁻¹, respectivamente.

Tabela 2 - Médias de altura de plantas, diâmetro caulinar, matéria seca (MS) da folha e do fruto, produtividade de grãos e teores de óleo e proteína de seis populações de *J. curcas*

	Altura	Diâmetro	MS folha	MS fruto	Produção de grãos	Teor de óleo	Teor proteína
Populações	(m)	(cm)	(g folha ⁻¹)	(g fruto ⁻¹)	(kg ha ⁻¹)	(%)	(%)
J1	3,07 ab	14,57 ab	0,751 b	1,952 a	100,54 a	31,25 a	20,38 a
J2	2,93 ab	13,46 ab	0,864 a	2,013 a	148,99 a	31,05 a	20,49 a
J3	2,99 ab	12,55 ab	0,821 ab	2,025 a	132,72 a	31,57 a	20,88 a
J4	2,83 b	12,09 b	0,814 ab	1,952 a	122,65 a	31,32 a	21,16 a
J5	3,29 a	15,34 a	0,836 ab	2,083 a	173,20 a	31,69 a	20,22 a
B1	2,70 b	12,95 ab	0,822 ab	2,027 a	151,22 a	31,42 a	21,17 a
Média	2,97	13,49	0,818	2,008	138,22	31,38	20,71
CVa %	11,46	20,22	15,72	18,32	41,71	4,87	9,44
CVf %	6,85	9,21	4,56	2,49	18,30	0,73	1,97

CVa % Coeficiente de variação da análise de variância.

CVf % Coeficiente de variação fenotípico.

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Estudos conduzidos em diversas partes do mundo, avaliando acessos de diferentes procedências, concluíram que há variabilidade quanto à altura de plantas e diâmetro do caule (GOHIL & PANDYA 2008; DRUMOND et al., 2009; SAIKIA et al., 2009; FREITAS et al., 2011; SUNIL et al., 2011). Gohil & Pandya (2008), avaliaram a diversidade genética de nove acessos indianos de *J. curcas* de 1,5 anos de idade, e verificaram a existência de diferença superior a 22% entre as alturas de plantas e a 27% entre os diâmetros caulinares dentre os acessos avaliados. Em outro estudo também conduzido na Índia, Sunil et al. (2011) observaram que a altura das plantas variou de 91 a 225,3 cm, e o diâmetro caulinar, de 3,72 a 10,72 cm. Nesse experimento foram analisados 34 acessos com dois anos de idade oriundos de diversas regiões da Índia. Analisando o crescimento vegetativo de 34 acessos de *J. curcas* na Índia, Saikia et al. (2009) verificaram que no primeiro ano a altura das planta variou de 25 a 119 cm, e o diâmetro, de 0,38 a 3,14 cm; no segundo ano essa amplitude foi bem maior, de 72 a 280 cm para altura e de 1,75 a 8,59 cm para o diâmetro. No Brasil, Freitas et al. (2011) observaram variações, entre 75 acessos de oito meses de idade, quanto a altura de plantas e diâmetro de caule. Nesse estudo, os autores verificaram valores médios variando de 5 a 105 cm para altura e de 0,3 a 5,87 cm para diâmetro. Em outro estudo também conduzido no Brasil, Drumond et al. (2009) constataram diferença na altura das plantas e diâmetro caulinar entre as 10 populações analisadas aos 12 meses de idade. Essas médias variam de 2,4 a 2,7 m de altura e de 5,3 a 6,3 cm de diâmetro.

As diferenças na altura de planta e no diâmetro do caule entre as populações de Janaúba e Bomfim são atribuídas às diferenças genéticas de cada material vegetativo. Para o melhoramento genético, essa alta variabilidade possibilita a seleção de genótipos promissores, para posterior multiplicação clonal. Assim, uma vez identificado um genótipo superior, este pode ser multiplicado clonalmente.

A matéria seca também apresentou diferença entre as seis populações avaliadas, e a explicação também está relacionada à variabilidade genética (Tabela 2). Embora este estudo ter verificado

variabilidade entre a matéria seca nas populações de Janaúba e Bomfim, ainda há e carência de informações que possibilite a comparação entre populações oriundas de diferentes localidades. A falta de estudo comparativo é explicada, possivelmente, pelo fato de muitos pesquisadores não considerarem a matéria seca foliar como carácter importante para o melhoramento genético, atentando apenas para outras características fenotípicas, principalmente àquelas ligadas à produção de grãos e óleo. No entanto, a quantidade de biomassa foliar produzida é um parâmetro importante, pois permite avaliar os *status* nutricional (SILVA et al., 2011), hídrico e fisiológico da cultura (SILVA et al., 2010).

Para a matéria seca dos frutos, apesar de não ter sido verificado efeito significativo para as populações analisadas (Tabela 2), os valores estão próximos aos encontrados por Pereira (2012), que obteve frutos com 2,63 g de massa seca, enquanto neste estudo o peso seco médio foi de 2,00 g fruto⁻¹.

Quanto à produção de grãos, também não houve diferença significativa entre as populações avaliadas (Tabela 2). Apesar da semelhança da produtividade entre as populações, essas médias estão abaixo das ideais para a cultura. O motivo é atribuído à baixa temperatura da região, mas como no ano posterior à coleta dos dados o inverno não foi tão rigoroso espera-se que haja o aumento da produtividade, pois tem-se verificado o incremento no índice de floração. A faixa ótima de temperatura para o desenvolvimento da *J. curcas* varia de 18 a 28 °C (SATURNINO et al., 2005; DIAS et al., 2007).

Drumond et al. (2009) encontraram semelhança estatística no rendimento de grãos ao avaliarem 10 populações *J. curcas* no Brasil. No entanto, esses pesquisadores obtiveram produtividade superior, cujo rendimento ficou entre 2.853 e 3.542 kg ha⁻¹. A alta produtividade em grãos é devido à irrigação, que foi realizada por gotejamento com aplicação média de 3,3 mm de água por planta. A localização do plantio também incrementou a produtividade, pois, como o plantio foi realizado no semiárido pernambucano, caracterizado por apresentar alta taxa luminosa e

temperatura ideal para o crescimento e desenvolvimento da *J. curcas*. Rao et al. (2008) obtiveram diferenças estatísticas ao avaliarem 29 populações oriundas de diversas localidades da Índia. Os autores encontraram rendimentos que variam entre 40,67 e 293.30 kg ha⁻¹.

As populações de *J. curcas* também apresentaram semelhança quanto aos teores de óleo e proteína, indicando que não há variabilidade genética entre as populações avaliadas (Tabela 2). O teor de óleo médio foi 31,38 %. Este valor é próximo aos encontrados na maioria das populações analisadas em diversos países (Tabela 3). As seis populações avaliadas apresentaram teor de óleo mínimo de 26,52%, sendo superior às populações indianas de Tatikonda et al. (2009) e Sunil et al. (2011); às brasileiras de Ferrari et al. (2009) e Freitas et al. (2011); e a mexicana de Ovalando-Medina et al. (2011) (Tabela 3). O teor máximo encontrado pelas populações foi de 37,33%, valor próximo ao encontrado pelos teores máximos da maioria das populações avaliadas em outros países, conforme verifica-se na Tabela 3.

Comparando os teores de óleo s obtidos nesse estudo com os encontrados nos trabalhos discriminados na Tabela 3, verifica-se, sendo possível inferir que ir que não há variabilidade genética quanto ao teor de óleo.

Tabela 3 - Teores de óleo mínimo, médio e máximo de populações de *J. curcas* relatados na literatura

País	Teor de óleo (%)			Número de populações avaliadas	Referências
	Mínimo	Médio	Máximo		
Índia	28,00	33,12	38,80	24	Kaushik et al. (2007)
Índia	29,85	33,67	37,05	32	Rao et al. (2008)
Índia	19,00	31,63	39,40	48	Tatikonda et al. (2009)
Índia	17,50	29,20	36,70	34	Sunil et al. (2011)
Brasil	11,29	25,49	39,70	27	Ferrari et al. (2009)
Brasil	15,99	30,88	45,55	78	Freitas et al. (2011)
México	12,09	29,08	44,27	121	Ovalando-Medina et al. (2011)

O teor médio de proteína foi 20,71% (Tabela 2), próximo aos encontrados por Souza et al. (2009) e acima dos encontrados por Ferrari et al. (2009). Comparando-se os teores proteicos obtidos no presente estudo com os encontrados por Makkar et al. (1997) em populações procedentes de diversos países (Tabela 4), verificou-se que todos os materiais genéticos com exceção dos oriundos da Costa Rica apresentaram maiores teores. Vale ressaltar que os teores de proteína das populações descritas na Tabela 4 foram obtidos utilizando somente o albúmen.

Tabela 4 - Teores de proteína em grãos de populações de *J. curcas* relatados na literatura

País	Cidade	Teor de proteína (%)
Cabo Verde	Fogo	25,6
Senegal	Santhie Ram	25,1
Senegal	Nioro do Rip	28,9
Gana	Nyankpala	31,1
Benin	Cotonou	30,1
Burkina Faso	Kongoussi	28,1
Quênia	Kitui	25,0
Tanzânia	Mombo	29,3
Burma	Sink Gaing e Mandalay	29,6
Índia	Kangra	24,1
Índia	Kangra	23,2
Costa Rica	Rio Grande	19,0
México	Vera Cruz	23,7
Índia	Nasik	23,0
Nicarágua	(Cabo Verde – população cultivada em Manágua)	22,2
Nicarágua	(Nicarágua – população cultivada em Manágua)	25,6
Nigéria	Ife	27,7
México	Papantla	27,2

No geral, como o teor de proteína obtido por Souza et al. (2009) e Makkar et al. (1997), foi próximo ao encontrado nesse estudo, pode-se inferir que há baixa variabilidade genética entre essas populações. Efeito

diferente foi obtido pelas populações utilizadas por Ferreira et al. (2009), onde os teores proteicos foram superiores aos encontrados nesse estudo, indicando, portanto, em alta variabilidade genética.

3.2. Efeito das fases fenológicas

Com exceção da altura de plantas, observou-se o efeito significativo para todas as características avaliadas nos diferentes estádios fenológicos (Tabela 5). Para o diâmetro caulinar, verificou-se o alargamento ao longo do tempo, pois a maior média, de 13,98 cm, foi obtida na última amostragem, fase em que as plantas se encontravam com os frutos secos. As menores médias, 13,07 e 13,28, foram obtidas nas duas primeiras fases fenológicas, quando as plantas se encontravam no florescimento e com os frutos verdes, respectivamente.

Tabela 5 - Médias de altura de plantas, diâmetro caulinar, matéria seca (MS) da folha e do fruto e teores de óleo e proteína de populações de *J. curcas* em quatro fases fenológicas

Fases fenológicas	Altura	Diâmetro	MS folha	MS fruto	Teor de óleo	Teor proteína
	(m)	(cm)	(g folha ⁻¹)	(g fruto ⁻¹)	(%)	(%)
Florescimento	2,96 a	13,07 c	0,732 b	-	-	-
Frutos verdes	2,95 a	13,28 c	0,858 a	1,390 c	-	-
Frutos maduros	2,98 a	13,65 b	0,860 a	2,463 a	32,07 a	21,24 a
Frutos secos	2,99 a	13,98 a	0,823 a	2,173 b	30,70 b	20,19 b
Média	2,97	13,49	0,818	2,008	31,38	20,71
CVb %	2,18	2,90	13,78	17,41	5,95	8,51
CVf %	0,61	2,98	7,32	27,63	3,08	3,58

CVb % Coeficiente de variação da análise de variância.

CVf % Coeficiente de variação fenotípico.

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Para matéria seca foliar, somente aquelas coletadas no florescimento diferiram das demais, apresentando a menor média, de 0,732 g folha⁻¹. Os demais estádios foram semelhantes, produzindo em média 0,847 g folha⁻¹

(Tabela 5). Para matéria seca dos frutos, a maior média foi encontrada nos frutos colhidos maduros (2,463 g fruto⁻¹), seguido dos secos (2,173 g fruto⁻¹) e verdes (1,390 g fruto⁻¹) (Tabela 5). Os frutos maduros também proporcionaram maiores teores de óleo e proteína, com médias de 32,07 e 21,24%, respectivamente (Tabela 5).

O alargamento caulinar ocorreu devido ao fator cronológico, ou seja, o aumento desse parâmetro de crescimento seguiu o avanço da idade das plantas, pois as plantas avaliadas na primeira, segunda, terceira e quarta épocas apresentaram médias crescentes (Tabela 5). Além disso, o aumento da espessura do caule pode ter sido influenciado pelo estado hídrico das plantas devido ao armazenamento de água no caule. Verificou-se, em algumas épocas, o aumento do índice de precipitação pluvial, como se pode observar na Figura 1. Associado a isso, constatou-se a queda das folhas, iniciada no final da maturação dos frutos. Esta queda de folhas pode ter contribuído para o aumento do diâmetro caulinar, pois a água que não é perdida por meio da transpiração foliar pode ser armazenada no caule, aumentando o seu diâmetro.

A possível explicação do efeito significativo da matéria seca foliar, encontrada entre a fase de florescimento e as demais (Tabela 5), pode ter sido devido ao aumento na demanda de água e nutrientes nas fases pós-antese. Entretanto, vale ressaltar que, apesar da diferença estatística, essas médias foram bem próximas.

O maior acúmulo de matéria seca de frutos foi obtido quando os frutos foram coletados maduros (Tabela 5). Esse efeito ocorreu devido ao máximo fluxo de água e nutrientes nessa época. Nesta fase, é necessária alta disponibilidade de água às plantas, para que os fotoassimilados das folhas sejam translocados às sementes em desenvolvimento e possa haver formação de reservas (SANTOS et al. 2012). Os menores acúmulos de matéria seca foram obtidos pelos frutos verdes e secos (Tabela 5). Para os frutos verdes o motivo atribuiu-se à fase inicial de crescimento que esses órgão se encontravam, enquanto que para os frutos secos ocorreu devido a paralisação de água e fotoassimilados para os frutos depois da maturação.

Silva et al. (2012) verificaram o incremento na matéria seca dos grãos de frutos colhidos na coloração verde, verde-amarela, amarela, amarelo-marrom e marrom. Em outro estudo, Santos et al. (2012) observaram a diferença na matéria seca em função da maturação ao analisar o peso de 1000 grãos. Esses pesquisadores encontraram para os frutos de coloração verde, amarela, marrom-amarela e marrom, as respectivas médias: $460,75 \pm 14,46$; $782,27 \pm 11,0$; $903,91 \pm 5,48$; e $886,52 \pm 14,85$ g.

O maior teor de óleo foi encontrado nos frutos maduros devido à redução na demanda de água, nutrientes e fotoassimilados para crescimento do fruto. Dessa forma, com a maturação, os produtos essenciais para o crescimento serão enviados prioritariamente para os grãos. O transporte desses produtos para os grãos resultará no aumento da matéria seca, lipídeos, ácidos graxos, açúcares, proteínas e outras substâncias, até atingir nível máximo, quando cessa a translocação da planta com o grão (DIAS, 2001; SANTOS et al., 2012). Houve redução do teor de óleo nos frutos secos. Esta redução ocorreu a partir da maturidade fisiológica dos grãos, quando os grãos se desligam da planta-mãe e passam a consumir seu material de reserva durante o processo respiratório (BARROS, 1986; SANTOS et al., 2012). Costa et al. (2009) também obtiveram maior teor de óleo em grãos de frutos colhidos maduros (amarelos), quando comparados aos coletados quando intermediários (castanho) e secos (preto). Porém, esses autores, encontraram teores de óleo médios elevados, como 74, 60 e 21%, para os frutos colhidos maduros, intermediários e secos, respectivamente. Os altos teores de óleo, assim como os obtidos por Costa et al. (2009) foram conseguidos pela extração somente do albúmen dos grãos. Em outro estudo, Santos et al. (2012) obtiveram maior teor de óleo nos frutos de coloração marrom-amarelo e marrom, cujo os teores foram respectivamente 26,21 e 25,34%. Entretanto, Silva et al. (2012) e Pessoa et al. (2012) não encontraram diferença estatística entre os frutos colhidos maduros (amarelo) com aqueles amostrados secos (marrom), encontrando diferença apenas entre o teor de óleo dos grãos colhidos verdes. Os teores de óleo obtidos por Silva et al. (2012) para os frutos colhidos verde, amarelo,

amarelo-marrom e marrom foram, respectivamente: 25,94; 35,21; 36,43 e 35,63%. Para os frutos analisados por Pessoa et al. (2012) para os mesmos estádios do estudo anterior foram: 18,10; 29,15; 27,48 e 28,90%.

O maior teor de proteína foi encontrado nos frutos maduros, uma vez que, a translocação de fotoassimilados é máxima de nesta época. A redução protéica ocorrida nos frutos secos é atribuída às mesmas causas relatadas para o teor de óleo, ou seja, interrupção na translocação de fotoassimilados da planta-mãe, para os grão e consumo do material de reserva durante o processo respiratório (BARROS, 1986; SANTOS et al., 2012).

3.3. Efeito dos estratos na copa

Analisando o efeito do estrato de amostragem das folhas e frutos na copa das plantas, verificou-se diferença significativa apenas para a matéria seca foliar. As folhas localizadas na região superior produziram maior massa seca, seguida das localizadas nas porções medianas e inferiores da copa (Tabela 6).

Tabela 6 - Médias de matéria seca (MS) da folha e do fruto e dos teores de óleo e proteína de populações de *J. curcas* em três estratos na planta

Estrato na copa	MS folha	MS fruto	Teor de óleo	Teor proteína
	(g folha ⁻¹)	(g fruto ⁻¹)	(%)	(%)
Superior	0,976 a	1,956 a	31,94 a	20,93 a
Médio	0,834 b	2,047 a	31,12 a	21,18 a
Inferior	0,645 c	2,023 a	31,09 a	20,03 a
Média	0,818	2,008	31,38	20,71
CVc %	14,38	10,73	5,76	10,57
CVf %	20,29	2,34	1,53	2,92

CVc % Coeficiente de variação da análise de variância.

CVf % Coeficiente de variação fenotípico.

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Resultado semelhante foi obtido por Souza et al. (2008), avaliando a produção de matéria seca foliar de erva-mate em função da localização da

folha na copa. Entre as causas que explicam essas diferenças no peso seco foliar, pode-se citar como principal o balanço hídrico das plantas, mais precisamente o fluxo transpiratório, que ocorre geralmente no sentido da base até o ápice, através dos vasos do xilema (TAIZ & ZEIGER, 2002).

Não se observou diferença significativa ao analisar o efeito da localização de coleta na copa para as características relacionadas aos frutos (Tabela 6). Comparando os resultados da matéria seca foliar com as dos frutos, verifica-se que as folhas são bem sensíveis ao fluxo de água ao longo da planta.

Como os teores de óleo e proteína não apresentaram diferença estatística nos diferentes estratos de coleta pode-se concluir que para a síntese desses produtos, a demanda de água, nutrientes, fotoassimilados e outros produtos metabólicos para esses drenos não afetam seus teores em função da localização do fruto na copa da planta.

3.4. Efeito das interações

Verificou-se o efeito significativo da interação fases fenológicas x estratos, para a matéria seca das folhas e dos frutos, conforme observa-se nas figuras 3 e 4 respectivamente. Para as folhas, no desdobramento das fases fenológicas dentro de cada nível de estrato, houve efeito significativo em todos os estratos avaliados. No estrato superior, os maiores acúmulos de matéria seca foram 1,076 e 1,020 g folha⁻¹, obtidos pelas folhas coletadas nas fases de frutos verdes e maduros, respectivamente. No estrato médio, o maior acúmulo de matéria seca foi 0,916 g folha⁻¹, encontrado nas folhas amostradas na fase de frutos verdes, e não diferiu estatisticamente daqueles tecidos coletados na fase dos frutos maduros, cuja média foi 0,848 g folha⁻¹. Para as folhas do estrato inferior, os maiores pesos secos foram encontrados nas fases dos frutos maduros e secos, com médias respectivamente de 0,711 e 0,735 g folha⁻¹.

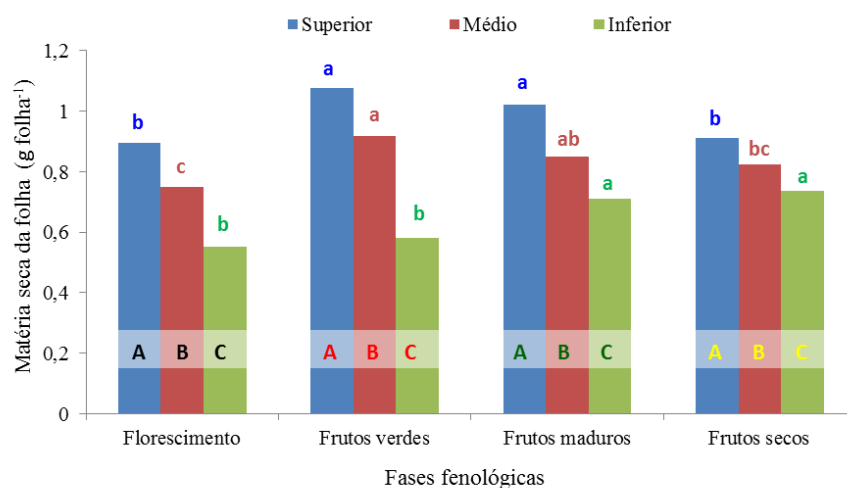


Figura 3 - Efeito da interação fase fenológica x estrato para matéria seca das folhas de *J. curcas*. Letras maiúsculas e minúsculas iguais e de mesma cor não difere entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Em relação ao desdobramento dos estratos dentro de cada nível da fase fenológica (Figura 3), verificou efeito significativo em todas as fases avaliadas, sendo os maiores acúmulos de matéria seca obtidos no estrato superior. As médias para o florescimento, frutos verdes, maduros e secos, foram respectivamente: 0,896; 1,076; 1,020; 0,912 g folha⁻¹.

Quanto à produção de matéria seca nos frutos (Figura 4), observou-se no desdobramento das fases fenológicas dentro de cada nível de estrato, o efeito significativo em todos os estratos avaliados, sendo o maior acúmulo de matéria seca obtido nos frutos colhidos maduros, cujas médias foram 2,379; 2,495; e 2,516 g fruto⁻¹, respectivamente. Analisando-se o desdobramento dos estratos dentro de cada nível da fase fenológica (Figura 4), foi observado diferença estatística apenas nos frutos colhidos verdes. Nesse estágio de maturação, o maior acúmulo de matéria seca dos frutos foi encontrada naqueles colhidos no estrato médio (1,491 g fruto⁻¹), apesar de não diferir daqueles localizados no estrato superior (1,379 g fruto⁻¹).

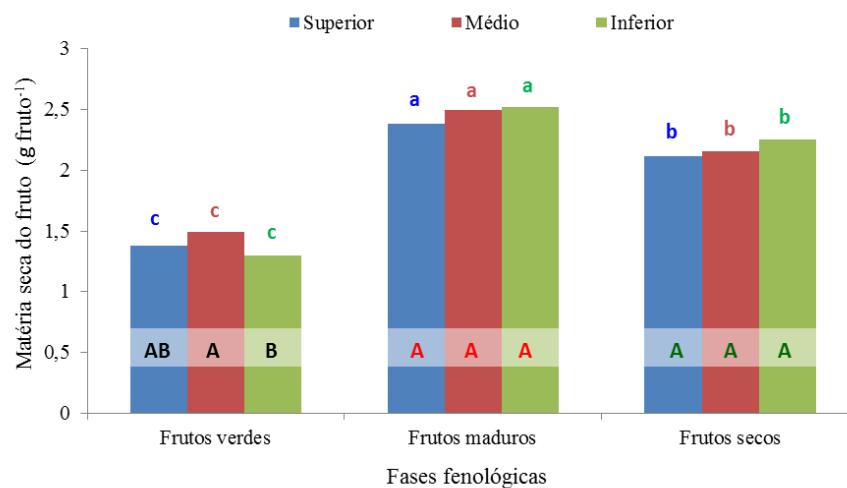


Figura 4 - Efeito da interação fase fenológica x estrato para matéria seca dos frutos de *J. curcas*. Letras maiúsculas e minúsculas iguais e de mesma cor não difere entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A ocorrência de interação entre as fases fenológicas e os estratos para produção de biomassa das folhas e dos frutos deveu-se as diferenças nas demandas e redistribuição de água e nutrientes em função das épocas e da localização desses órgãos nas plantas.

4. CONCLUSÕES

- A população J5 apresentou plantas mais altas e de maior diâmetro caulinar.
- O maior peso seco foliar foi encontrado na população J2.
- As populações não apresentaram variabilidade genética quanto à matéria seca dos frutos, produção de grãos e teores de óleo e proteína.
- Os frutos de *J. curcas* devem ser colhidos maduros por apresentar maiores teores de óleo, proteína e peso seco.
- A localização dos frutos na planta não influencia os teores de óleo e proteína dos grãos.

5. REFERÊNCIAS

- AKBAR, E.; YAAKOB, Z.; KAMARUDIN, S. K.; ISMAIL, M.; SALIMON, J. Characteristic and composition of *Jatropha curcas* oil seed from Malaysia and its potential as biodiesel feedstock feedstock. **European Journal of Scientific Research**, v. 19, n. 3, p. 396-403, 2009.
- BARROS, A. S. R. Maturação e colheita de sementes. In: Cícero, S. M.; Marcos Filho, J.; Silva, W.R. (Coord.). **Atualização em produção de sementes**. Campinas: Fundação Cargill, 1986. p.34-107.
- BEHERA, S. K.; SRIVASTAVA, P.; TRIPATHI, R.; SINGH, J. P.; SINGH, N. Evaluation of plant performance of *Jatropha curcas* L. under different agro-practices for optimizing biomass – A case study. **Biomass and bionergy**, v. 34, n. 1, p. 30-41, 2010.
- BRASILEIRO, B. G.; DIAS, D. C. F. S.; DIAS, L. A. S. Floral biology and characterization of seed germination in physic nut (*Jatropha curcas* L.). **Revista Brasileira de Sementes** (in press)
- COSTA, P. R.; POSSE, S. C. P.; CORTI, G. S.; TAMAGNONI, B. D.; DIAS, I. S. Quantificação de óleo no albúmen das sementes de pinhão-mansão em diferentes estádios de maturação dos frutos In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FISILOGIA VEGETAL. 12., 2009. **Anais...** Fortaleza: SBFV, 2009.
- DAUDET, M. M. S.; MERGEAI, G.; BAUDOIN, J-P.; TOUSSAINT, A. Culture in vitro de *Jatropha curcas* L. **Biotechnology, Agronomy, Society and Environment**, v. 15, n. 4, p. 567-574, 2011.

- DIAS, D. C. F. Maturação de sementes. **Seed News**, Pelotas, v.5, n.6, p.22-24, 2001.
- DIAS, L. A. S.; BARROS, W. S. **Biometria experimental**. Viçosa, MG: Suprema, 2009. 408p.
- DIAS, L. A. S.; MISSIO, R. F.; DIAS, D. C. F. S. Antiquity, botany, origin and domestication of *Jatropha curcas* (Euphorbiaceae), a plant species with potential for biodiesel production. **Genetics and Molecular Research**, v. 11, n. 3, p. 2719-2728, 2012.
- DIAS, L. A. S.; LEME, L. P.; LAVIOLA, B. G.; PALLINI, 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: LAS Dias, 2007. 40p.
- DIVAKARA, B. N.; UPADHYAYA, H. D.; WANI, S. P.; LAXMIPHATHI GOWDA, C. L. Biology and genetic improvement of *Jatropha curcas* L.: A review. **Applied Energy**, v. 87, n. 3, p. 732-742, 2010.
- DRUMOND, M. A.; SANTOS, C. A. F.; OLIVEIRA, V. R.; MARTINS, J. C.; ANJOS, J. B.; EVANGELISTA, M. R. V. Desempenho agrônômico de genótipos de pinhão-manso no semiárido pernambucano. **Ciência Rural**, v. 40, n. 1, p. 44-47, 2009.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro, 1999. 412 p.
- FERRARI, R. A.; CASARINI, M. B.; MARQUES, D. A.; SIQUEIRA, W. J. Avaliação da composição química e de constituinte tóxico em acessos

de pinhão-manso de diferentes origens. **Brazilian Journal Food Technology**, v. 12, n. 4, p. 309-314, 2009.

FREITAS, R. G.; MÍSSIO, R. F.; MATOS, F. S.; RESENDE, M. D. V.; DIAS, L. A. S. Genetic evaluation of *Jatropha curcas*: an important oilseed for biodiesel production. **Genetics and Molecular Research**, v. 10, n. 3, p. 1490-1498, 2011.

GOHIL, R. H.; PANDYA, J. B. Genetic diversity assessment in physic nut (*Jatropha curcas* L.). **International Journal of Plant Production**, v. 2, n. 4, p. 321-326, 2008.

GÜBITZ, G. M.; MITTELBACH, M.; TRABI, M. Exploitation of the tropical oil seed plant *Jatropha curcas* L. **Bioresource Technology**, v. 67, n. 1, p. 73-82, 1999.

HELLER, J. **Physic nut. *Jatropha curcas* L.** Promoting the conservation and use of underutilised and neglected crops. 1. Gatersleben: Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research and Rome. International Plant Genetic Resources Institute, 1996. 66 p.

JONGSCHAAP, R. E. E; CORRE, W. J.; BINDRABAN, P. S.; BRANDENBURG, W. A. Claims and Facts on *Jatropha curcas* L.: Global *Jatropha curcas* evaluation, breeding and propagation programme. **Plant Research International Report**, Wageningen, p. 158, 2007.

KAUSHIK, N.; KUMAR, K.; KUMAR, S.; KAUSHIK, N.; ROY, S. Genetic variability and divergence studies in seed traits and oil content of *Jatropha* (*Jatropha curcas* L.) accessions. **Biomass and Bioenergy**, v. 31, n. 7, p. 497-502, 2007.

- 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**, v. 32, n. 5, p. 1969-1975, 2008.
- MAKKAR, H. P. S.; BECKER, K; SPORER, F.; WINK, M. Studies on nutritive potential and toxic constituents of different provenances of *Jatropha curcas*. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 45, n. 8, p. 3152-3157, 1997.
- NDONG, R.; MONTREJAUD-VIGNOLES. M.; SAINT-GIRONS, O.; GABRIELLE, B.; PIROT, R.; DOMERGUE, M.; SABLAYROLLES, C. Life cycle assessment of biofuels from *Jatropha curcas* in West África: a field study. **Global Change Biology Bioenergy**, v. 1, n. 3, p. 197-210, 2009.
- OLIVEIRA, F. C. C.; SUAREZ, P. A. Z.; SANTOS, W. L. P. Biodiesel: possibilidades e desafios. **Química Nova na Escola**, v. 1, n. 28, p. 2-8, 2008.
- OVANDO-MEDINA, I.; ESPINOSA-GARCÍA, F. J.; NÚÑEZ-FARFÁN, J.; SALVADOR-FIGUEROA, M. Genetic variation in Mexican *Jatropha curcas* L. estimated with seed oil fatty acids. **Journal of Oleo Sciencen**, v. 60, n. 6, p. 301-311, 2011.
- PEREIRA, J. C. **Uso de fitorreguladores e efeitos no florescimento de plantas de pinhão-manso e na maturidade fisiológica das sementes.** 91 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Agricultura) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu-SP, 2012.
- PESSOA, A. M. S.; MANN, R. S.; SANTOS, A. G.; RIBEIRO, M. L. F. Influência da maturação de frutos na germinação, vigor e teor de óleo de

- sementes de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.). **Scientia Plena**, v. 8, n. 7, p. 1-11, 2012.
- RAO, G. R.; KORWAR, G. R.; SHANKER, A. K.; RAMAKRISHNA, Y. S. Genetic associations, variability and diversity in seed characters, growth, reproductive phenology and yield in *Jatropha curcas* (L.) accessions. **Trees**, v. 22, n. 5, p. 697-709, 2008.
- SAIKIA, S. P.; BHAU, B. S.; RABHA, A.; DUTTA, S. P.; CHOUDHARI, R. K.; CHETIA, M.; MISHRA, B. P.; KANJILAL, P. B. Study of accession source variation in morpho physiological parameters and growth performance of *Jatropha curcas* Linn. **Current Science**, v. 96, n. 12, p. 1631-1636, 2009.
- SANTOS, S. B.; MARTINS, M. A.; AGUILAR, P. R. M.; CANESCHI, A. L.; CARNEIRO, A. C. O.; DIAS, L. A. S. Acúmulo de matéria seca e óleo nas sementes de pinhão-manso e qualidade do óleo extraído. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.2, p. 209–215, 2012.
- SAS INSTITUTE. **SAS user's guide. Version 9.0**. Cary: SAS Institute, 2000. 584 p.
- SATURNINO, H. M.; PACHECO, D. D.; KAKIDA, J.; TOMINAGA, N.; GONÇALVES, N. P. Cultura do pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.). **Informativo Agropecuário**, v.26, n. 229, p.44-78, 2005.
- SEGALL, S. D.; ARTZ, W. E. The Brazilian experience with biofuels. **Lipid Technology**, v. 19, n. 1, p. 12-15, 2007.
- SILVA, L. J.; DIAS, D. C. F. S.; MILAGRES, C. C.; DIAS, L. A. S. Relationship between fruit maturation stage and physiological

quality of physic nut (*Jatropha curcas* L.) seeds. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 36, n. 1, p. 39-44, 2012.

SILVA, E. N.; RIBEIRO, R. V.; FERREIRA-SILVA, S. L.; VIÉGAS, R.A.; SILVEIRA, J. A. G. Comparative effects of salinity and water stress on photosynthesis, water relations and growth of *Jatropha curcas* plants. **Journal of Arid Environments**, v. 74, n. 10, p. 1130-1137, 2010.

SILVA, D. F.; TRINDADE, R. C. P.; OLIVEIRA, M. W.; FERRO, J. H. A.; CALHEIROS, A. S. Matéria seca, concentração e acúmulo de nutrientes em mamoneira, influenciados pelas doses de fósforo. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 6, n. 2, p. 273-279, 2011.

SOUZA, J. L. M.; ARAÚJO, M. A.; REISSMANN, C. B.; MACCARI JÚNIOR, A.; WOLF, C. S. Teores de nutrientes foliares em plantas de erva-mate em função da posição e orientação geográfica da copa, em Guarapuava-PR. **Scientia Agraria**, v. 9, n. 1, p. 49-58, 2008.

SOUZA, A. D. V.; FÁVARO, S. P.; ÍTAVO, L. C. V.; ROSCOE, R. Caracterização química de sementes e tortas de pinhão-manso, nabo-forrageiro e crambe. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.44, n.10, p.1328-1335, 2009.

SUNIL, N.; SUJATHA, M.; KUMAR, V.; VANAJA, M.; BASHA, S. D.; VARAPRASAD, K. S. Correlating the phenotypic and molecular diversity in *Jatropha curcas* L. **Biomass and Bioenergy**, v. 35, n. 3, p. 1085-1096, 2011.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant Physiology**. 3.ed. Massachusetts: Sinauer Associates, 2002. 690 p.

TATIKONDA, L.; WANI, S. P.; KANNAN, S.; BEERELLI, N.; SREEDEVI, T. K.; HOISINGTON, D. A.; DEVI, P.; VARSHNEY, R. K. AFLP-based molecular characterization of an elite germplasm collection of *Jatropha curcas* L., a biofuel plant. **Plant Science**, v. 176, n. 4, p. 505-513, 2009.

CAPÍTULO 2

TEORES E ACÚMULOS DE NUTRIENTES EM POPULAÇÕES DE *Jatropha curcas* L.

RESUMO

Para a obtenção de um sistema de recomendação de adubação é imprescindível o conhecimento das composições químicas do solo e da planta. A composição química da planta varia com o substrato, a variedade, fase fenológica e órgãos vegetativos. Dessa forma, visando subsidiar um sistema de recomendação de adubação para a *Jatropha curcas* L. conduziu-se um experimento com objetivo de avaliar os teores e acúmulo de nutrientes nas folhas e nos frutos de diferentes populações, fases fenológicas e estratos na copa das plantas. O experimento foi conduzido no Campo Diogo Alves de Mello, pertencente à Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, Brasil. Utilizou-se o delineamento em blocos casualizados com quatro repetições, sendo os tratamentos dispostos em parcelas subsubdivididas. As parcelas principais foram compostas de clones de seis populações de *J. curcas*, oriundas dos municípios mineiros de Janaúba (J1, J2, J3, J4 e J5) e Bonfim (B1). Já as subparcelas foram constituídas de quatro fases fenológicas de amostragem para as folhas (florescimento, frutos verdes, frutos amarelos e frutos secos) e de três para os frutos (frutos verdes, frutos amarelos e frutos secos), e as subsubparcelas, de três estratos de coleta na copa das plantas (superior, média e inferior). As parcelas foram compostas de quatro plantas com quatro anos e meio de campo, espaçadas de 2,5 m entre si. As características avaliadas foram teor e acúmulo de nutrientes nas folhas e frutos e exportação de nutrientes. Para isso, coletaram-se, em cada fase e estrato, 16 folhas e 6 frutos por parcela, sendo estas, ausentes de sintomas de deficiência nutricional aparente e livres do ataque de pragas e doenças. Logo em seguida, os materiais vegetais foram lavados e postos para secar, pesados e submetidos às análises químicas. Os resultados mostraram a existência de variabilidade genética entre as populações somente para o teor foliar de Zn, destacando-se a J4 pelo maior teor. Também verificou variabilidade genética para os teores de P, Fe e Cu nos frutos, encontrando-se as maiores médias nas populações J2 para P; J1 para Fe e J2 e J5 para o Cu. Os teores e acúmulos de todos os nutrientes determinados nas folhas e frutos variaram com a fase fenológica. A localização das folhas influenciou nos teores de N, K, Ca, Mg, Zn, Fe, Mn e Cu, e dos frutos os teores de N, Ca e Cu. Observou a ocorrência de variabilidade genética entre a população J1 e as demais para os acúmulos foliares de N, P, S e Zn, e para os frutos, apenas o cobre apresentou variabilidade genética, destacando-se as populações J2, J3, J4 e J5 pelos maiores conteúdos. Os estratos influenciaram nos acúmulos foliares de todos os nutrientes avaliados, enquanto nos frutos, somente os acúmulos de N e Ca foram influenciados. Somente a exportação de cobre foi influenciada pela população, destacando-se a J5 pela maior exportação. Baseada na exportação de N: P₂O₅: K₂O pela produção de 1.000 kg ha⁻¹ de frutos de *J. curcas*, o solo deve disponibilizar para as plantas 21,03; 6,25 e 23,80 kg de N: P₂O₅: K₂O, respectivamente.

Palavras-chave: nutrição mineral, melhoramento genético, biodiesel.

ABSTRACT

To obtain a fertilization recommendation system the knowledge of the chemical composition of soil and plants are essential. The chemical composition of the plant varies with the substrate, with the variety, with phase phenology, and between the vegetative organs. Thus, in order to subsidize a fertilization recommendation system for *Jatropha curcas* L. a trial was conducted in order to assess the levels and nutrient accumulation in leaves and fruits of different populations, phenological phases and strata of the plants. The trial was conducted in field Diogo Alves de Mello, at the Federal University of Viçosa, Minas Gerais, Brazil. The randomized block design with four replications was used, being arranged in split-plot. The main plots were composed of clones of six *J. curcas* populations, from the municipalities of Janaúba (J1, J2, J3, J4 and J5) and Bonfim (B1). Subplots were constituted of four phenological phases of sampling for the leaves (flowering, unripe fruit, yellow fruits and dried fruits) and three to the fruits (unripe fruits, yellow fruits and dried fruit), and the subsubplots, of three strata of plant (top, middle and bottom). The plots were composed of four plants with four and a half years of field, spaced 2.5 m from each other. The traits evaluated were content and accumulation of nutrients in leaves and fruits and nutrient export. For this, 16 leaves and 6 fruits per plot were collected in each phase and stratum, being these absent of nutritional deficiency symptoms and apparent free from attack by pests and diseases. These plant materials were washed and laid to dry, weighed and subjected to chemical analysis. The results showed the existence of genetic variability between populations only for the Zn foliar content, highlighting the J4 to the highest level. Also found genetic variability for the levels of P, Fe and Cu in fruit, and is the largest mean in the J2 populations to P; J1 to Fe and J2 and J5 to Cu levels. Nutrient content and accumulation determined in the leaves and fruits varied with phase phenology. The location of leaves influenced in the contents of N, K, Ca, Mg, Zn, Fe, Mn and Cu, and of fruits in relation to N, Ca and Cu contents. There was genetic variability among populations for the leaf accumulations of N, P, S and Zn, and for the fruits, only Cu presented genetic variability, notably J2, J3, J4 and J5 populations by larger content. The strata influenced in leaf accumulations of all nutrients measured, while in fruit, only the N and Ca accumulations were influenced. Only the export of Cu was influenced by the population, especially the J5 for the largest export. Based on export of N: P₂O₅: K₂O by yield of 1,000 kg ha⁻¹ of *J. curcas* fruits, the soil should be made available to plants 21.03, 6.25 and 23.80 kg N: P₂O₅: K₂O, respectively.

Keywords: Mineral nutrition, genetic breeding, biodiesel.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, pesquisadores de diversas áreas do ramo científico têm buscado alternativas que diminuam os impactos ambientais provocados pela utilização de combustíveis fósseis. Entre essas alternativas, os biocombustíveis têm se destacado por se tratar de fonte de energia limpa e renovável. Biocombustíveis são todos os produtos capazes de gerar energia a partir de biomassa, tais como: carvão vegetal (madeira); álcool (açúcares – glicose, amido, celulose); biogás (biomassa em geral) e o biodiesel (óleo e gorduras) (OLIVEIRA et al., 2008). O biodiesel é obtido a partir da esterificação ou transesterificação de óleos ou gorduras de origem vegetal e/ou animal (SUAREZ & MENEGHETTI, 2007; LÔBO et al., 2009).

No Brasil as principais matérias-primas utilizadas para a produção de biodiesel são: soja, gordura animal e algodão com contribuições de 81%, 13% e 4% respectivamente, sendo os outros materiais responsáveis por apenas 2% dessa produção (ANP, 2013). Há, portanto, a necessidade de diversificar e buscar outras matérias-primas para produção de biodiesel. Uma forma é utilizar oleaginosas com potencial bioenergético, como pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) (HELLER et al., 1996; DIAS et al., 2007; JONGSCHAAP et al., 2007; BEHERA et al., 2010).

A evidência da *J. curcas* como matéria-prima para produção de biodiesel é atribuída ao fato do óleo apresentar características físico-químicas ideais para produção de combustível (AKBAR et al., 2009) e, também, em razão de a planta possuir alto teor de óleo nos grãos, que varia de 33 a 38% (DIAS et al., 2007). Além dessas vantagens, *J. curcas* é uma espécie rústica, adaptada às mais diversas condições edafoclimáticas, tolerante à seca, vegetando em solos marginais e de baixa fertilidade natural e sendo resistente a pragas e doenças (HELLER et al., 1996; SATURNINO et al., 2005; JONGSCHAAP et al., 2007; LAVIOLA & DIAS, 2008; BEHERA et al., 2010). Embora *J. curcas* possua inúmeras qualidades, essa espécie apresenta como limitação a ausência, até o momento, de variedades

melhoradas (DIVAKARA et al., 2010; DAUDET et al., 2011). Contudo, em face da implementação de vários programas de melhoramento no Brasil e no mundo, acredita-se que em alguns anos a espécie contará com variedades melhoradas para cultivo comercial.

A sobrevivência em solos marginais e de baixa fertilidade natural, apesar de serem excelentes características da cultura, nessas condições a planta não expressa seu máximo potencial produtivo. Com isso, para obter alta produtividade de frutos, as plantas necessitam de solos naturalmente férteis ou manejados nutricionalmente para correção das deficiências de fertilidade. Embora seja possível aumentar o rendimento da cultura através da aplicação de fertilizantes e corretivos no solo, para *J. curcas* ainda não há um sistema de recomendação de adubação.

O desenvolvimento de um sistema de recomendação de adubação de uma cultura, segundo Cantarutti et al. (2007), é realizado pela análise química do solo e pela associação dessa com a dos tecidos das plantas. No que se refere ao solo, o modelo mais difundido utiliza a análise química como técnica de diagnóstico e fundamenta-se na identificação de classes de fertilidade em que o solo se enquadra e na recomendação com base em tabelas de fertilização. O outro modelo baseia-se no balanço nutricional, ou seja, utiliza os resultados da análise química do solo com a demanda nutricional da planta para determinada produtividade esperada. Nesse contexto, para obtenção do sistema de recomendação baseado no balanço nutricional, é necessária a determinação da composição química e do acúmulo de nutrientes pelas folhas e frutos, assim como a exportação de nutrientes presentes no solo pela colheita dos frutos (LAVIOLA & DIAS, 2008).

A composição química das plantas varia de acordo com as condições físico-químicas do substrato (solo ou solução nutritiva) e com a espécie, sendo relatada diferença até entre variedades (PINTO et al., 2011); pode haver também diferença entre as fases fenológicas da cultura; entre os órgãos e suas localizações na planta e até em relação ao ataque de pragas e doenças (RAIJ, 1991; PRADO et al., 2008).

As diferenças existentes entre espécies e variedades na composição química das plantas ocorrem devido às potencialidades genéticas particulares de cada grupo de indivíduos, proporcionadas principalmente pelas diferenças na morfologia radicular (comprimento, volume, raio, superfície e taxa de crescimento) e nos parâmetros cinéticos de absorção ($V_{\text{máx}}$, K_m e C_{min}) (ANGHINONI et al., 1989; PINTO, 2009). Outro fator que também explica esse efeito nos tecidos vegetais são os sucessivos métodos de melhoramento genético aos quais as culturas são submetidas, selecionando, portanto, indivíduos cada vez mais eficientes quanto à absorção, translocação e utilização de nutrientes.

No caso dos estádios fenológicos, o efeito na composição química vegetal é atribuído ao fato de a planta absorver, translocar e utilizar os nutrientes em velocidade, formas e períodos distintos. Esses mecanismos são controlados pelos fatores externos, como condições hídricas do solo, temperatura, radiação solar, entre outros, e também pelas características da própria cultura, como idade, variedade, ciclo (vegetativo e reprodutivo), ausência ou presença de bianualidade, entre outros. Muitos autores têm investigado e encontrado diferenças nos teores e conteúdo de nutrientes analisando os estádios fenológicos de diversas culturas, como a própria *J. curcas* (LIMA et al., 2011a; LIMA et al., 2011b), a acerola (LIMA et al., 2008) e a lichia (SALOMÃO et al., 2006).

Outro fator que também influencia na composição química das folhas e frutos é a localização desses órgãos na copa. Esse efeito atribui-se a mobilidade e/ou remobilização de cada elemento na planta (MARSCHNER, 1995), que variam em função da espécie, da idade da planta, do estágio fenológico, das condições edafoclimáticas e das práticas de manejo adotadas (LIMA et al., 2011b). O conhecimento da dinâmica dos nutrientes entre os tecidos velhos para as áreas de crescimento das plantas é importante por indicar a ocorrência de desbalanços nutricionais, seja por falta ou por excesso de nutrientes minerais.

Assim, objetivou-se com este trabalho avaliar os teores e acúmulos de nutrientes de populações de *J. curcas* em diferentes estádio fenológicos e

estratos na planta, bem como, quantificar a exportação de nutrientes pela colheita, visando selecionar genótipos eficientes nutricionalmente e subsidiar a recomendação de adubação.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido de novembro de 2011 a fevereiro de 2012, com plantas de *J. curcas* de 4,5 anos de idade, cultivadas no espaçamento 2,5 x 2,5 m, no Campus Experimental “Diogo Alves de Mello”, pertencente à Universidade Federal de Viçosa (latitude de 20° 45’ 58” S, longitude de 42° 52’ 06” W e altitude média de 676 metros). O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo (EMBRAPA, 1999). O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é Cwa, quente e úmido, caracterizado por inverno seco e frio com temperaturas mínimas inferiores a 10 °C. A temperatura média durante o período experimental variou de 15,5 a 33,4 °C, e a precipitação pluvial acumulada foi de 844,5 mm (Figura 1).

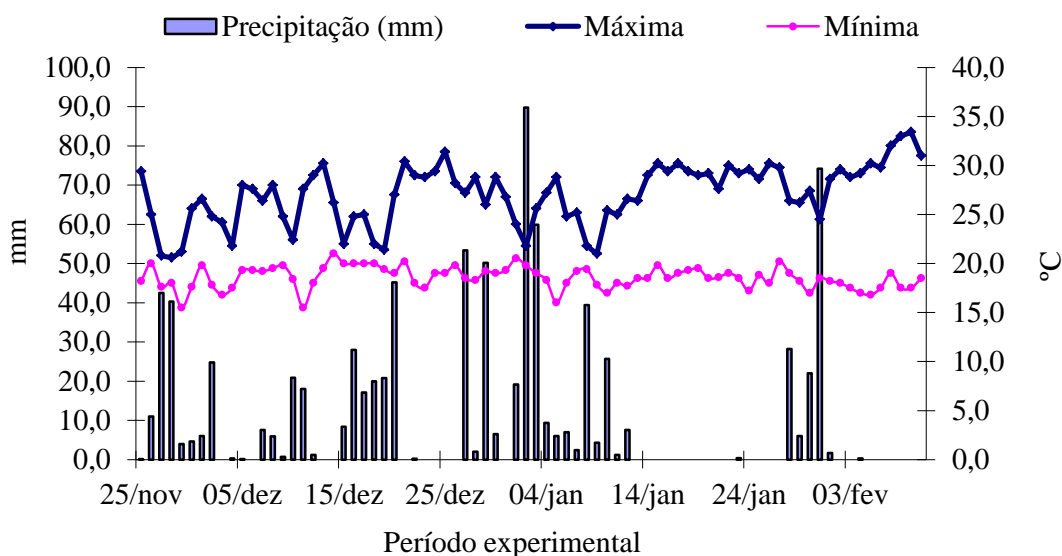


Figura 1 - Dados meteorológicos de precipitação (mm) e temperatura máxima e mínima (°C) durante o período experimental, coletados na Estação Meteorológica da Universidade Federal de Viçosa-MG.

A adubação química foi realizada de acordo com Dias et al. (2007), aplicando-se no plantio 100 g planta⁻¹ do formulado 20-10-15. No primeiro ano após o plantio foram aplicados 150 g planta⁻¹ do formulado 20-00-15 e,

nos três anos subsequentes, em forma parcelada, aplicaram-se 200, 300 e 400 g planta⁻¹ do formulado 20-10-15, respectivamente. O experimento foi conduzido em sistema de sequeiro e livres de competição com plantas daninhas e aos ataques de pragas e doenças. Antes da tomada de dados experimentais coletaram-se amostras de solo nas camadas de 0-20 e 20-40 cm, para análise química (Tabela 1).

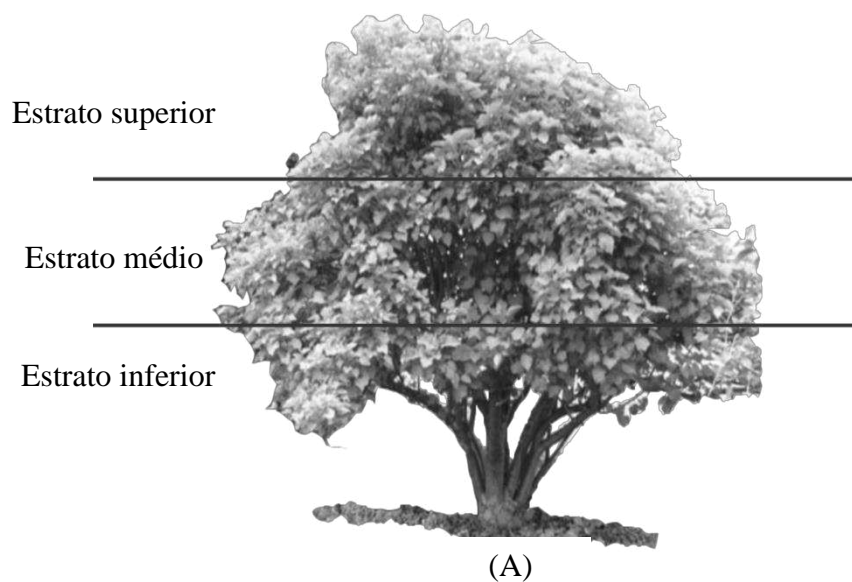
Tabela 1 - Análise química do solo da área experimental nas profundidades de 0 a 20 cm e de 20 a 40 cm

Atributos químicos	Profundidade (cm)	
	0-20	20-40
pH (H ₂ O)	4,50	4,56
MO (dag kg ⁻¹)	2,93	2,00
P (mg dm ⁻³)	2,6	0,9
K (mg dm ⁻³)	37	25
Ca ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,99	0,97
Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,37	0,37
Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,59	0,49
H + Al (cmol _c dm ⁻³)	6,9	5,5
SB (cmol _c dm ⁻³)	1,45	1,40
CTC _{efetiva} (cmol _c dm ⁻³)	2,04	1,89
CTC _{total} (cmol _c dm ⁻³)	8,35	6,90
V (%)	17,4	20,3
m (%)	28,9	25,9
Zn (mg dm ⁻³)	1,39	1,14
Fe (mg dm ⁻³)	47,2	42,6
Mn (mg dm ⁻³)	17,0	12,4
Cu (mg dm ⁻³)	1,98	2,14
B (mg dm ⁻³)	0,25	0,27
S (mg dm ⁻³)	22,4	21,7

pH em água. MO: Mat. Org. = C.org x 1,724 – Walkley – Black. P, K, Zn, Fe, Mn, Cu: extrator Mehlich⁻¹. Ca²⁺, Mg²⁺ e Al³⁺: extrator KCl 1 mol L⁻¹. H + Al: extrator acetato de cálcio 0,5 mol L⁻¹. SB: soma de bases (Ca²⁺ + Mg²⁺ + K⁺). CTC_{efetiva} = SB + Al³⁺. CTC_{total} = SB + (H + Al). V: saturação por bases: (SB/CTC_{total}) × 100. m: índice de saturação de Al. B (Água quente); S (NH₄O Ac. 0,5 mol L⁻¹ e HO Ac. 0,25 mol L⁻¹)

Utilizou-se o delineamento em blocos casualizados, com os tratamentos dispostos em parcelas subdivididas. As parcelas principais foram constituídas de clones de seis populações de *J. curcas*, oriundas dos municípios mineiros de Janaúba (J1, J2, J3, J4 e J5) e Bomfim (B1). As subparcelas foram constituídas de quatro fases fenológicas de amostragem, sendo elas: i) florescimento; ii) frutos verdes, iii) frutos maduros e iv) frutos secos. Os intervalos entre as avaliações foram de 30 dias para as três

primeiras fases e 15 dias para as duas últimas. No caso dos frutos, estes foram coletados: i) verdes; ii) maduros e iii) secos. Os intervalos entre as avaliações foram de 30 dias para as duas primeiras fases e 15 dias para as duas últimas. Por fim, a subparcela foi constituída de três estratos de amostragem na copa das plantas (partes superior, mediana e inferior) (Figura 2A), coletando-se em forma de quadrantes (Figura 2B), tanto para as folhas quanto para os frutos. A área útil foi composta de quatro plantas. Coletaram-se as folhas completamente expandidas entre a sexta e a oitava abaixo da inflorescência ou infrutescência, dependendo da fase avaliada, amostrando-se 16 unidades de cada estrato da planta por parcela. Somente as folhas livres de deficiência nutricional aparente e/ou ataque de praga e doenças foram coletadas. Quanto aos frutos, estes foram coletados em número menor, ou seja, seis frutos de cada estrato da planta por parcela. Esses órgãos também foram coletados sem distúrbios nutricionais visíveis e com ausência de ataque de pragas e/ou doenças.



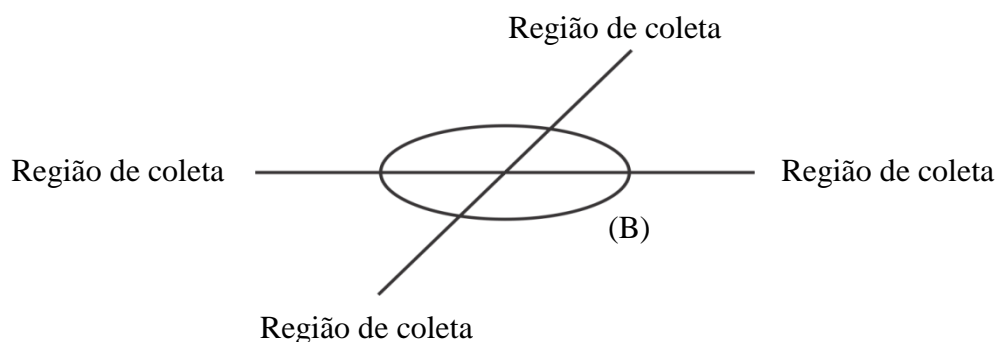


Figura 2 - (A) coleta das folhas e dos frutos quanto à localização na copa das plantas e (B) forma de coleta das folhas em quadrantes.

Depois das coletas dos materiais vegetais, estes foram encaminhados para o Laboratório de Agroenergia da Universidade Federal de Viçosa, lavados com água deionizada e secos em estufa de circulação forçada de ar a 70 °C, até peso constante. Em seguida, as amostras foram pesadas, moídas em moinho tipo Willey e submetidas a análises químicas, as quais foram realizadas no Laboratório de Nutrição Mineral da mesma instituição.

Para determinação dos teores de nitrogênio total, os materiais vegetais foram submetidos à digestão sulfúrica pelo método de Kjeldahl (MALAVOLTA et al., 1997). Para determinação dos teores de fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, zinco, ferro, manganês e cobre, os materiais vegetais secos e moídos foram submetidos à digestão nítrico-perclórica (JOHNSON & ULRICH, 1959). O P foi determinado pelo método de redução do fosfomolibdato pela vitamina C, modificado por Braga & Defelipo (1974). O K foi determinado por fotometria de chama. Os teores de Ca, Mg, Zn, Fe, Mn e Cu foram quantificados através de espectrofotometria de absorção atômica (AOAC, 1975). No caso do S, este nutriente foi determinado através de turbidimetria do sulfato (JACKSON, 1958).

De posse dos resultados dos teores de nutrientes nas folhas e nos frutos de *J. curcas*, e da matéria seca (MS), determinaram-se os acúmulos

de macro e micronutrientes. Obtidos os acúmulos de nutrientes nos frutos de *J. curcas* estimou-se a exportação de macro e micronutrientes pela produção de 1.000 kg de frutos. Para esse cálculo, considerou-se que 1.000 kg de frutos correspondem a 386.100 frutos e também a 378 kg de grãos.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância, precedida pelos testes de normalidade e de homocedasticidade de variância. Como esperança matemática dos quadrados médios para adequação dos testadores de F, utilizou o modelo fixo. Já as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Esses parâmetros estatísticos foram obtidos conforme preconizado por Dias & Barros (2009). Os procedimentos estatísticos foram realizados utilizando o software SAS (SAS Institute, 2000).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Teor de nutrientes nas folhas e frutos

3.1.1. Efeito das populações

As populações apresentaram efeito significativo somente para o teor de Zn nas folhas, e para o de P, Fe e Cu nos frutos, conforme se observa na Tabela 2. Nas folhas, a população J4 apresentou o maior teor de Zn, apesar de não diferir estatisticamente das populações J1, J2, J3 e J5. Para os frutos, o maior teor de P foi obtido pelas plantas da população J2, porém, não diferiram estatisticamente das populações J1, J3, J4 e J5. Em relação aos teores de Cu, as populações J2 e J5 apresentaram os maiores teores. Quanto os teores de Fe, a população J1 foi responsável pelo maior teor, apesar de não diferir estatisticamente da população J5.

Como as populações são compostas de materiais de várias coletas, supõe-se que a diferença encontrada no clone J4 para o teor foliar de Zn ocorra devido à variabilidade genética, que, nesse caso, pode ser atribuída possivelmente a diferenças nas características morfológicas radiculares, como: comprimento, volume, raio, diâmetro e taxa de crescimento. Um sistema radicular bem desenvolvido resulta em maior exploração do solo e, conseqüentemente maior quantidade de nutriente absorvido (EPSTAIN & BLOOM, 2006; MATOS et al., 2011). Pinto (2009), avaliando a influência da morfologia radicular na absorção conjunta de nutrientes em clones de eucalipto, verificou que os materiais genéticos possuem diferenças nas características radiculares, sendo que aqueles com sistemas radiculares mais desenvolvidos absorveram maior quantidade de nutrientes.

Todavia, nota-se que, além dos caracteres morfológicos radiculares, essas populações possuem outros mecanismos que contribuem para o aumento na absorção de nutrientes. Isso fica claro ao verificar dois outros aspectos: primeiramente, porque as populações (Tabela 2) influenciaram

Tabela 2 - Teores médios de macronutrientes e micronutrientes nas folhas e nos frutos de populações de *J. curcas*

Populações	N	P	K	Ca	Mg	S	Zn	Fe	Mn	Cu
Folhas	----- (g kg ⁻¹) -----						----- (mg kg ⁻¹) -----			
J1	35,49	2,52	22,61	23,95	8,95	2,85	24,09 a	127,56	265,42	4,55
J2	37,35	2,67	24,69	26,10	8,49	3,67	27,78 a	143,07	311,53	5,84
J3	35,60	2,63	23,24	24,12	9,49	2,91	27,57 a	142,79	346,71	5,21
J4	36,05	2,37	24,96	22,87	7,89	2,72	29,13 a	138,87	353,76	6,14
J5	36,12	2,53	22,17	25,11	9,05	3,25	26,45 a	140,47	317,01	5,75
B1	36,72	2,54	22,93	22,98	8,07	3,11	22,57 b	119,67	237,44	5,40
Média	36,22	2,53	23,43	24,19	8,66	3,09	26,27	135,41	305,41	5,48
CVa %	11,43	21,40	35,25	34,27	29,84	55,57	34,44	46,18	71,91	67,87
CVf %	1,95	4,10	4,86	5,15	7,11	11,13	9,42	7,08	14,96	10,26
Frutos	----- (g kg ⁻¹) -----						----- (mg kg ⁻¹) -----			
J1	22,40	3,21 ab	21,96	5,56	4,06	1,89	27,66	60,13 a	84,31	7,77 a
J2	22,89	3,42 a	23,18	5,60	3,95	2,03	28,88	49,02 b	86,71	9,01 a
J3	22,55	3,09 ab	19,99	5,44	3,96	1,67	26,73	48,12 b	105,39	7,96 a
J4	21,84	3,27 ab	22,75	5,55	3,94	1,77	26,79	46,34 b	85,92	8,02 a
J5	22,63	3,08 ab	21,91	5,43	3,84	1,84	27,92	50,58 a	102,88	9,30 a
B1	21,25	2,91 b	20,83	6,32	3,81	1,64	26,40	47,56 b	107,78	7,20 b
Média	22,26	3,19	21,77	5,65	3,93	1,81	27,40	50,84	95,50	8,21
CVa %	36,36	18,49	44,39	23,10	12,19	51,34	13,76	27,01	60,37	28,21
CVf %	2,72	5,58	5,46	5,93	2,30	8,05	3,40	9,99	11,45	9,65

CVa % Coeficiente de variação da análise de variância.

CVf % Coeficiente de variação fenotípico.

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

somente no teor foliar de Zn; e, em segundo lugar, porque a população J2 não apresentou os maiores teores foliares de Mg, Zn, Mn e Cu como verificou-se para os demais elementos.

Os mecanismos que também podem ter contribuído para o aumento da absorção das populações são: parâmetros cinéticos de absorção (V_{max} , K_m e C_{min}) (ANGHINONI et al., 1989; PINTO, 2009); e a presença de micorrizas (FAGERIA, 1998) e de exsudatos radiculares de ácidos orgânicos (JESCHKE et al., 1997). Além dos mecanismos supracitados, outro fator que também pode ter influenciado nos teores foliares das populações é a eficiência de translocação dos nutrientes da raiz para a parte aérea. A translocação de nutrientes é a relação entre o acúmulo total de nutriente da parte aérea e o conteúdo de nutriente em toda a planta (LI et al., 1991).

A diferença encontrada entre as populações para os teores de P, Fe e Cu (Tabela 2) nos frutos é atribuída, além dos mecanismos referentes à absorção e translocação, a capacidade de cada população em redistribuir nutrientes para os frutos. Assim como os outros dois mecanismos, a interação fonte-dreno é bastante influenciada pelos genótipos, pois os frutos são encontrados nas plantas em quantidade, peso e tamanho diferentes; com isso, a demanda nutricional para esse órgão é bastante influenciada.

Portanto, supõe-se que a distinção genética entre as populações quanto aos teores de nutrientes nas folhas e frutos tenha ocorrido diante da interação desses mecanismos, atuando em intensidades diferentes.

3.1.2. Efeito das fases fenológicas

As fases fenológicas influenciaram nos teores foliares e dos frutos de todos os nutrientes analisados, conforme observa na tabela 3. Pode-se verificar que nas folhas amostradas na época do florescimento encontraram-se os maiores teores somente de N, P, Zn e Cu. O maior teor foliar de K foi obtido na fase de frutos verdes e maduros, apesar de não diferir estatisticamente da época de florescimento. Já para o Ca os maiores teores

foliares foram obtidos nas três primeiras fases fenológicas, enquanto que para o Mg os maiores foram encontrados nas duas primeiras fases. Para S, o maior teor foi obtido nas folhas coletadas na fase de florescimento, porém não diferiu estatisticamente daquelas amostradas na época dos frutos verdes. No caso do Fe e do Mn, os maiores teores foram encontrados somente nas folhas coletadas quando as plantas encontravam-se com os frutos verdes. Em relação aos frutos, os maiores teores de P, K, S, Zn, Fe, Mn e Cu foram obtidos pelos frutos verdes. Quanto ao N, os maiores teores foram encontrados nos frutos maduros e secos. No caso do Ca e do Mg, os maiores teores foram obtidos apenas pelos frutos secos (Tabela 3).

Pode-se indicar que para o primeiro elemento, N, a redução encontrada nos teores foliares com o avanço das fases fenológicas deveu-se à sua remobilização das folhas para os frutos, acompanhando o enchimento dos grãos (Tabela 3) (TA & WEILAND, 1992; HIREL et al., 2007). Esse efeito foi obtido em razão de os grãos serem os principais drenos do N das folhas (DEL MOLINO, 1992), uma vez que esses órgãos possuem em sua composição vários produtos formados a partir de bases nitrogenadas, como, por exemplo, a proteína, que é formada em sua maioria de 20 aminoácidos-padrão, e os aminoácidos, que por sua vez são constituídos por grupos amino primário (-NH₂) e secundário (-NH-) (VOET et al., 2008). Efeito semelhante foi obtido por Lima et al. (2011a) também em *J. curcas*, porém nesse estudo a redução nos teores foliares de N foi verificada entre a fase vegetativa e o florescimento. Os maiores teores de N foram encontrados nos frutos secos devido à demanda desse nutriente para síntese dos ácidos graxos e principalmente proteína.

Em relação ao teor de P (Tabela 3), esperava-se que a redução verificada nas folhas ao longo das fases fenológicas aumentasse os teores desse elemento nos frutos, assim como ocorreu para o N. No entanto, esse efeito não ocorreu, devido à alta demanda e, conseqüentemente, alto consumo do P para a formação e enchimento dos grãos, pois nesse processo é requerida uma grande quantidade de energia em forma de ATP, uma vez que nos grãos ocorre a síntese protéica (MENGEL & KIRKBY, 1987) e,

sobretudo, a formação dos ácidos graxos, principais constituintes dos óleos vegetais (VOET et al., 2008). A redução no teor foliar de P ao longo das fases fenológicas também foi verificada por Lima et al. (2011a), em que as folhas colhidas na fase vegetativa apresentaram maior teor de P em relação às aquelas colhidas na fase de florescimento.

Quanto aos teores de potássio nas folhas e frutos (Tabela 3), a redução encontrada nesses órgãos entre as fases fenológicas é explicada em função de o suprimento deste ocorrer preferencialmente das folhas para os frutos frescos ou maduros e também, possivelmente, para folhas jovens e, ou, tecidos meristemáticos (MENGEL & KIRKBY, 1987). Por outro lado, a redução do teor de K nos frutos com o avanço das fases fenológicas pode estar associada à diminuição da turgescência das células com o amadurecimento e secagem dos frutos, bem como ao aumento na demanda desse elemento nos processos bioquímicos, pois o K atua como cofator ou ativador de muitas enzimas do metabolismo dos carboidratos e proteínas, como, por exemplo, a piruvato-quinase (MENGEL & KIRKBY, 1987; DECHEN & NATCHIGALL, 2007). Nas plantas, o K atua diretamente na produção, qualidade e maturação dos grãos, conteúdo de óleo e proteína, além da produção de açúcar e produção de fibras (DECHEN & NATCHIGALL, 2007).

No caso do teor de cálcio (Tabela 3), como esse elemento é imóvel na planta, a possível explicação para a redução nas folhas na fase dos frutos secos atribui-se ao efeito diluição, ou seja, com o decorrer das fases fenológicas ocorreu provavelmente o aumento da área foliar, diluindo então o teor de Ca nos tecidos foliares. Além disso, diante a imobilidade desse elemento é improvável que este tenha sido redistribuído para os frutos. No caso dos frutos, aqueles colhidos secos apresentaram os maiores teores devido à baixa mobilidade desse elemento nas plantas (MENGEL & KIRKBY, 1979; RAIJ, 1991; MARSCHNER, 1995; TAIZ & ZEIGER, 2004; VITTI et al., 2006; DECHEN & NACHTIGALL, 2007), pois, uma vez o Ca presente nas folhas, sua remobilização para outras partes da planta é quase nula.

Tabela 3 - Teores médios de macronutrientes e micronutrientes nas folhas e nos frutos de populações de *J. curcas* em função das épocas de amostragem

Fases fenológicas	N	P	K	Ca	Mg	S	Zn	Fe	Mn	Cu
Folhas	----- (g kg ⁻¹) -----						----- (mg kg ⁻¹) -----			
Florescimento	45,51 a	3,01 a	23,12 ab	24,00 a	9,45 a	3,66 a	39,78 a	103,94 c	324,12 b	12,02 a
Frutos verdes	36,20 b	2,47 b	24,93 a	25,51 a	9,58 a	3,32 ab	24,45 b	166,24 a	398,02 a	4,44 b
Frutos maduros	32,18 c	2,28 c	24,14 a	24,88 a	8,21 b	2,69 b	21,85 c	135,42 b	271,17 c	3,19 c
Frutos secos	31,20 c	2,23 c	21,54 b	22,37 b	7,38 c	2,67 b	18,98 d	136,01 b	227,94 d	2,28 d
Média	36,27	2,50	23,43	24,19	8,66	3,09	26,27	135,40	305,31	5,48
CVb %	7,43	11,25	22,97	14,74	15,97	58,08	19,17	48,49	27,40	36,35
CVf %	18,00	14,29	6,24	5,63	12,14	15,81	35,34	18,79	23,99	81,82
Frutos	----- (g kg ⁻¹) -----						----- (mg kg ⁻¹) -----			
Frutos verdes	20,51 b	3,48 a	27,41 a	5,57 b	3,84 b	2,64 a	31,14 a	56,31 a	106,63 a	15,64 a
Frutos maduros	22,97 a	2,94 b	20,90 b	5,18 b	3,73 b	1,62 b	24,36 c	52,12 b	90,65 b	3,93 c
Frutos secos	23,30 a	3,07 b	16,99 c	6,21 a	4,21 a	1,16 c	26,69 b	42,45 c	89,21 b	5,06 b
Média	22,26	3,16	21,77	5,65	3,93	1,81	27,40	50,29	95,50	8,21
CVb %	12,62	11,88	35,76	17,42	13,38	52,51	13,17	35,31	27,87	13,75
CVf %	6,85	8,91	24,18	9,20	6,40	41,93	12,57	14,13	10,12	78,68

CVb % Coeficiente de variação da análise de variância.

CVf % Coeficiente de variação fenotípico.

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Em relação ao Mg (Tabela 3), verifica-se a diminuição gradativa nas folhas com o avanço das fases fenológicas, sendo encontrada menor média naquelas coletadas na época dos frutos secos (Tabela 3). Com isso, podemos supor que essa redução tenha sido responsável por aumentar o teor de Mg nos frutos secos, uma vez que o nutriente é bastante móvel no xilema e floema e o transporte e redistribuição na planta é realizado de forma rápida (DECHEN & NACHTIGALL, 2007; MENGEL & KIRKBY, 1987). Lima et al. (2011a) não observaram diferença estatística entre os teores de Mg em folhas colhidas durante o crescimento vegetativo e o florescimento.

Para S (Tabela 3), a redução no teor nas partes analisadas, ao longo das épocas, ocorreu inicialmente nas folhas pelo fato dele, depois de assimilado, ser exportado desse órgão para os frutos em forma de glutatona para a síntese de proteína (VITTI et al., 2006). No entanto, nos frutos, assim como nas folhas, o teor de S também reduziu pela mesma razão, pois os maiores teores de proteína são obtidos nos frutos maduros. Além das proteínas, o S é um elemento importante na produção de aminoácidos (cistina, cisteína e metionina), clorofila (ferrodoxinas), vitaminas (biotina e tiamina) e alguns hormônios (DECHEN & NACHTIGALL, 2007; VITTI et al., 2006). Lima et al. (2011a) também verificaram redução no teor de S com o avanço das fases fenológicas, pois a diminuição ocorreu entre as folhas colhidas na fase vegetativa e o florescimento.

Quanto aos teores de Zn, a diminuição verificada nas folhas com o avanço das fases fenológicas, bem como nos frutos diante os diferentes estádios de maturação (Tabela 3), deveu-se possivelmente ao aumento na demanda desse elemento nos dois órgãos analisados, pois o Zn atua como cofator e componente enzimático; além disso, é essencial na atividade, regulação e estabilização de estruturas proteicas e é elemento crucial na síntese do triptofano, que por sua vez é o precursor do ácido indolil acético (AIA) (DECHEN & NACHTIGALL, 2007; MENGEL & KIRKBY, 1987). Um efeito interessante verificado neste estudo foi a maior concentração de Zn nos frutos em relação à encontrada nas folhas, pois, conforme citado na literatura, os teores de Zn nos frutos são mais baixos (DECHEN &

NACHTIGALL, 2007). Diante do avanço das fases fenológicas, Lima et al. (2011a) verificaram redução nos teores de Zn entre as folhas colhidas durante a fase vegetativa e o período de florescimento.

Quanto às concentrações foliares de Fe e Mn, foram observados efeitos semelhantes, ou seja, os teores iniciaram baixo, conforme se observa nas folhas coletadas no florescimento, aumentaram na fase em que as plantas se encontravam com os frutos verdes e diminuíram nas duas últimas épocas (Tabela 3). Contudo, na literatura não se encontrou nenhuma informação que pudesse explicar esse efeito. Lima et al. (2011a) não verificaram diferença estatística para os teores foliares de Fe e Mn. No caso dos frutos, a redução nos teores de Fe e Mn ocorreu possivelmente devido à diminuição no conteúdo de clorofila à medida que os frutos amadureciam, pois o Fe faz parte da constituição dos citocromos, enzimas responsáveis pela formação da clorofila, e o Mn é essencial na síntese de clorofila (MENGEL & KIRKBY, 1987).

Para os teores foliares de Cu, a redução encontrada ao longo das fases fenológicas deveu-se provavelmente ao aumento na demanda desse mineral diante da exigência da planta pela plastocianina – uma proteína de cobre envolvida na cadeia de transporte de elétrons durante as reações dependentes de luz da fotossíntese (TAIZ & ZEIGER, 2004). Lima et al. (2011a) não verificaram diferença estatística para os teores foliares de Cu nas fases vegetativa e de florescimento. No caso dos teores de Cu nos frutos, as maiores concentrações foram encontradas nos frutos verdes, devido inicialmente à alta demanda desse elemento para síntese de proteína nesses drenos. À medida que os frutos amadureciam, a concentração de Cu diminuía, aumentando em seguida com os frutos secos, pois nesse estágio os grãos possuem geralmente 22% de proteína.

3.1.3. Efeito dos estratos na copa

O estrato foi determinante para os teores de nutrientes encontrados nas folhas e nos frutos (Tabela 4). Para as folhas, as diferenças significativas

foram encontradas para os teores de N, K, Ca, Mg, Zn, Fe, Mn e Cu. Quanto aos frutos, às diferenças significativas foram observadas nos teores de N, Ca e Cu. As folhas coletadas no terço superior apresentaram as maiores concentrações somente de N, apesar de não diferir daquelas coletadas na parte mediana. Nas folhas inferiores, os maiores teores encontrados foram os de K, Ca, Mg, Fe, Mn e Cu. Os teores de Ca, Mg e Zn também tiveram as maiores médias nas folhas medianas, embora que para o Zn os teores não diferiram das folhas amostradas na parte inferior da copa das plantas (Tabela 4). No caso dos frutos, aqueles posicionados na parte superior apresentaram os maiores teores de Ca, enquanto os estratos localizados nas partes média e inferior obtiveram os maiores teores de N e Cu (Tabela 4).

O menor teor de N encontrado nas folhas inferiores ocorreu devido à alta mobilidade desse elemento nas folhas, pois o nitrogênio é redistribuído das folhas mais velhas para as mais novas, que são drenos. Essa capacidade do N de mover-se na planta é acelerada quando esse elemento se encontra em baixas concentrações (MENGEL & KIRKBY, 1987; RAIJ, 1991; MARSCHNER, 1995; TAIZ & ZEIGER, 2004; SOUZA & FERNANDES, 2006; DECHEN & NACHTIGALL, 2007). Nos frutos, os maiores teores de N foram encontrados nos estratos médio e interior devido supostamente ao maior número de frutos se localizarem no terço superior da copa.

Com bases nos resultados dos teores foliares de K (Tabela 4), pôde-se verificar que essas plantas apresentam consumo de luxo para o potássio, pois observa-se que as maiores concentrações foram obtidas nas folhas inferiores (folhas mais velhas), quando normalmente era de se esperar que fosse encontrada nas folhas superiores (folhas mais novas), devido à sua alta mobilidade de redistribuição nas plantas (MENGEL & KIRKBY, 1987; RAIJ, 1991; MARSCHNER, 1995; TAIZ & ZEIGER, 2004; MEURER, 2006; DECHEN & NACHTIGALL, 2007). Embora os teores de K nos frutos não tenham apresentado efeito significativo, aqueles localizados na parte inferior das plantas também apresentaram os maiores teores de K.

As folhas médias e inferiores apresentaram os maiores teores de Ca em seus tecidos (Tabela 4), devido o Ca ser um elemento imóvel nos tecidos

Tabela 4 - Teores médios de macronutrientes e micronutrientes nas folhas e nos frutos de populações de *J. curcas* coletadas em diferentes estratos na planta

Estratos	N	P	K	Ca	Mg	S	Zn	Fe	Mn	Cu
Folhas	----- (g kg ⁻¹) -----						----- (mg kg ⁻¹) -----			
Superior	36,64 a	2,47	22,29 b	21,27 b	7,96 b	3,21	25,73 b	121,41 b	222,14 c	5,22 b
Médio	36,18 a	2,48	23,04 b	25,53 a	9,10 a	3,16	27,13 a	127,76 b	328,01 b	5,11 b
Inferior	35,85 b	2,53	24,97 a	25,76 a	8,91 a	2,88	25,95 a	157,03 a	365,78 a	6,12 a
Média	36,22	2,49	23,43	24,19	8,66	3,08	26,27	135,40	305,31	5,48
CVc %	6,57	9,40	15,81	13,14	11,79	46,47	13,34	39,70	24,74	28,85
CVf %	1,10	1,29	5,90	10,45	7,06	5,77	2,87	14,03	24,39	10,11
Frutos	----- (g kg ⁻¹) -----						----- (mg kg ⁻¹) -----			
Superior	21,60 b	3,11	21,09	6,18 a	4,07	1,78	27,43	51,08	97,11	7,78 b
Médio	22,58 a	3,13	21,77	5,53 b	3,83	1,82	27,34	49,27	94,41	8,26 a
Inferior	22,60 a	3,25	22,45	5,23 b	3,88	1,82	27,42	50,53	94,96	8,59 a
Média	22,26	3,16	21,77	5,65	3,93	1,81	27,40	50,29	95,46	8,02
CVc %	12,24	11,57	21,07	15,70	11,66	42,97	11,38	26,56	24,45	15,89
CVf %	2,57	2,39	3,12	8,60	3,22	1,28	0,18	1,85	1,49	4,96

CVc % Coeficiente de variação da análise de variância.

CVf % Coeficiente de variação fenotípico.

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

foliares, encontrando-se baixas concentrações no simplasma e no floema (MENGEL & KIRKBY, 1987; RAIJ, 1991; MARSCHNER, 1995; TAIZ & ZEIGER, 2004; VITTI et al., 2006; DECHEN & NACHTIGALL, 2007). Ao contrário do que ocorreu nas folhas, nos frutos, a maior concentração de Ca foi obtida naqueles localizados na parte superior da copa. Esse efeito deve ter ocorrido possivelmente pelo fato dos primeiros e da maioria dos frutos se localizarem na parte superior da copa das plantas.

As folhas localizadas nas partes médias e inferiores apresentaram os maiores teores de Mg (Tabela 4); entretanto, era de se esperar que esse efeito ocorresse nas folhas superiores, pois, diferentemente da dinâmica do cálcio nos vasos do floema, o Mg é bastante móvel, encontrando-se assim os maiores teores nas folhas superiores (folhas mais novas) (MENGEL & KIRKBY, 1987; RAIJ, 1991; MARSCHNER, 1995; TAIZ & ZEIGER, 2004; VITTI et al., 2006; DECHEN & NACHTIGALL, 2007). Embora os maiores teores foliares de Mg sejam encontrados geralmente nas partes superiores das plantas, pode-se encontrar também teores elevados dele nas partes inferiores (VITTI et al., 2006).

No que refere-se ao teor foliar de zinco, a maior média encontrada na porção mediana e inferior, deveu-se ao fato desse nutriente possuir mobilidade intermediária, sendo encontrado concentrado em grande parte na raiz e em baixo conteúdo nos frutos (MENGEL & KIRKBY, 1987; RAIJ, 1991; MARSCHNER, 1995; DECHEN & NACHTIGALL, 2007).

Para os outros micronutrientes, Fe, Mn e Cu, as maiores concentrações nos tecidos foliares foram obtidas nas folhas coletadas na parte inferior (Tabela 4), devido à baixa mobilidade desses elementos nos tecidos vegetais (MENGEL & KIRKBY, 1987; RAIJ, 1991; MARSCHNER, 1995; TAIZ & ZEIGER, 2004; DECHEN & NACHTIGALL, 2007). Desses três micronutrientes, nos frutos, somente os teores de Cu apresentaram diferença significativa, sendo aqueles coletados na parte mediana e inferior responsáveis pelas maiores médias. Da mesma forma que ocorre nas folhas, a mobilidades dos micronutrientes também é baixa nos frutos.

3.1.4. Efeito das interações

Para o teor de nutriente nas folhas, somente foi encontrado efeito significativo para interação fase fenológica x estrato, onde, só foi observada resposta para os teores de Zn, Fe e Mn (Figuras 3, 4 e 5, respectivamente). Quanto aos teores de nutrientes nos frutos, o efeito significativo foi encontrado nas seguintes interações: população x fase fenológica; população x estrato; e fase fenológica x estrato. Para a interação população x fase fenológica, o efeito significativo foi encontrado somente para os teores de N (Figura 6). Já para interação população x estrato, o efeito significativo foi encontrado somente para os teores de Zn e Cu, (Figuras 7 e 8, respectivamente). E por fim, para a interação fase fenológica x estrato, o efeito significativo foi encontrado apenas no teor de Cu, conforme verificasse na Figura 9.

Quanto ao teor foliar de zinco na interação fase fenológica x estrato (Figura 3), observou que para o desdobramento das fases fenológicas dentro de cada nível do estrato, o efeito significativo foi encontrado em todos os estratos estudados. Neles, o maior teor de Zn foi obtido nas folhas coletadas apenas no florescimento. Considerando agora o desdobramento dos estratos dentro de cada nível da fase fenológica (Figura 3), observou o efeito significativo para as folhas coletadas nas fases dos frutos verdes, maduros e secos. Para as folhas coletadas na fase dos frutos verdes, o maior teor de Zn foi obtido no estrato superior, apesar de não diferir daquelas coletadas na parte média da copa. Em relação às folhas coletadas na fase dos frutos maduros, o maior teor de Zn foi encontrado no estrato médio, apesar de não diferir daqueles tecidos amostrados na parte inferior. Já para as folhas amostradas na fase dos frutos secos, o maior teor foi encontrado no estrato inferior, apesar de não diferir estatisticamente daqueles localizado na parte mediana da copa.

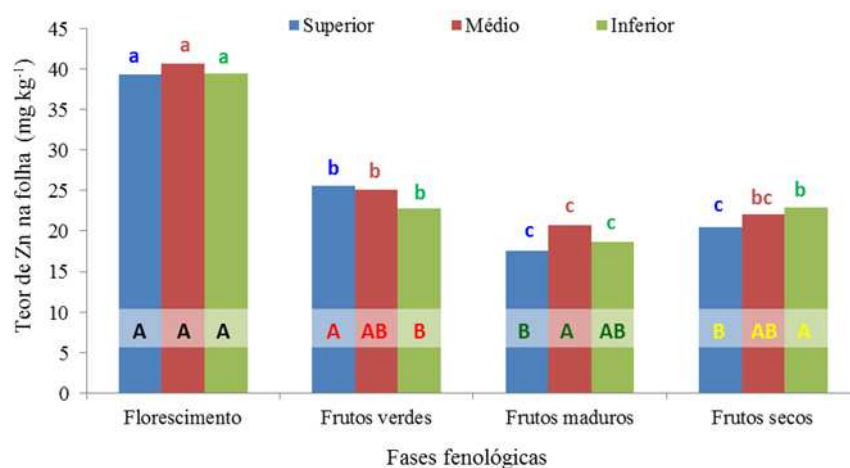


Figura 3 - Efeito da interação fase fenológica x estrato para os teores de Zn nas folhas de *J. curcas*. Letras maiúsculas e minúsculas iguais e de mesma cor não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Para o teor foliar de ferro na interação fase fenológica x estrato (Figura 4), observou que para o desdobramento das fases fenológicas dentro de cada nível do estrato, somente foi encontrado efeito significativo nos estratos superior e inferior. Para o superior, os maiores teores de Fe foram obtidos pelas folhas amostradas nas fases dos frutos verdes, maduros e secos. Quanto ao estrato inferior, o maior teor foi encontrado somente nas folhas coletadas na fase dos frutos verdes.

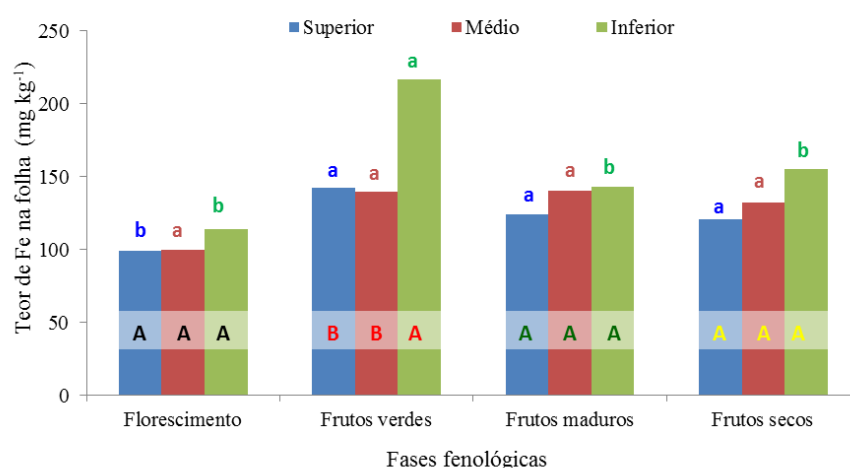


Figura 4 - Efeito da interação fase fenológica x estrato para os teores de Fe nas folhas de *J. curcas*. Letras maiúsculas e minúsculas iguais e de mesma cor não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Já para o desdobramento dos estratos dentro de cada nível da fase fenológica (Figura 4), verificou o efeito significativo somente nas folhas coletadas na fase dos frutos verdes. Nessa época, o maior teor de ferro foi encontrado no estrato inferior.

Outro nutriente que teve o teor foliar influenciado pela interação fase fenológica x estrato foi o manganês (Figura 5). Para o desdobramento das fases fenológicas dentro de cada nível do estrato, o efeito significativo foi encontrado em todos os estratos avaliados. Neles, o maior teor de Mn foi encontrado nas folhas coletadas apenas na fase dos frutos verdes.

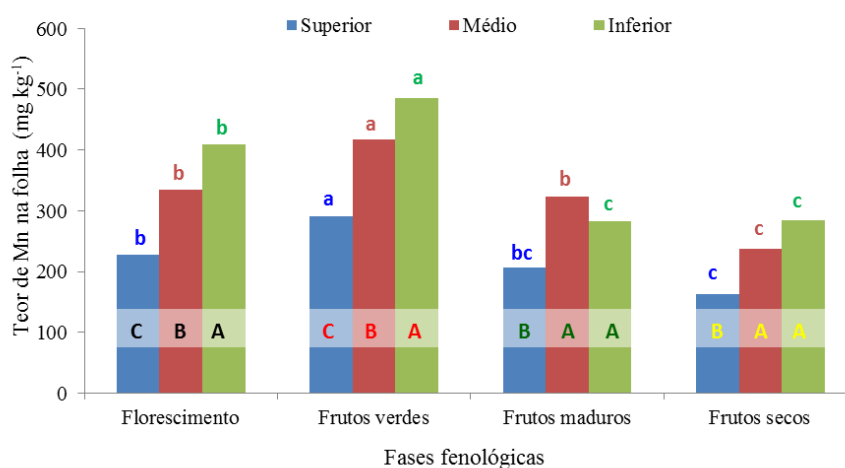


Figura 5 - Efeito da interação fase fenológica x estrato para os teores de Mn nas folhas de *J. curcas*. Letras maiúsculas e minúsculas iguais e de mesma cor não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Quanto ao desdobramento dos estratos dentro de cada nível da fase fenológica (Figura 5), verificou o efeito significativo em todas as fases avaliadas. Para as folhas coletadas na fase do florescimento e dos frutos verdes, o maior teor foi obtido somente no estrato inferior, enquanto que para os tecidos amostrados na fase dos frutos maduro e secos, os maiores teores foram encontrados nos estratos médio e inferior.

Referindo-se à partir de agora aos teores de nutrientes nos frutos, verificamos que para o teor de nitrogênio na interação população x fase

fenológica (Figura 6), somente foi encontrado o efeito significativo para os frutos colhidos verdes, ao desdobrar as populações dentro de cada nível da fase fenológica. Nesse estágio de maturação, a população J1 apresentou o maior teor de N, apesar de não diferir estatisticamente da J2, J3, J5 e B1. Analisando agora o desdobramento das fases fenológicas dentro de cada nível da população (Figura 6), observou o efeito significativo para as populações J2, J4 e J5. Nelas, os maiores teores foram obtidos nos frutos colhidos maduros e secos.

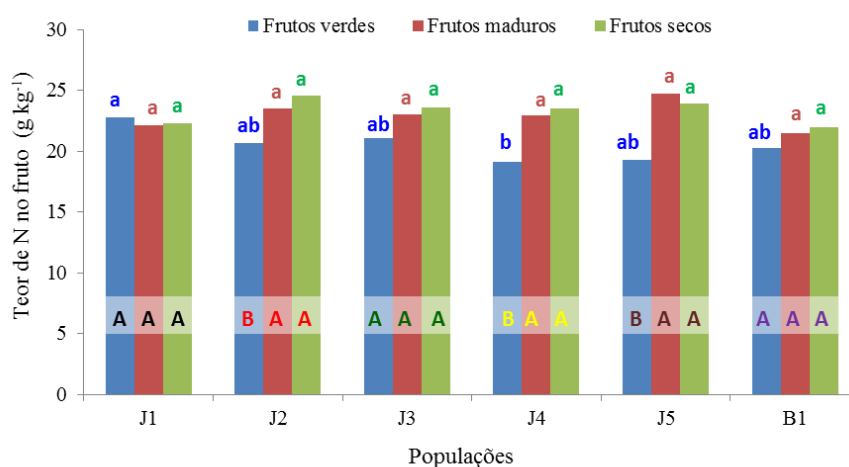


Figura 6 - Efeito da interação população x fase fenológica para os teores de N nos frutos de *J. curcas*. Letras maiúsculas e minúsculas iguais e de mesma cor não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Para o teor de zinco nos frutos, na interação população x estrato (Figura 7), observou que no desdobramento das populações dentro de cada nível do estrato, somente foi encontrada diferença estatística nos estratos médio e inferior. Para o estrato médio, às populações J2 e J5 apresentaram os maiores teores, apesar de não diferir estatisticamente das populações J1, J3, e J4. Agora para o estrato inferior, o maior teor de Zn foi encontrado apenas nos frutos da população J2, apesar de não diferir estatisticamente da J1, J3, J4 e J5. No caso do desdobramento dos estratos dentro de cada nível da população (Figura 7), observou o efeito significativo somente nas populações J5 e B1. Para a J5, o maior teor de Zn foi obtido nos frutos

amostrados no estrato médio, apesar de não diferir daqueles coletados na parte superior. Quanto à população B1, o maior teor de Zn foi obtido somente nos frutos do estrato superior.

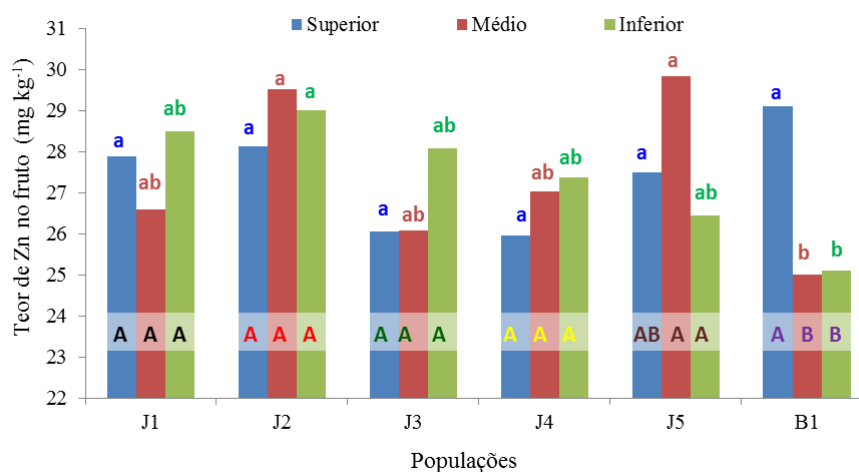


Figura 7 - Efeito da interação população x estrato para os teores de Zn nos frutos de *J. curcas*. Letras maiúsculas e minúsculas iguais e de mesma cor não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Ainda na interação população x estratos, só que para o teor de cobre nos frutos (Figura 8), observou que para o desdobramento das populações dentro de cada nível do estrato, somente foi encontrado efeito significativo para os estratos superior e médio. Para o superior, o maior teor de Cu foi encontrado nos frutos da população B1, apesar de não diferir daqueles obtidos pelas populações J2, J3 e J5. Já para o estrato médio, os maiores teores foram obtidos nos frutos das populações J2 e J5, apesar de não diferir daquele amostrado da J4. Para o desdobramento dos estratos dentro de cada nível da população (Figura 8), observou o efeito significativo para as seguintes populações: J1, J2, J4 e B1. Para a população J1 o maior teor de Cu foi encontrado somente nos frutos do estrato inferior. Agora para a J2, o maior teor foi encontrado nos frutos do estrato médio, apesar de não diferir daqueles coletados na parte inferior. Com relação à população J4, o maior teor de Cu foi obtido nos frutos do estrato inferior, embora não diferiu daqueles amostrados na região mediana. Por fim, para a população B1, o

maior teor foi encontrado apenas nos frutos do estrato superior.

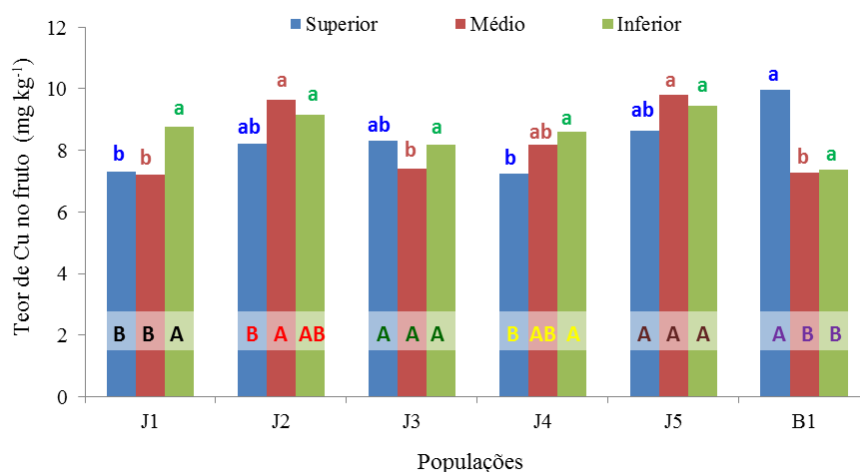


Figura 8 - Efeito da interação população x estrato para os teores de Cu nos frutos de *J. curcas*. Letras maiúsculas e minúsculas iguais e de mesma cor não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Na interação fase fenológica x estrato, onde somente o teor de cobre foi influenciado (Figura 9), verificou no desdobramento das fases fenológicas dentro de cada nível do estrato, que o efeito significativo foi encontrado em todos os estratos avaliados. Neles, o maior teor de cobre foi obtido somente nos frutos verdes.

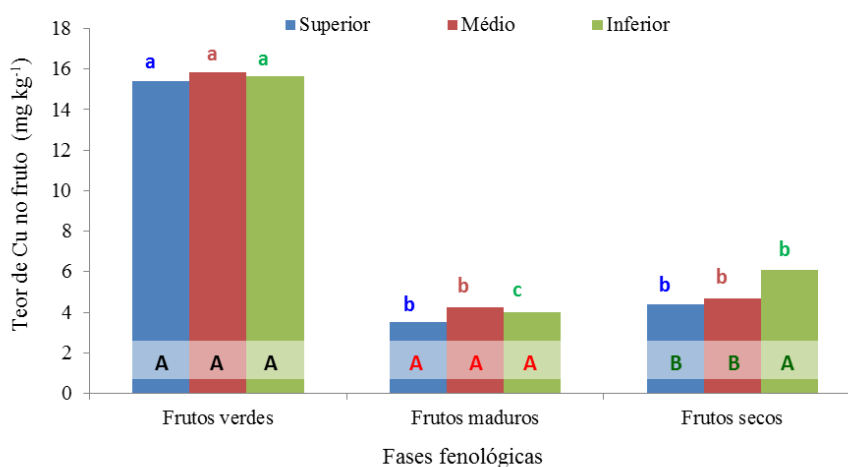


Figura 9 - Efeito da interação fase fenológica x estrato para os teores de Cu nos frutos de *J. curcas*. Letras maiúsculas e minúsculas iguais e de mesma cor não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Em relação ao desdobramento dos estratos dentro de cada nível da fase fenológica (Figura 9), verificou-se que o efeito significativo foi obtido somente nos frutos coletados secos. Nesse estágio de maturação, o maior teor foi encontrado somente nos estratos inferior.

O efeito significativo da interação fase fenológica x estrato para os teores de Zn, Fe e Mn nas folhas, e para os teores de Cu nos frutos, ocorreu devido à influência mútua da demanda desses nutrientes em cada fase, com a mobilidade destes elementos em cada estrato. Para a demanda de nutriente, conforme visto anteriormente no efeito das fases fenológicas nos teores de nutrientes (Item 3.1.2), verifica-se que esse efeito ocorreu devido às características ligadas principalmente ao dreno, como: emissão dos botões florais; enchimento dos frutos e dos grãos; e maturação. Quanto à mobilidade dos nutrientes nas plantas, também visto anteriormente, só que, no efeito dos estratos nos teores de nutrientes (Item 3.1.3), verificou-se que esse efeito foi encontrado em função das diferenças que cada elemento possui em se distribuir e redistribuir nas plantas.

Já para a interação população x fase fenológica, onde somente o teor de N nos frutos foi influenciado, o efeito significativo ocorreu devido à ação mútua da variabilidade genética existente entre cada população, com a demanda de nutrientes nas fases fenológicas avaliadas. Para a variabilidade genética, conforme citado anteriormente no efeito da população no teor de nutrientes no fruto (Item 3.1.1), supõe-se que essa diferença tenha sido atribuída às diferenças nas características morfológicas radiculares, nos parâmetros cinéticos de absorção e nos mecanismos referentes à absorção, translocação e redistribuição de nutrientes. Com relação à demanda de nutriente, conforme visto acima no efeito das fases fenológicas nos teores de nutrientes (Item 3.1.2), esse efeito ocorreu devido às características ligadas ao dreno.

Outra interação que apresentou resposta significativa foi à população x estrato, onde somente os teores de Zn e Cu nos frutos foram influenciados. Esse efeito significativo ocorreu devido à influência recíproca da variabilidade genética entre as populações e a mobilidade dos nutrientes nos

frutos, bem como aos fatores que cada um atua, conforme apresentados nos itens 3.1.1 e 3.1.3, respectivamente.

3.2 Acúmulo de nutrientes nas folhas e frutos

3.2.1 Efeito das populações

As populações J2, J3, J4, J5 e B1 apresentaram-se semelhantes quanto aos conteúdos foliares de N, P, S e Zn, com exceção da população B1 para o acúmulo de Zn (Tabela 5). No caso dos frutos, somente foi observada diferença estatística para o acúmulo de Cu, sendo os clones J2, J3, J4 e J5 responsáveis pelos maiores conteúdos.

No geral para os acúmulos foliares, podemos verificar que, salvo a diferença da população B1 para o acúmulo de Zn, a população J1 apresentou a menor média para todos os elementos quantificando, diferindo estatisticamente somente para os acúmulos de N, P, S e Zn. Isso nos remete ao fato de que a população J1, possui variabilidade genética para o conteúdo de nutrientes comparando-as com as demais populações. Vale ressaltar ainda que a população B1 também apresentou os menores acúmulos para Mg, Fe e Mn, mas somente observou efeito significativo para o Zn. Para o acúmulo de nutrientes nos frutos, somente foi encontrada diferença estatística para o Cu, no entanto, também foram as populações J1 e B1 responsáveis pelas menores médias.

A superioridade das populações J2, J3, J4, J5 e B1 quanto aos conteúdos foliares de N, P, S e Zn indica que esses materiais genéticos são eficientes em utilizar esses elementos em função de convertê-los em produção de biomassa.

O nitrogênio é um dos nutrientes requeridos em maior quantidade pelas plantas e o que mais limita o crescimento, pois é necessário para síntese de clorofila e também por estar envolvido no processo da fotossíntese. O N é um dos componentes das vitaminas, dos ácidos nucléicos, dos sistemas energéticos das plantas e dos aminoácidos, que são

Tabela 5 - Acúmulo de macronutrientes e micronutrientes nas folhas e nos frutos de populações de *J. curcas*

Populações	N	P	K	Ca	Mg	S	Zn	Fe	Mn	Cu
Folhas	----- (mg folha ⁻¹) -----						----- (µg folha ⁻¹) -----			
J1	26,37 b	1,86 b	16,70	17,99	6,71	2,16 b	17,38 b	96,78	195,67	3,15
J2	31,97 a	2,30 a	21,21	22,71	7,35	3,19 a	23,33 a	123,66	264,99	4,75
J3	28,73 a	1,90 a	18,68	19,40	7,70	2,35 a	22,13 a	112,59	270,99	3,94
J4	29,21 a	1,91 a	20,15	18,34	6,36	2,26 a	23,67 a	109,23	274,56	4,70
J5	29,99 a	2,09 a	18,43	20,82	7,39	2,74 a	21,70 a	113,51	252,93	4,60
B1	30,02 a	2,08 a	18,71	18,68	6,64	2,53 a	18,27 b	97,52	188,04	4,24
Média	29,38	2,02	18,98	19,66	7,03	2,54	21,08	108,88	241,20	4,23
CVa %	20,26	31,64	36,54	42,08	33,94	57,60	35,60	45,41	80,58	72,51
CVf %	6,28	8,24	8,16	9,16	7,49	14,97	12,52	9,45	16,17	14,49
Frutos	----- (mg fruto ⁻¹) -----						----- (µg fruto ⁻¹) -----			
J1	43,12	6,10	39,89	10,56	7,73	3,38	52,37	113,89	153,84	12,31 b
J2	46,53	6,70	44,75	11,18	7,95	3,87	56,77	97,22	169,25	15,77 a
J3	46,10	6,12	39,54	10,82	7,88	3,13	52,33	94,25	207,23	13,48 a
J4	43,53	6,33	42,97	10,68	7,62	3,35	51,44	89,66	157,62	13,82 a
J5	47,96	6,30	44,02	11,04	7,90	3,57	56,64	104,24	207,19	17,06 a
B1	43,19	5,79	40,72	12,65	7,65	3,02	51,62	94,80	212,38	12,06 b
Média	45,07	6,22	41,98	11,16	7,79	3,39	53,53	99,01	184,59	14,08
CVa %	22,77	25,85	45,24	30,87	16,10	66,10	24,10	37,03	67,48	34,75
CVf %	4,57	4,86	5,30	6,88	1,80	9,04	4,65	8,80	14,75	13,98

CVa % Coeficiente de variação da análise de variância.

CVf % Coeficiente de variação fenotípico.

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

os constituintes das proteínas (MENGEL & KIRKBY, 1987; RAIJ, 1991; MARSCHNER, 1995; TAIZ & ZEIGER, 2004; DECHEN & NACHTIGALL, 2007).

O P, assim como o N, é um nutriente que influencia diretamente o crescimento das plantas, pois participa de vários processos fisiológicos, metabólicos e estruturais, como: transferência de energia (ATP), síntese de ácidos nucleicos, regulação de atividades enzimáticas, respiração, fotossíntese, componente das membranas celulares (fosfolípidios) (MENGEL & KIRKBY, 1987; RAIJ, 1991; MARSCHNER, 1995; TAIZ & ZEIGER, 2004; ARAÚJO & MACHADO, 2006; DECHEN & NACHTIGALL, 2007) e, também, por ser participante no processo de absorção de nutrientes, como o próprio fósforo e o nitrato (JESCHKE et al., 1997; SOUZA & FERNANDES, 2006; SILVA et al., 2011).

Quanto ao S, esse nutriente também é fundamental para o crescimento vegetal, pois desempenha funções estruturais e metabólicas nas plantas. Nas funções estruturais, os compostos de enxofre são integrantes da estrutura proteica, pois são constituintes dos aminoácidos cisteína e metionina (MENGEL & KIRKBY, 1987; RAIJ, 1991; MARSCHNER, 1995; TAIZ & ZEIGER, 2004). Outra função estrutural do enxofre refere-se à combinação de ésteres de SO_4^{2-} com polissacarídeos como componentes estruturais importantes das membranas celulares. Em relação às funções metabólicas o S é importante na síntese de aminoácidos, proteínas, e outros compostos de baixo peso molecular. Também são constituintes de várias coenzimas e vitaminas essenciais ao metabolismo vegetal, como por exemplo, a tiamina pirofosfato (TAIZ & ZEIGER, 2004; VITTI et al., 2006).

Outro elemento que influencia o crescimento vegetativo, principalmente do caule, é o Zn. Esse nutriente atua como cofator enzimático, é essencial para a síntese proteica, pode ser exigido para a síntese de clorofila e afeta a síntese e a conservação de auxinas (MENGEL & KIRKBY, 1987; TAIZ & ZEIGER, 2004; DECHEN & NACHTIGALL, 2007).

No caso do conteúdo de Cu nos frutos, único elemento influenciado pelas populações, verifica-se que boa parte desse nutriente pode ser acumulada nos órgãos reprodutivos, como os frutos, porém com variações entre espécies (DECHEN & NACHTIGALL, 2007).

Ainda na Tabela 5, pode-se perceber claramente a interação entre N e P, porém não ficando evidente a interação P e Zn. Verifica-se que nas populações que contêm maior quantidade de P nas folhas, como, por exemplo, a J2, são encontrados também os maiores conteúdos de N. Esse efeito deve-se à dependência de energia (ATP) para absorção de nitrogênio, sobretudo na forma de NO_3^- (JESCHKE et al., 1997; SOUZA & FERNANDES, 2006; SILVA et al., 2011).

3.2.2 Efeito das fases fenológicas

As fases fenológicas influenciaram no acúmulo de todos os nutrientes analisados, considerando tanto as folhas quanto os frutos (Tabela 6). As folhas coletadas durante o florescimento acumularam maior quantidade somente de N, P, Zn e Cu. No caso dos acúmulos de K e Ca nas folhas, as maiores médias foram obtidas nas fases de frutos verdes e maduros. No caso do S, o maior acúmulo foi obtido nas folhas coletadas na fase dos frutos verdes, apesar de não diferir estatisticamente daquelas amostradas na época do florescimento. Já os maiores acúmulos de Mg e Mn foram encontrados somente nas folhas coletadas na época dos frutos verdes. Para o Fe, o maior conteúdo foi verificado nas folhas coletadas na fase de frutos verdes, entretanto não diferiu do daquelas amostradas na época na época dos frutos maduros. Em relação ao acúmulo de nutrientes nos frutos, verificou-se que aqueles coletados no estágio verde acumularam maior quantidade de S e Cu. Os frutos coletados maduros apresentaram os maiores conteúdos de N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Fe e Mn. Por fim, os frutos secos acumularam maior quantidade de P, Ca, Mg e Zn (Tabela 6).

Os maiores conteúdos de N foram verificados nas folhas coletadas durante a fase de florescimento (Tabela 6), em razão de nessa época as

Tabela 6 - Acúmulo de macronutrientes e micronutrientes nas folhas e nos frutos de populações de *J. curcas* em função das épocas de amostragem

Fases fenológicas	N	P	K	Ca	Mg	S	Zn	Fe	Mn	Cu
Folhas	----- (mg folha ⁻¹) -----						----- (µg folha ⁻¹) -----			
Florescimento	33,26 a	2,20 a	16,77 b	17,19 b	6,83 b	2,68 ab	29,14 a	74,88 c	227,81 b	8,71 a
Frutos verdes	31,06 b	2,12 b	20,98 a	21,86 a	8,20 a	2,99 a	21,26 b	134,73 a	326,57 a	3,70 b
Frutos maduros	27,65 c	1,91 c	20,61 a	21,23 a	7,02 b	2,30 b	16,28 c	114,86 ab	227,47 b	2,71 c
Frutos secos	25,55 d	1,86 d	17,56 b	18,36 b	6,04 c	2,18 b	17,64 c	111,03 b	182,94 c	1,80 d
Média	29,38	2,02	18,98	19,66	7,02	2,54	21,08	108,88	241,20	4,23b
CVb %	13,28	17,77	26,72	21,95	21,45	60,54	23,68	44,96	29,79	43,87
CVf %										
Frutos	----- (mg fruto ⁻¹) -----						----- (µg fruto ⁻¹) -----			
Frutos verdes	28,22 c	4,79 c	37,97 b	7,62 b	5,21 b	3,63 a	43,21 b	78,30 b	144,74 c	21,64 a
Frutos maduros	56,39 a	7,20 a	51,15 a	12,58 a	9,08 a	3,98 a	59,52 a	127,26 a	219,17 a	9,56 b
Frutos secos	50,61 b	6,68 a	36,12 b	13,26 a	9,07 a	2,55 b	57,86 a	91,47 b	189,83 b	11,05 b
Média	45,07	6,22	41,75	11,15	7,79	3,39	53,53	99,01	184,58	14,08
CVb %	22,02	21,64	47,70	23,50	20,55	62,75	21,46	43,05	29,14	29,35
CVf %	33,01	20,38	19,63	27,60	28,66	22,01	16,77	25,59	20,31	46,77

CVb % Coeficiente de variação da análise de variância.

CVf % Coeficiente de variação fenotípico.

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

plantas não possuem os frutos como dreno. Consequentemente, à medida que iniciava a produção dos frutos e o enchimento dos grãos, o N era remobilizado das folhas para os frutos (TA & WEILAND, 1992; HIREL et al., 2007). Esse efeito foi obtido em função dos frutos serem os principais drenos do N das folhas (DEL MOLINO, 1992). Observando o acúmulo de N nos frutos, verificou-se que o baixo conteúdo desse nutriente nos frutos verdes, aumentando posteriormente, tendo seu pico nos frutos maduros e reduzindo nos frutos secos (Tabela 6), deveu-se ao aumento do seu consumo para formação de proteína e aminoácidos, principais constituintes dos grãos (SOUZA & FERNANDES, 2006).

Assim como ocorreu para acúmulo foliar de N, o conteúdo de P nas folhas reduziu gradativamente com o avanço das fases fenológicas, devido ao aumento do gasto energético da planta (Tabela 6). Enquanto isso, nos frutos, observou-se aumento no acúmulo de P devido ao aumento na demanda desse nutriente para o crescimento do fruto e produção de óleo. Os efeitos verificados nos dois órgãos são atribuídos a função do P no fornecimento de energia em forma de ATP, para os processos metabólicos dos vegetais (MENGEL & KIRKBY, 1987; RAIJ, 1991; MARSCHNER, 1995; TAIZ & ZEIGER, 2004; ARAÚJO & MACHADO, 2006; DECHEN & NACHTIGALL, 2007).

Os maiores conteúdos de K foram encontrados nas folhas coletadas na segunda e terceira épocas e nos frutos amostrados no estágio maduro, havendo, portanto, acúmulo máximo na metade do ciclo fenológico. Nas plantas, o K atua em diversos processos fisiológicos, como: ativador enzimático; fotossíntese (favorece o alto estado energético); mantém o turgor das células; é regulador osmótico das células vegetais; regula a abertura e fechamento estomático; regula a translocação de nutrientes nas plantas; beneficia o transporte de carboidratos; incrementa a síntese de proteínas; e participa na síntese de amido nas folhas (MENGEL & KIRKBY, 1987; MARSCHNER, 1995; TAIZ & ZEIGER, 2004; MEURER, 2006; DECHEN & NACHTIGALL, 2007). O K também promove a absorção de água e aumenta a absorção de N (MEURER, 2006).

Quanto ao conteúdo de Ca, não houve respostas que explicassem a dinâmica dele nas folhas, pois, apesar de esse elemento apresentar baixa mobilidade na planta (MENGEL & KIRKBY, 1987; RAIJ, 1991; MARSCHNER, 1995; TAIZ & ZEIGER, 2004; VITTI et al., 2006; DECHEN & NACHTIGALL, 2007) verificou-se os maiores conteúdos na segunda e terceira épocas e, por fim, a menor na última fase (Tabela 6). Em relação aos frutos, por serem drenos prioritários e o Ca ser imóvel na planta, a redistribuição de Ca para outras partes seria quase nula; por esses motivos, verificaram-se maiores conteúdos de cálcio nos frutos maduros e secos, conforme se observa na Tabela 6.

Analisando os acúmulos de Mg, verifica-se que existe grande interação entre o conteúdo encontrado na folha e aqueles obtidos pelos frutos (Tabela 6). Esse efeito é observado diante do conteúdo máximo de Mg na folha na segunda época, reduzindo posteriormente nas duas últimas fases; associado a isso, nota-se o incremento no conteúdo desse nutriente nos frutos colhidos maduros e secos. Essa relação no conteúdo de Mg entre a folha e o fruto é atribuída ao fato de ele ser bastante móvel no xilema e floema e de seu transporte e redistribuição na planta serem realizados de forma rápida (MENGEL & KIRKBY, 1987; RAIJ, 1991; MARSCHNER, 1995; TAIZ & ZEIGER, 2001; VITTI et al., 2006; DECHEN & NACHTIGALL, 2007).

Os motivos que explicam as reduções nos acúmulos de S tanto nas folhas quanto nos frutos ao longo das fases fenológicas, são o aumento na demanda desse elemento para produção de aminoácidos e proteína e a degradação da molécula de clorofila decorrente do amadurecimento dos órgãos, pois o enxofre é um elemento responsável pela produção de proteína, aminoácidos e clorofila (MENGEL & KIRKBY, 1987; RAIJ, 1991; MARSCHNER, 1995; TAIZ & ZEIGER, 2004; VITTI et al., 2006; DECHEN & NACHTIGALL, 2007).

A diminuição no acúmulo de Zn nas folhas com o avanço das fases fenológicas (Tabela 6) deve-se possivelmente ao aumento na demanda desse elemento, pois o Zn atua como cofator e componente enzimático; além

disso, é essencial na atividade, regulação e estabilização de estruturas proteicas, sendo elemento crucial na síntese do triptofano, que por sua vez é o precursor do ácido indolil acético (AIA) (DECHEN & NACHTIGALL, 2007; MENGEL & KIRKBY, 1987). No caso dos frutos, supõe-se que o aumento no conteúdo de Zn em função do desenvolvimento dos frutos ocorra devido à remobilização desse elemento das folhas para os frutos (Tabela 6).

Em relação aos conteúdos de Fe e Mn nas folhas e nos frutos, nota-se que esses dois elementos possuem comportamento semelhante. No caso das folhas, os acúmulos iniciam baixo na primeira época, tendo o pico na fase dos frutos verdes, e diminuem nas últimas épocas (Tabela 6). Com relação aos frutos, aqueles colhidos maduros apresentaram os maiores conteúdos de Fe e Mn. Não foi encontrado na literatura nenhum resultado semelhante ou explicação que pudesse esclarecer esse efeito.

Por fim, para os acúmulos de Cu nas folhas e frutos, verifica-se que a redução encontrada ao longo das fases fenológicas foi atribuída supostamente ao aumento na demanda desse mineral diante da exigência da planta pela plastocianina, uma proteína de cobre envolvida na cadeia de transporte de elétrons durante as reações dependentes de luz da fotossíntese (TAIZ & ZEIGER, 2004).

Laviola & Dias (2008), ao determinar os acúmulos de nutrientes nas folhas e nos frutos de *J. curcas* L. em plantas de 1 ano de idade, no município de Viçosa-MG, obteve a seguinte ordem de acúmulo: nas folhas coletadas no florescimento: N > Ca > K > Mg > P > S > Mn > Fe > B > Zn > Cu; e nos frutos colhidos maduros: N > K > Ca > P ≥ Mg > S > Mn > Fe > B > Zn > Cu. Diferindo apenas das idades das plantas, nesse estudo encontramos as seguintes ordens de acúmulo: para as folhas: N > Ca > K > Mg > S > P > Mn > Fe > Zn > Cu; e para os frutos: N > K > Ca > Mg > P > S > Mn > Fe > Zn > Cu. Comparando os dois estudos, observamos a semelhança nas ordens dos acúmulos obtidos, porém, a única diferença que houve foi nas folhas para os acúmulos de P e S.

3.2.3 Efeito dos estratos na copa

O estrato influenciou o conteúdo foliar de todos os nutrientes avaliados, enquanto que nos frutos, somente verificou-se resposta significativa para o conteúdo de N e Ca (Tabela 7). Com exceção do Mn, todos os nutrientes apresentaram os maiores conteúdos nas folhas localizadas no terço superior. Já as folhas medianas apresentaram os maiores conteúdos de Ca, S, Zn e Mn. Em relação aos frutos, os maiores acúmulos de N foram obtidos por aqueles localizados nas partes médias e inferior, ao passo que o maior conteúdo de Ca foi encontrado nos frutos posicionados no terço superior (Tabela 7).

Assim como discutido para os teores de nutrientes, o motivo que proporcionou o maior acúmulo está relacionado com a dinâmica dos nutrientes na planta. Entretanto, há outro fator que também possui grande influência no conteúdo de nutriente: a produção de biomassa. A explicação para obtenção dos maiores conteúdos de N, P, K e Mg nas folhas está relacionada principalmente com a alta mobilidade desses elementos nas plantas. No entanto, para os acúmulos de S, Zn, Fe e Cu, a obtenção dos maiores conteúdos verificada nas folhas superiores e, em alguns casos, nas medianas, ocorreu devido à influência conjunta da média mobilidade e da produção de biomassa. Em se tratando do Ca, o maior conteúdo desse mineral pelas folhas superiores deu-se através do acúmulo de matéria seca, pois ele é imóvel nos tecidos vegetais. Para os frutos, não se encontraram na literatura respostas que explicassem o fato de maior conteúdo de N ter sido observado nos frutos médios e inferiores; portanto, acredita-se que isso ocorreu em razão de a maior produção de frutos concentrar-se no terço superior das plantas. Também não se encontraram na literatura explicações para o fato de o maior conteúdo de Ca ter sido obtido pelos frutos verdes.

Tabela 7 - Acúmulo de macronutrientes e micronutrientes nas folhas e nos frutos de populações de *J. curcas* coletadas em diferentes estratos na planta

Estratos	N	P	K	Ca	Mg	S	Zn	Fe	Mn	Cu
Folhas	----- (mg folha ⁻¹) -----						----- (µg folha ⁻¹) -----			
Superior	35,59 a	2,40 a	21,81 a	20,93 a	7,82 a	3,13 a	24,88 a	119,06 a	219,84 b	4,97 a
Médio	29,88 b	2,05 b	19,17 b	21,35 a	7,59 a	2,62 a	22,25 a	107,14 b	275,55 a	4,08 b
Inferior	22,68 c	1,61 c	15,95 c	16,69 b	5,66 b	1,86 b	16,11 b	100,42 b	228,20 b	3,64 b
Média	29,38	2,02	18,98	19,66	7,02	2,54	21,08	108,87	241,20	4,23
CVc %	15,14	17,94	19,69	20,65	21,07	51,45	19,26	37,28	28,25	37,59
CVf %	22,02	19,60	15,47	13,11	16,89	25,19	21,35	8,67	12,46	16,02
Frutos	----- (mg fruto ⁻¹) -----						----- (µg fruto ⁻¹) -----			
Superior	42,23 b	5,96	39,81	11,87 a	7,84	3,30	52,29	98,35	183,31	12,85
Médio	46,40 a	6,30	42,67	11,23 b	7,76	3,48	54,70	99,04	187,93	14,73
Inferior	46,58 a	6,41	43,43	10,36 c	7,76	3,39	53,60	99,63	182,50	14,67
Média	45,07	6,22	41,97	11,15	7,79	3,39	53,53	99,01	184,58	14,08
CVc %	15,71	17,05	21,74	15,36	14,97	53,62	17,35	27,36	22,19	24,82
CVf %	5,46	3,77	4,55	6,80	0,59	2,65	2,25	0,65	1,59	7,59

CVc % Coeficiente de variação da análise de variância.

CVf % Coeficiente de variação fenotípico.

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

3.2.4 Efeito das interações

Para o conteúdo de nutrientes nas folhas, verificou-se a existência de diferença estatística apenas para as interações: população x fase fenológica, e para fase fenológica x estrato. Para a interação população x fase fenológica, o efeito significativo foi observado apenas para o acúmulo de zinco (Figura 10), enquanto que para a interação fase fenológica x estrato, o efeito significativo foi obtido para todos os nutrientes com exceção do ferro (Figuras de 11 à 19). Quanto aos efeitos do conteúdo de nutrientes nos frutos, somente foi encontrada diferença estatística na interação fase fenológica x estrato, onde a resposta significativa foi obtida para os seguintes nutrientes: nitrogênio, potássio e cobre (Figuras 20, 21 e 22, respectivamente).

Quanto à interação população x fase fenológica, onde somente o conteúdo foliar de zinco foi influenciado (Figura 10), observou-se que para o desdobramento da população dentro de cada nível da fase fenológica, somente foi encontrada diferença estatística para as folhas colhidas nas épocas do florescimento e dos frutos verdes. No florescimento, a população J4 apresentou o maior acúmulo foliar de Zn, apesar de não diferir estatisticamente das populações: J2, J3 e J5. Nas folhas coletadas na fase dos frutos verdes, o maior conteúdo foi obtido pela população J2, porém não diferiram estatisticamente da J3, J4 e J5. Para o desdobramento das fases fenológicas dentro de cada nível da população (Figura 10), verificou-se a ocorrência do efeito significativo em todas as populações avaliadas. Para a J1, J3, J4, J5 e B1, o maior conteúdo de Zn foi encontrado somente nas folhas amostradas no florescimento, enquanto que para a J2, o maior acúmulo foi encontrado nas fases do florescimento e dos frutos verdes.

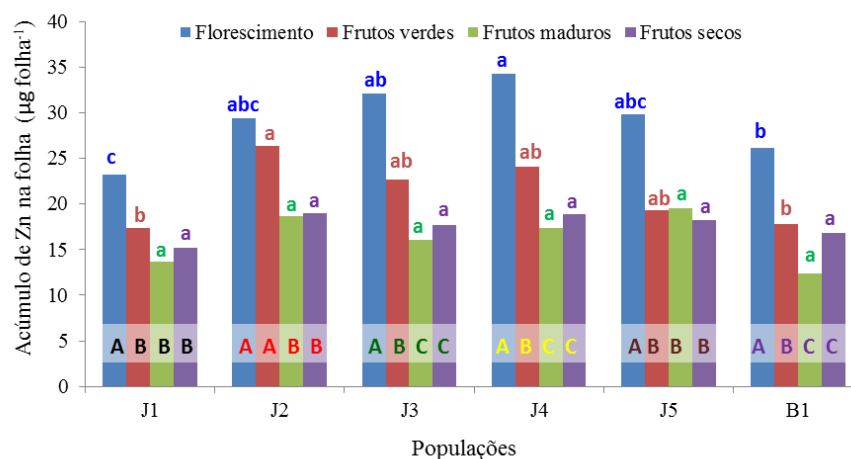


Figura 10 - Efeito da interação população x fase fenológica para o acúmulo de Zn nas folhas de *J. curcas*. Letras maiúsculas e minúsculas iguais e de mesma cor não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Conforme citado anteriormente para a interação fase fenológica x estrato referente aos acúmulos foliares, somente não foi observada diferença significativa para o ferro. Dessa forma, iniciando pelo conteúdo de nitrogênio (Figura 11), verificou-se que para o desdobramento da fase fenológica dentro de cada nível do estrato, o efeito significativo foi encontrado em todos os estratos. Neste contexto, observa-se que tanto no estrato superior, quanto no médio, os maiores acúmulos de N foram obtidos pelas folhas coletadas nas fases do florescimento e dos frutos verdes. Entretanto, para o estrato inferior, o maior conteúdo foi encontrado no florescimento, apesar de não diferir estatisticamente daqueles tecidos amostrados nas fases dos frutos maduros e secos. Em relação ao desdobramento dos estratos dentro de cada nível da fase fenológica (Figura 11), verificou-se que nas quatro fases estudadas, os maiores acúmulos foram obtidos somente no estrato superior.

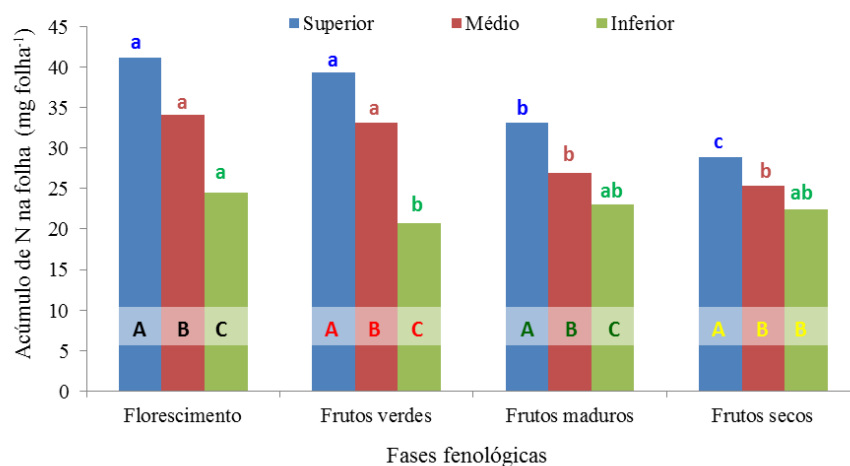


Figura 11 - Efeito da interação fase fenológica e estrato para o acúmulo de N nas folhas de *J. curcas*. Letras maiúsculas e minúsculas iguais e de mesma cor não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Para o fósforo (Figura 12), verificou-se que para o desdobramento das fases fenológicas dentro de cada nível do estrato, somente observou diferença estatística nos estratos superior e médio. Nessas duas localidades, os maiores acúmulos foram encontrados nas folhas coletadas nas fases do florescimento e dos frutos verdes.

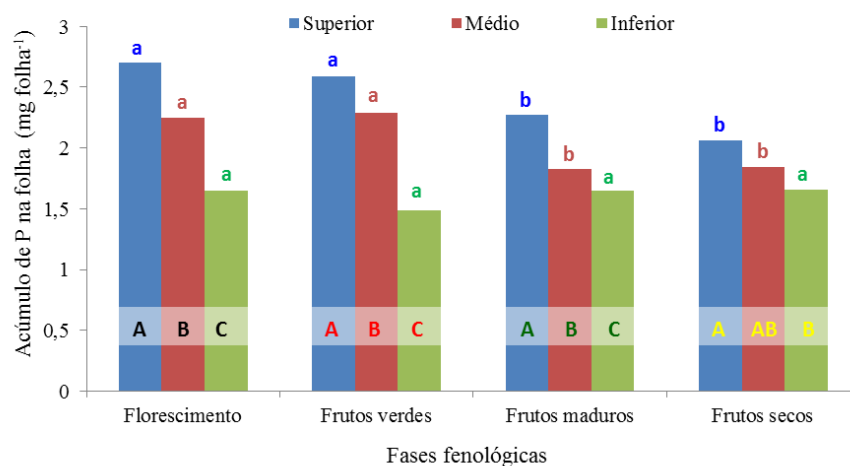


Figura 12 - Efeito da interação fase fenológica e estrato para o acúmulo de P nas folhas de *J. curcas*. Letras maiúsculas e minúsculas iguais e de mesma cor não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Quanto ao desdobramento dos estratos dentro de cada nível da fase fenológica (Figura 12), observou-se a existência do efeito significativo para todas as fases analisadas. Para as folhas coletadas na fase do florescimento, dos frutos verdes e dos maduros, os maiores acúmulos de N foram encontrados somente no estrato superior, enquanto para aquelas amostradas na fase dos frutos secos, o maior conteúdo também foi encontrado no estrato superior, embora não diferiu daquelas coletadas no terço médio.

Em relação ao conteúdo de potássio (Figura 13), observou-se que para o desdobramento das fases fenológicas dentro de cada nível estrato, a diferença estatística foi encontrada em todos os estratos avaliados. No estrato superior, os maiores conteúdos de K foram encontrados nas folhas amostradas nas fases dos frutos verdes e maduros. Já para o estrato médio, o maior conteúdo foi obtido nas folhas coletadas na fase dos frutos verdes, apesar de não diferir estatisticamente daquelas amostradas na fase dos frutos maduros. No caso do estrato inferior, o maior conteúdo foi obtido nas folhas coletadas na fase dos frutos maduros, apesar de não diferir estatisticamente daquelas coletadas nas fases dos frutos verdes e secos.

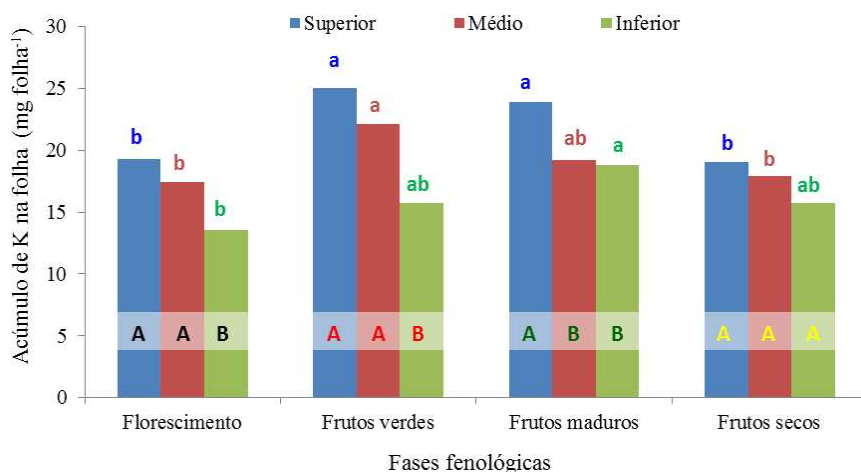


Figura 13 - Efeito da interação fase fenológica e estrato para o acúmulo de K nas folhas de *J. curcas*. Letras maiúsculas e minúsculas iguais e de mesma cor não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Para o desdobramento dos estratos dentro de cada nível fase fenológica (Figura 13), somente não verificou o efeito significativo para as folhas coletada na fase dos frutos secos. Para as folhas coletadas nas fases do florescimento e dos frutos verdes, os maiores conteúdos de K foram encontrados nos estratos superior e médio, enquanto que, os tecidos amostrados na fase dos frutos maduros, o maior acúmulo foi encontrado somente nas folhas do estrato superior.

Em relação ao conteúdo de cálcio (Figura 14), observou-se que para o desdobramento das fases fenológicas dentro de cada nível do estrato, o efeito significativo foi encontrado em todos os estratos. Tanto as folhas do estrato superior, quanto às do médio, tiveram os maiores conteúdos de Ca quando coletadas nas fases dos frutos verdes e dos frutos maduros, enquanto que, às do estrato inferior, apresentaram os maiores conteúdos quando amostradas nas fases dos frutos maduros e secos, apesar de não diferir estatisticamente daquelas coletadas na fase dos frutos verdes. Em relação ao desdobramento dos estratos dentro de cada nível da fase fenológica (Figura 14), verificou-se a semelhança estatística apenas para as folhas amostradas na fase dos frutos secos. Nas demais fases fenológicas, os maiores conteúdos de Ca foram encontrados nos estratos superior e médio.

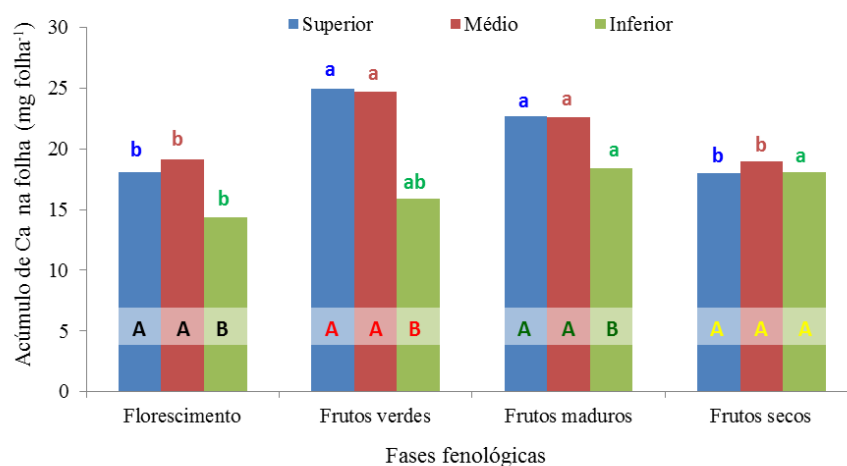


Figura 14 - Efeito da interação fase fenológica e estrato para o acúmulo de Ca nas folhas de *J. curcas*. Letras maiúsculas e minúsculas iguais e de mesma cor não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Quanto o magnésio (Figura 15), observou-se que para o desdobramento das fases fenológicas dentro de cada nível estrato, o efeito significativo foi obtido nos estratos superior e médio. Nessas duas localidades de coleta, o maior conteúdo foi encontrado apenas nas folhas amostradas na fase dos frutos verdes. Referindo-se ao desdobramento dos estratos dentro de cada nível fase fenológica (Figura 15), somente observou-se o efeito semelhante para as folhas coletadas na fase dos frutos secos. No entanto, para as demais fases fenológicas, os maiores conteúdos de Mg foram obtidos nas folhas dos estratos superior e médio.

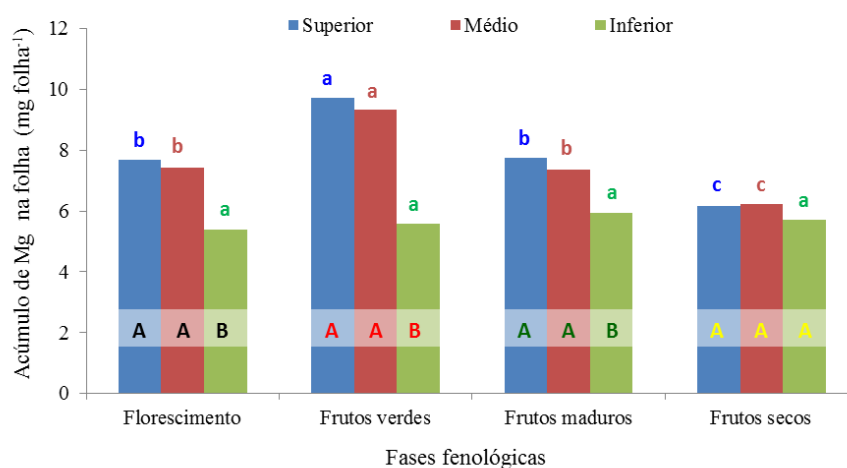


Figura 15 - Efeito da interação fase fenológica e estrato para o acúmulo de Mg nas folhas de *J. curcas*. Letras maiúsculas e minúsculas iguais e de mesma cor não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Para os conteúdos foliares de enxofre (Figura 16), observou-se que para o desdobramento das fases fenológicas dentro de cada nível de estrato, somente verificou o efeito significativo para o estrato superior. Nessa região de coleta, o maior conteúdo de S foi encontrado nas folhas amostradas nas fases dos frutos verdes, apesar de não diferir daquelas coletadas no florescimento. Com relação ao desdobramento dos estratos dentro de cada nível da fase fenológica (Figura 16), somente encontrou-se diferença estatística para as folhas coletadas nas fases do florescimento e dos frutos

verdes. Para aquelas coletadas no florescimento, o maior conteúdo de S foi encontrado no estrato superior, apesar de não diferir daquelas colhidas na região mediana da copa. Já para as folhas amostradas na fase dos frutos verdes, o maior conteúdo foi encontrado apenas no estrato superior.

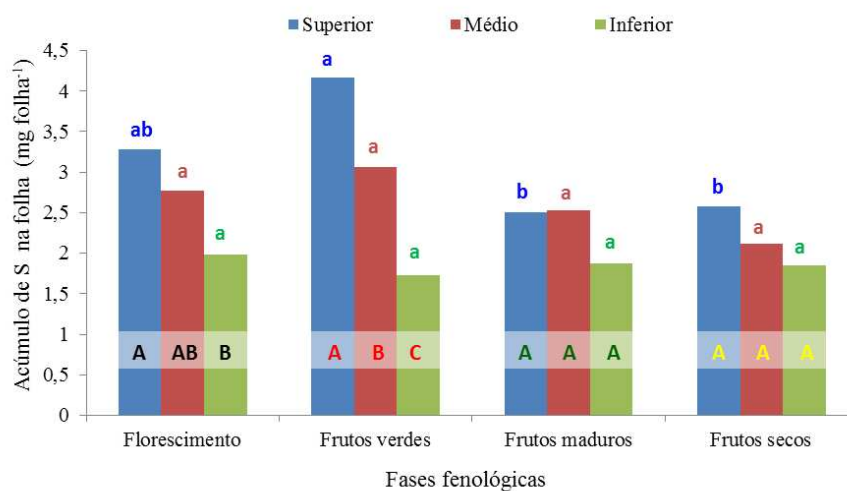


Figura 16 - Efeito da interação fase fenológica e estrato para o acúmulo de S nas folhas de *J. curcas*. Letras maiúsculas e minúsculas iguais e de mesma cor não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Referindo-se agora ao conteúdo de zinco (Figura 17), verificou-se que para o desdobramento das fases fenológicas dentro de cada nível do estrato, o efeito significativo foi encontrado em todos os estratos avaliados. Neles, o maior conteúdo foi obtido somente nas folhas coletadas no florescimento. Já para o desdobramento dos estratos dentro de cada nível da fase fenológica (Figura 17), somente observou-se semelhança nas folhas amostrada na fase dos frutos secos. Tanto para os tecidos coletados na fase do florescimento, quanto para aqueles amostrados na época dos frutos verdes, os maiores conteúdos de Zn foram encontrados somente no estrato superior. Entretanto, as folhas coletadas na fase dos frutos maduros, apresentaram os maiores nos estratos superior e médio.

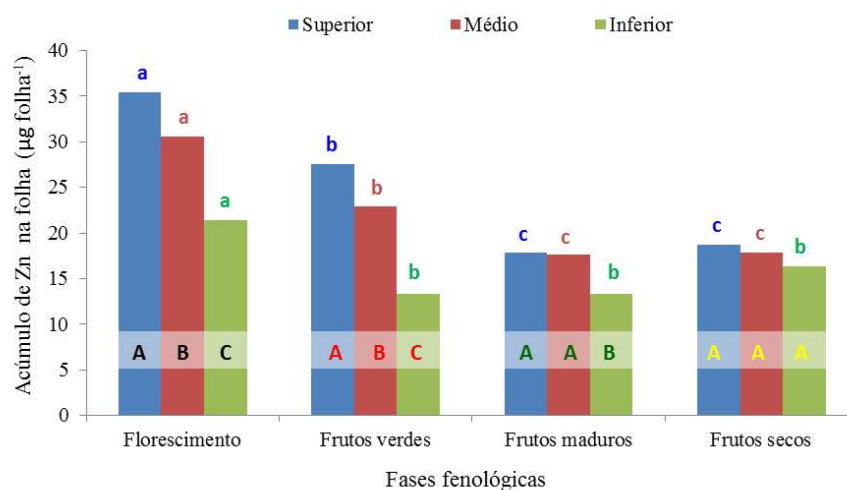


Figura 17 - Efeito da interação fase fenológica e estrato para o acúmulo de Zn nas folhas de *J. curcas*. Letras maiúsculas e minúsculas iguais e de mesma cor não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Com relação ao conteúdo de manganês (Figura 18), observou-se que para o desdobramento das fases fenológicas dentro de cada nível do estrato, o efeito significativo foi encontrado em todos os estratos, onde, o maior conteúdo foi obtido nas folhas coletadas somente na fase dos frutos verdes.

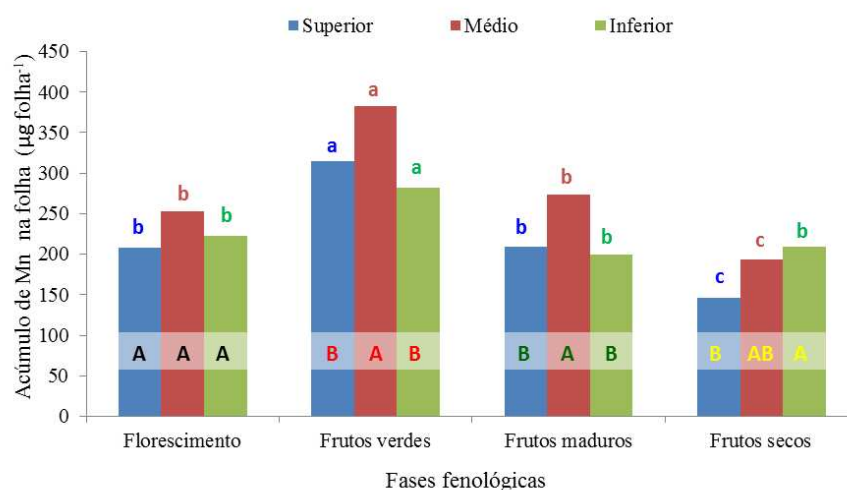


Figura 18 - Efeito da interação fase fenológica e estrato para o acúmulo de Mn nas folhas de *J. curcas*. Letras maiúsculas e minúsculas iguais e de mesma cor não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

No caso dos desdobramentos dos estratos dentro de cada nível da fase fenológica (Figura 18), verificou-se que somente as folhas coletadas no florescimento não diferiram estatisticamente das demais. Tanto nos tecidos amostrados na fase dos frutos verdes, quanto nas do maduro, o maior acúmulo de Mn foi encontrado somente no estrato médio. Já para as folhas amostradas na fase dos frutos secos, o maior conteúdo foi encontrado no estrato inferior, embora não diferiu estatisticamente daquele coletado no estrato médio.

Finalizando, o efeito da interação fase fenológica x estrato nos tecidos foliares, observou-se que para o conteúdo de Cu (Figura 19), no desdobramento fase fenológica dentro de cada estrato, a diferença significativa foi encontrada em todos os estratos avaliados. Neles, o maior conteúdo foi encontrado somente nos tecidos amostrados no florescimento. Quanto ao desdobramento dos estratos dentro de cada nível da fase fenológica (Figura 19), verificou-se a diferença estatística apenas nas fases do florescimento e dos frutos verdes. Nelas, o maior conteúdo de Cu foi encontrado somente nos frutos amostrado no estrato superior.

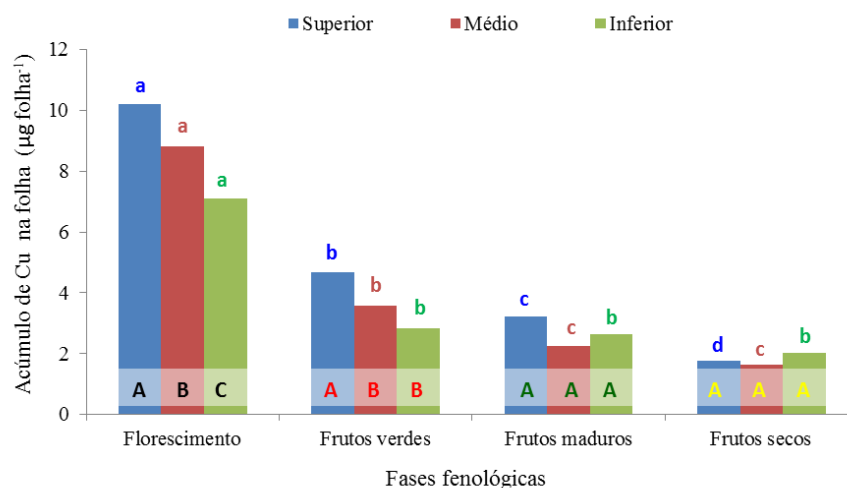


Figura 19 - Efeito da interação fase fenológica e estrato para o acúmulo de Cu nas folhas de *J. curcas*. Letras maiúsculas e minúsculas iguais e de mesma cor não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Para o efeito das interações no acúmulo de nutrientes nos frutos, verificou-se que, a fase fenológica x estrato, foi a única que diferiu estatisticamente, sendo observado significância somente para os conteúdos de N, K e Cu. Para o nitrogênio (Figura 20), observou que no desdobramento das fases fenológicas dentro de cada nível do estrato, o efeito significativo foi encontrando em todos os estratos. No superior, os maiores acúmulos foram obtidos nos frutos maduros e secos, enquanto que nos estratos médio e inferior, o maior conteúdo foi encontrado somente nos frutos maduros.

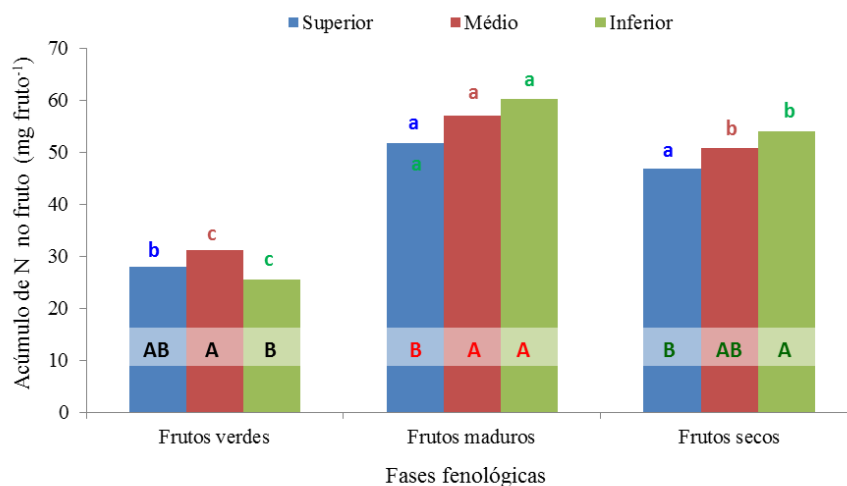


Figura 20 - Efeito da interação fase fenológica e estrato para o acúmulo de N nos frutos de *J. curcas*. Letras maiúsculas e minúsculas iguais e de mesma cor não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Em relação ao desdobramento dos estratos dentro de cada nível da fase fenológica (Figura 20), verificou-se a diferença estatística em todas as fases avaliadas. Nos frutos verdes, o maior conteúdo foi encontrado no estrato médio, apesar de não diferir daqueles amostrados no estrato superior. Já nos frutos maduros, os maiores conteúdos foram obtidos somente nos estratos médio e inferior. Por fim, nos frutos secos, o maior conteúdo foi encontrado no estrato inferior, apesar de não diferir daqueles localizados na parte mediana da copa.

Quanto ao conteúdo de potássio (Figura 21), verificou-se que para o desdobramento das fases fenológicas dentro de cada nível do estrato, a diferença significativa foi encontrada em todos os estratos avaliados. Tanto no superior, quanto no inferior, o maior conteúdo foi obtido apenas nos frutos colhidos maduros. Já no estrato médio, o maior conteúdo também foi encontrado nos frutos maduros, porém, não diferiu estatisticamente daqueles colhidos verdes. Em relação ao desdobramento dos estratos dentro de cada nível da fase fenológica (Figura 21), verificou-se o efeito significativo apenas para os frutos verdes e para os maduros. Para os verdes, o maior conteúdo de K foi encontrado naqueles colhidos no estrato médio, apesar de não diferir daqueles amostrados no estrato inferior. Já para os frutos maduros, o maior conteúdo foi obtido no estrato inferior, embora não diferiu daqueles amostrado no estrato médio.

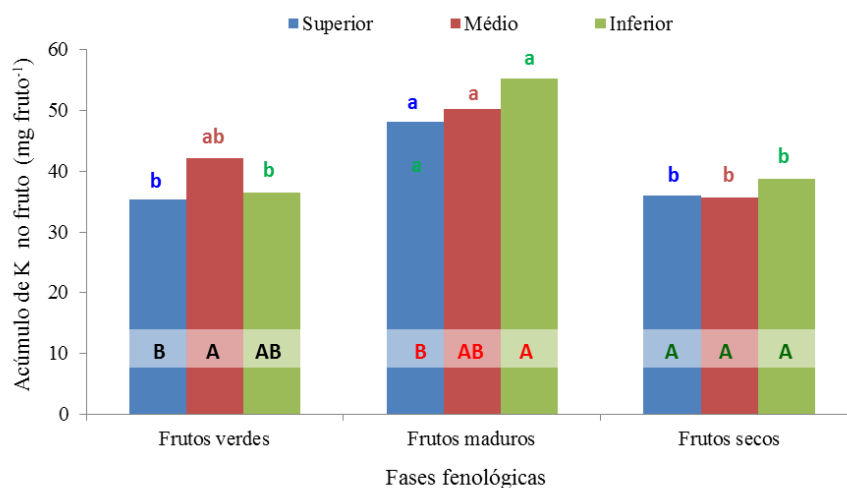


Figura 21 - Efeito da interação fase fenológica e estrato para o acúmulo de K nos frutos de *J. curcas*. Letras maiúsculas e minúsculas iguais e de mesma cor não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Por fim, quanto ao conteúdo cobre (Figura 22), verificou-se que para o desdobramento fase fenológica dentro de cada nível do estrato, o efeito significativo foi encontrado em todos os estratos avaliados. Neles, os maiores conteúdos foram encontrados somente nos frutos colhidos verdes.

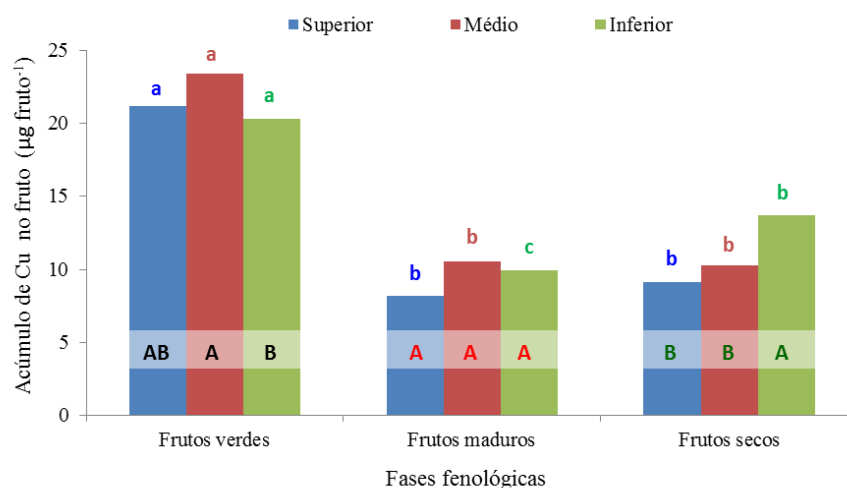


Figura 22 - Efeito da interação fase fenológica e estrato para o acúmulo de Cu nos frutos de *J. curcas*. Letras maiúsculas e minúsculas iguais e de mesma cor não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Agora para o desdobramento dos estratos dentro de cada nível da fase fenológica (Figura 22), verificou-se a diferença estatística apenas nos frutos colhidos verdes e secos. Nos verdes, o maior conteúdo foi encontrado nos frutos do estrato médio, apesar de não diferir estatisticamente daqueles amostrados na porção superior. Já para os frutos secos, o maior conteúdo foi obtido nos frutos coletados somente no estrato inferior.

Assim como verificou-se nas interações para os teores de nutrientes (Item 3.1.4), no acúmulo, a população x fase fenológica e a fase fenológica x estrato, apresentaram efeito significativo. A explicação da ocorrência desses efeitos foi à mesma das que atuaram nos teores, como para a população, a resposta está ligada a variabilidade genética, enquanto que nas fases fenológicas, está associada às diferenças na demanda nutricional em cada estágio, e por fim, para os estratos, está relacionada a mobilidade dos nutrientes nos tecidos das plantas.

3.3 Exportação de nutrientes

As populações de *J. curcas* não diferiram estatisticamente quanto à exportação de macronutrientes da área de cultivo (Tabela 8). Para os

micronutrientes, somente o Cu apresentou efeito significativo (Tabela 9). Observa-se que a população J5 apresentou maior exportação de cobre, apesar de não diferir estatisticamente da J2 e da J4. Não se sabe por que somente a extração de cobre foi influenciada pelas populações, porém supõe-se que esse efeito tenha ocorrido devido ao estado energético da planta. Essa hipótese foi atribuída à comparação entre as extrações de Cu e de P, pois, como a absorção de cobre é realizada via processo ativo, supõe-se que as populações mais ricas em P, ou seja, mais energéticas, podem ter contribuído para a maior extração de Cu pelas raízes (DECHEN & NACHTIGALL, 2007).

Tabela 8 - Exportação de macronutrientes pela produção de 1.000 kg ha⁻¹ de frutos de populações de *J. curcas*

Populações	N	P	K	Ca	Mg	S
----- (kg t ⁻¹) -----						
J1	21,61	2,93	18,14	4,76	3,61	1,57
J2	21,08	2,88	21,50	4,78	3,61	1,85
J3	20,14	2,61	18,53	4,75	3,45	1,39
J4	19,01	2,64	19,50	4,48	3,32	1,61
J5	22,82	2,88	20,35	4,40	3,52	1,61
B1	21,51	2,72	20,48	5,96	3,52	1,19
Média	21,03	2,78	19,75	4,86	3,51	1,54
CV %	9,33	11,70	29,41	14,28	11,48	39,61
CVf %	6,25	4,95	6,44	11,63	3,12	14,60

Médias seguidas de letra diferente na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 9 - Exportação de micronutrientes pela produção de 1.000 kg ha⁻¹ de frutos de populações de *J. curcas*

Populações	Zn	Fe	Mn	Cu
----- (g t ⁻¹) -----				
J1	24,53	63,29	72,40	3,07 b
J2	24,16	44,11	72,27	4,23 ab
J3	21,68	43,96	108,02	3,19 b
J4	20,51	42,18	65,77	3,45 ab
J5	25,23	54,20	88,97	5,37 a
B1	21,76	46,95	100,31	2,82 b
Média	22,98	49,12	84,62	3,69
CV %	11,23	23,77	27,17	23,82
CVf %	8,29	16,57	20,26	25,90

Médias seguidas de letra diferente na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Pode-se verificar a elevada exportação de nutriente pela produção dos frutos, onde uma vez, não adequadamente adubados pode-se levar ao empobrecimento do solo ao longo de sucessivos ciclos produtivos (Tabela 9). Laviola & Dias (2008) também verificaram a grande exportação de nutrientes da área de cultivo, tendo a extração estimada para o quarto ano de cultivo equivalente a 146,2, 28,5 e 103,2 kg ha⁻¹ de N, P e K, respectivamente. Portanto, deve-se considerar a exportação dos nutrientes pela produção dos frutos como principal ferramenta para obtenção do sistema de recomendação de adubação, a fim de repor os nutrientes nas quantidades necessárias para o bom desenvolvimento da cultura e a obtenção de alta produtividade. Pelo fato de a *J. curcas* ser uma espécie caducifólia deve-se considerar também a reciclagem de nutrientes no sistema solo-planta, ocasionada pela queda das folhas e decomposição destas no solo. Outra questão importante é a remobilização dos nutrientes móveis na planta, das folhas para os pontos de crescimento e para os frutos, antes da abscisão foliar (EPSTEIN & BLOOM, 2006). Além disso, ainda deve ser observada a proporção que a planta necessita de cada nutriente para produção dos frutos. A proporção encontrada pela exportação de N: P₂O₅: K₂O pela produção de 1.000 kg ha⁻¹ frutos de *J. curcas* foi de 3,30 : 1 : 3,64 (Tabela 8). Como uma primeira aproximação, sugere-se para as práticas de adubação da cultura, o uso dos formulados cujas proporções de N: P₂O₅: K₂O estejam bem próximas às exportadas pelos frutos. Sendo assim, para a produção de 1.000 kg de frutos no solo deve ter disponível para as plantas 21,03 kg de N; 6,25 kg de P₂O₅; e 23,80 kg de K₂O. No entanto, como a planta não absorve 100% do nutriente aplicado no solo, deve utilizar uma taxa de recuperação de 60% para o N, 30% para o P em aplicação localizada, como covas e sulcos, e 70% para o K.

4. CONCLUSÕES

- Há variabilidade genética entre as populações somente para o teor foliar de Zn, destacando-se a J4 pelo maior teor.
- Existe variabilidade genética para os teores de fósforo, ferro e zinco nos frutos, encontrando-se os maiores teores nas populações J2; J1 e; J2 e J5, respectivamente.
- As fases fenológicas influenciaram nos teores das folhas e frutos de todos os nutrientes.
- A localização das folhas influenciou os teores de N, K, Ca, Mg, Zn, Fe, Mn e Cu, e de N, Ca e Cu nos frutos.
- Há variabilidade genética entre a população J1 e as demais para os acúmulos foliares de N, P, S e Zn.
- Somente o cobre apresentou variabilidade genética para o acúmulo nos frutos, destacando-se as populações J2, J3, J4, J4 e J5 pelos maiores conteúdos.
- Os acúmulos de todos os nutrientes determinados nas folhas e frutos variaram com a fase fenológica.
- Os acúmulos foliares de todos os nutrientes foram influenciados pelos estratos de coleta na copa das plantas.
- Nos frutos, somente os acúmulos de N e Ca foram influenciados pelos estratos de coleta na copa das plantas.
- Somente a exportação de cobre foi influenciada pela população, destacando-se a população J5 pela maior exportação.
- Baseada na exportação de N: P₂O₅: K₂O pela produção de 1.000 kg ha⁻¹ de frutos de *J. curcas*, recomenda-se a aplicação de proporcional de 4,62: 1,70: 4,73.
- A ordem decrescente de exportação de nutrientes foi: N > K > Ca > Mg > P > S > Mn > Fe > Zn > Cu.

5. REFERÊNCIAS

- ABICHEQUER, A. D. **Morfologia e distribuição de raízes de arroz irrigado por inundação e sua relação com a absorção de nutrientes e rendimento de grãos**. 65 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2004.
- AKBAR, E.; YAAKOB, Z.; KAMARUDIN, S. K.; ISMAIL, M.; SALIMON, J. Characteristic and Composition of *Jatropha curcas* Oil Seed from Malaysia and its Potential as Biodiesel Feedstock Feedstock. **European Journal of Scientific Research**, v. 19, n. 3, p. 396-403, 2009.
- ANGHINONI, I.; VOLKART, C. R.; FATTORE, N.; ERNANI, P. R. Morfologia de raízes e cinética da absorção de nutrientes em diversas espécies e genótipos de plantas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 13, n. 3, p. 355-361, 1989.
- ANP (2013) Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/?id=472>> Acesso em: fevereiro de 2013.
- ARAÚJO, A. P.; MACHADO, C. T. T. Fósforo. In: FERNANDES, M. S. (Ed). **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p. 253-280.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS – AOAC. **Official methods of analysis**. 12.ed. Washington, 1975. 1094 p.
- BEHERA, S. K.; SRIVASTAVA, P.; TRIPATHI, R.; SINGH, J. P.; SINGH, N. Evaluation of plant performance of *Jatropha curcas* L. under different agro-practices for optimizing biomass – A case study. **Biomass and Bioenergy**,

v. 34, n. 1, p. 30-41, 2010.

BRAGA, J. M.; DEFELIPO, B. V. Determinação espectrofotométrica de P em extratos de solo e material vegetal. **Revista Ceres**, v. 21, n. 113, p. 73-85, 1974.

CANTARUTTI, R. B.; BARROS, N. F.; MARTINEZ, H. E. P.; NOVAIS, R. F. Avaliação da fertilidade de solo e recomendação de fertilizantes. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, 2007. p. 769-850.

DAUDET, M. M. S.; MERGEAI, G.; BAUDOIN, J-P.; TOUSSAINT, A. Culture in vitro de *Jatropha curcas* L. **Biotechnology, Agronomy, Society and Environment**, v. 15, n. 4, p. 567-574, 2011.

DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. R. Elementos requeridos à nutrição de plantas. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Eds.). **Fertilidade do Solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 92-132.

DEL MOLINO, I. M. M. Relationship between wheat grain protein percentage and grain yield, plant growth, and nutrition at anthesis. **Journal of Plant Nutrition**, v. 15, n. 2, p. 169-178, 1992.

DIAS, L. A. S.; BARROS, W. S. **Biometria experimental**. Viçosa, MG: Suprema, 2009. 408p.

DIAS, L. A. S.; LEME, L. P.; LAVIOLA, B. G.; PALLINI, 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: LAS Dias, 40 p. 2007.

DIVAKARA, B. N.; UPADHYAYA, H. D.; WANI, S. P.; LAXMIPHATHI GOWDA, C. L. Biology and genetic improvement of *Jatropha curcas* L.: A review. **Applied Energy**, v. 87, n. 3, p. 732-742, 2010.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos.** Rio de Janeiro, 1999. 412 p.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Nutrição mineral de plantas: Princípios e perspectivas.** 2.ed. Londrina, Planta, 2006. 401p.

FAGERIA, N. K. Otimização da eficiência nutricional na produção das culturas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 2, n. 1, p. 6-16, 1998.

HELLER, J. Physic nut. *Jatropha curcas* L. Promoting the conservation and use of underutilised and neglected crops. 1. Gatersleben, **Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research and Rome. International Plant Genetic Resources Institute.** 1996. 66 p.

HIREL, B.; GOUIS, J.; NEY, B.; GALLAIS, A. The challenge of improving nitrogen use efficiency in crop plants: towards a more central role for genetic variability and quantitative genetics within integrated approaches. **Journal of Experimental Botany**, v. 58, n. 9, p. 2369-2387, 2007.

JACKSON, M. L. **Soil chemical analysis.** New Jersey, Prentice Hall, 1958. 498 p.

JESCHKE, W. D.; KIRKBY, E. A.; PEUKE, A. D.; PATE, J. S.; HARTUNG,

W. Effects of P deficiency on assimilation and transport of nitrate and phosphate in intact plants of castor bean (*Ricinus communis* L.). **Journal of Experimental Botany**, v. 48, n. 306, p. 75-91, 1997.

JOHNSON, C. M.; ULRICH, A. **Analytical methods for use in plants analyses**. Los Angeles: University of California, v. 766. p. 32-33, 1959.

JONGSCHAAP, R. E. E; CORRE, W. J.; BINDRABAN, P. S.; BRANDENBURG, W. A. Claims and Facts on *Jatropha curcas* L.: Global *Jatropha curcas* evaluation, breeding and propagation programme. **Plant Research International Report**, Wageningen, p. 158. 2007.

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**, v. 32, n. 5, p. 1969-1975, 2008.

LI, B.; McKEAND, S. E.; ALLEN, H. L. Genetic variation in nitrogen use efficiency of loblolly pine seedlings. **Forest Science**, v. 37, n. 2, p. 613-626, 1991.

LIMA, R. L. S.; SEVERINO, L. S.; CAZETTA, J. O.; AZEVEDO, C. A. V.; 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**, v. 15, n. 10, p. 1068-1072, 2011a.

LIMA, R. L. S.; SEVERINO, L. S.; CAZETTA, J. O.; AZEVEDO, C. A. V.; SOFIATTI, V.; ARRIEL, N. H. C. Redistribuição de nutrientes em folhas de pinhão-manso entre estágios fenológicos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 11, p. 1175-1179, 2011b.

LIMA, R. L. S.; SIQUEIRA, D. L.; FERREIRA, G. B.; WEBER, O. B.; CAZETTA, J. O.; LOPES, F. F. M. Variação sazonal de micronutrientes em

folhas de aceroleira (*Malpighiae marginata* DC.). **Ciência e Agrotecnologia**, v. 32, n. 3, p. 869-874, 2008.

LÔBO, I. P.; FERREIRA, S. L. C.; CRUZ, R. S. Biodiesel: parâmetros de qualidade e métodos analíticos. **Química Nova**, v. 32, n. 6, p. 1596-1608, 2009.

MACHADO, C. T. T.; FURLANI, A. M. C. Kinetics of phosphorus uptake and root morphology of local and improved varieties of maize. **Scientia Agricola**, v. 61, n. 1, p. 69-76, 2004.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C. & OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: Princípios e aplicações**. 2.ed. Piracicaba, Potafos, 1997. 319 p.

MATOS, F. S; GAMBOA, I; RIBEIRO, R. P; MAYER, M. L; NEVES, T. G; LEONARDO, B.R.L; SOUZA, A. C. Influência da intensidade luminosa no desenvolvimento de mudas de *Jatropha curcas* L.. **Agrarian** (Dourados. Online), v. 04, p. 265-272, 2011.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2.ed. New York: Academic Press, 1995. 889 p.

MENGEL, K.; KIRKBY, E. A. **Principles of plant nutrition**. Bern: International Potash Institute, 1987. 687 p.

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

OLIVEIRA, F. C. C.; SUAREZ, P. A. Z.; SANTOS, W. L. P. Biodiesel: Possibilidades e Desafios. **Química Nova na Escola**, v.1, n. 28, p. 2-8,

2008.

PINTO, S. H. C.; FURTINI NETO, A. E.; NEVES, J. C. L.; FAQUIN, V.; MORETTI, B. S. Eficiência nutricional de clones de eucalipto na fase de mudas cultivados em solução nutritiva. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 2, p. 523-533, 2011.

PINTO, S. I. C. **Cinética de absorção conjunta de fósforo, potássio, cálcio, e magnésio e eficiência nutricional de macronutrientes de clone de eucalipto**. 102 f. Tese (Doutorado Ciência do Solo) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG: 2009.

PRADO, R. M.; ROZANE, D. E.; VALE, D. W.; CORREIA, M. A. R.; SOUZA, H. A. **Nutrição de plantas diagnose foliar em grandes culturas**. Jaboticabal-SP, FCAV/Unesp, 2008, 301 p.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres Ltda., 1991. 343 p.

SALOMÃO, L. C. C.; SIQUEIRA, D. L.; PEREIRA, M. E. C. Acúmulo de macro e micronutrientes nas folhas e caules do ramo produtivo da lichieira ‘Bengal’ durante o ano. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 30, n. 1, p. 9-14, 2006.

SAS INSTITUTE. **SAS user’sguide**. Version 9.0. Cary: SAS Institute, 2000. 584 p.

SATURNINO, H. M.; PACHECO, D. D.; KAKIDA, J.; TOMINAGA, N.; GONÇALVES, N. P. Cultura do pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.). **Informativo Agropecuário**, v.26, n. 229, p.44-78, 2005.

SILVA, D. F.; TRINDADE, R. C. P.; OLIVEIRA, M. W.; FERRO, J. H. A.;

CALHEIROS, A. S. Matéria seca, concentração e acúmulo de nutrientes em mamoneira, influenciados pelas doses de fósforo. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 6, n. 2, p. 273-279, 2011.

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

SUAREZ, P. A. Z.; MENEGHETTI, S. M. P. 70º aniversário do biodiesel em 2007: evolução histórica e situação atual no Brasil. **Química Nova**, v. 30, n. 8, p. 2068-2071, 2007.

TA, C. T.; WEILAND, R. T. Nitrogen partitioning in maize during ear development. **Crop Science**, v. 32, n. 2, p. 443-451, 1992.

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

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

VOET, D.; VOET, J. G.; PRATT, C. W. **Fundamentos de bioquímica - a vida em nível molecular**. 2.ed. New York, 2008.

CAPÍTULO 3

RELAÇÃO ENTRE OS TEORES DE NUTRIENTES DAS FOLHAS E FRUTOS DE *Jatropha curcas* L. COM A PRODUTIVIDADE DE GRÃOS E TEORES DE ÓLEO E PROTEÍNA

RESUMO

As plantas necessitam de diversos elementos químicos para a realização de inúmeras reações metabólicas e os mesmos são encontrados em concentrações e formulações variadas. Alguns desses elementos influenciam uns aos outros, seja pelo estímulo positivo ou pela inibição. Essa interação nutricional pode interferir na produtividade da cultura. Este estudo avaliou a correlação entre os teores de nutrientes e os componentes de produção de *Jatropha curcas* L.. O experimento foi conduzido no Campo Diogo Alves de Mello, pertencente à Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, Brasil. Utilizaram-se clones de seis populações de *J. curcas*, oriundas dos municípios mineiros de Bomfim e Janaúba, com 4,5 anos de idade, cultivadas no espaçamento 2,5 x 2,5 m. Para determinação dos teores de nutrientes, coletaram-se 64 folhas e 24 frutos de cada população, amostrando-se 16 plantas. As folhas foram coletadas no florescimento e quando as plantas encontravam-se com os frutos verdes, maduros e secos. No caso dos frutos, coletaram-se os verdes, maduros e secos. Logo em seguida, os materiais vegetais foram lavados e postos para secar, pesados e submetidos às análises químicas. Verificou-se a existência de interações entre os teores de nutrientes tanto das folhas quanto dos frutos. Para as folhas, a maioria das correlações significativas foram positivas (0,420 à 0,795), e para os frutos, constatou-se a mesma proporção entre positiva (0,410 à 0,656) e negativa (-0,58 a -0,43). Para os componentes de produção, somente a produtividade de grão foi influenciada pelo teor foliar, sendo o Mg, o responsável pelo efeito negativo (-0,594). No caso dos frutos, apenas a produtividade e o teor de proteína dos grãos foram influenciados pelos teores de nutrientes. Não observou correlação significativa entre os componentes de produção. Conclui-se que os teores de nutrientes dos frutos são mais sensíveis às interações do que os das folhas; os teores foliares de micronutrientes são determinantes nos teores dos outros micronutrientes; e que os teores de nutrientes nos frutos influenciam na produção de grãos e o nos teores de proteínas.

Palavras-chave: Nutrição mineral, interação nutricional, teor de nutrientes nas folhas e frutos.

ABSTRACT

The plants require several elements to perform numerous metabolic reactions and the same are found in varying formulations and concentrations. Some of these elements influence each other, either by a positive stimulus or inhibition. This nutritional interaction may affect the productivity crop. This study evaluated the correlation between the levels of nutrients and yield components of *Jatropha curcas* L.. The trial was conducted in the field of Diogo Alves de Mello, at the Federal University of Viçosa, Minas Gerais, Brazil. Clones of six *J. curcas* populations were used, from the municipalities of Janaúba and Bomfim, with 4.5 years old, grown in the 2.5 x 2.5 m spacing. For determining the nutrient content, collected 64 leaves and 24 fruits of each population, sampling-16 plants. The leaves were collected in bloom and when plants were with the unripe, ripe and dry fruits. In the case of fruits, were collected the green, ripe and dry. After that, the plant materials were washed and laid to dry, weighed and subjected to chemical analyses. It was verified the existence of interactions between the nutrient content of both the leaves and the fruits. For the leaves, the most significant correlations were positive (0.420 to 0.795), and for the fruits, it found the same proportion between positive (0.410 to 0.656) and negative (-0.58 to -0.43). For the yield components, only the grain yield was influenced by the leaf Mg content, responsible for the negative effect (-0.594). In the case of fruit, only productivity and grain protein content were influenced by levels of nutrients. No significant correlation was observed between the yield components. It is concluded that the levels of nutrients of fruits are more sensitive to interactions than the leaf; leaf levels of micronutrients are essential in levels of other micronutrients; and that the levels of nutrients in the fruits influence on grain yield and protein contents.

Keywords: Mineral nutrition, nutritional interactions, nutrient content in leaves and fruit.

1. INTRODUÇÃO

O alto consumo de diesel de petróleo e os impactos ambientais ocasionados pela queima dos combustíveis fósseis têm impulsionado a busca por fontes renováveis de energia. Uma alternativa é o biodiesel, que é obtido a partir de óleos e gorduras de origem animal e vegetal. Dentre as espécies vegetais estudadas objetivando a obtenção de biodiesel, a *Jatropha curcas* L. tem se mostrado promissora. Essa espécie destaca-se das demais devido às altas produtividades de grãos e pelo seu elevado teor de óleo (HELLER et al., 1996; SATURNINO et al., 2005; JONGSCHAAP et al., 2007; LAVIOLA & DIAS, 2008). No entanto, para que a planta atinja o máximo de produtividade em grãos e óleo, deve estar adequadamente nutrida, com a quantidade de nutrientes em concentrações ideais e balanceadas. Somente terão altos rendimentos de grãos e óleo, as plantas cujos teores de nutrientes garantam a formação dos tecidos reprodutivos, bem como a síntese e armazenamento de metabólitos. Os componentes produtivos implicam em grande gasto energético, acarretando elevada demanda por nutrientes. Esse efeito é comprovado pela alta exportação de nutrientes, conforme verificado por Laviola & Dias (2008). Segundo esses autores, para uma população de 1.250 plantas ha⁻¹, com produtividade de 5.000 kg ha⁻¹ de grãos e de 1700 kg ha⁻¹ de óleo, a extração de nutrientes pelos frutos no quarto ano de cultivo foi estimada em 146,2 kg ha⁻¹ de N; 65,4 kg ha⁻¹ de P₂O₅; 124,38 kg ha⁻¹ de K₂O; 135,1 kg ha⁻¹ de CaO; 44,2 kg ha⁻¹ de MgO; e 4,6 kg ha⁻¹ de S.

Para determinar o teor de nutrientes nas plantas, é necessário amostrar o órgão que melhor expresse o estado nutricional da cultura. Sabendo-se que alterações fisiológicas em função do estado nutricional das plantas são mais evidentes nas folhas, utiliza-se a análise química foliar como técnica de diagnose (RAIJ, 1991; MALAVOLTA et al., 1997; PRADO et al., 2008; FONTES, 2011). Uma das utilidades desse método consiste no levantamento nutricional da lavoura, que associado à

produtividade, funciona como ferramenta de análise para a recomendação da adubação (RAIJ, 1991; MALAVOLTA et al., 1997). Entretanto, para a avaliação da remobilização nutricional entre fonte e dreno, a análise química dos frutos pode ser utilizada (VALARINI et al., 2005; MOREIRA & FAGERIA, 2009).

A concentração de nutrientes no tecido vegetal além de influenciar a produtividade de grãos e os teores de óleo, é determinante na síntese proteica. O motivo está relacionado com a demanda de nutrientes para formação das proteínas, principalmente no que refere-se ao nitrogênio, pois, as proteínas são constituídas de conjuntos de aminoácidos (VOET et al. 2008).

Outro fator que pode influenciar os teores de nutrientes nas plantas, e consequentemente a produtividade e os teores de óleo e proteína, são as interações existentes entre os íons. As interações são antagonismo, inibição e sinergismo. Ocorre antagonismo quando um nutriente diminui a absorção do outro, podendo até diminuir a toxidez de um deles. A inibição caracteriza-se pela redução na absorção de um determinado elemento pela presença de outro em excesso, que funciona como inibidor. O sinergismo deve-se ao estímulo positivo na absorção de um elemento na presença de outro (MALAVOLTA et al., 1997).

Objetivou-se, com essa pesquisa, correlacionar os teores de cada nutriente das folhas e frutos de *J. curcas*, e também correlaciona-los com a produtividade de grãos, teores de óleo e proteína.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido de novembro de 2011 a fevereiro de 2012, no Campus Experimental “Diogo Alves de Mello”, pertencente à Universidade Federal de Viçosa, MG (latitude de 20° 45’ 58” S, longitude de 42° 52’ 06” W e altitude média de 676 m). Utilizaram-se clones de seis populações de *J. curcas*, oriundas dos municípios mineiros de Bomfim e Janaúba, com 4,5 anos de idade, cultivadas no espaçamento 2,5 x 2,5 m. O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo (EMBRAPA, 1999). O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é Cwa, quente e úmido, caracterizado por inverno seco e frio com temperaturas mínimas inferiores a 10 °C. A temperatura durante o período experimental variou de 15,5 a 33,4 °C, e a precipitação pluvial acumulada foi de 844,5 mm (Figura 1).

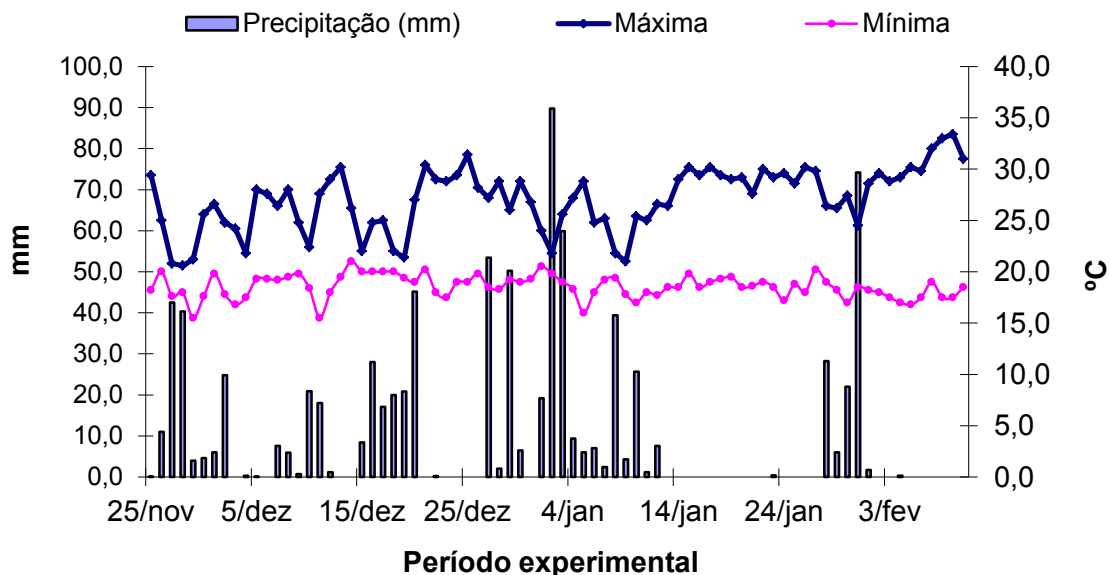


Figura 1 - Dados meteorológicos de precipitação (mm) e temperatura máxima e mínima (°C) durante o período experimental, coletados na Estação Meteorológica da Universidade Federal de Viçosa-MG.

A adubação química foi realizada de acordo com Dias et al. (2007), aplicando-se no plantio 100 g planta⁻¹ do formulado 20-10-15. No primeiro

ano de plantio foram aplicados 150 g planta⁻¹ do formulado 20-00-15 e, nos três anos subsequentes, em forma parcelada, aplicaram-se, respectivamente, 200, 300 e 400 g planta⁻¹ do formulado 20-10-15. O experimento foi conduzido em sistema de sequeiro e livre de competição com plantas daninhas e aos ataques de pragas e doenças. Antes da tomada de dados experimentais coletaram-se amostras de solo nas camadas de 0-20 e 20-40 cm, para análise química (Tabela 1).

Tabela 1 - Análise química do solo da área experimental nas profundidades de 0 a 20 cm e de 20 a 40 cm

Atributos químicos	Profundidade (cm)	
	0-20	20-40
pH (H ₂ O)	4,50	4,56
MO (dag kg ⁻¹)	2,93	2,00
P (mg dm ⁻³)	2,6	0,9
K (mg dm ⁻³)	37	25
Ca ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,99	0,97
Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,37	0,37
Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,59	0,49
H + Al (cmol _c dm ⁻³)	6,9	5,5
SB (cmol _c dm ⁻³)	1,45	1,40
CTC _{efetiva} (cmol _c dm ⁻³)	2,04	1,89
CTC _{total} (cmol _c dm ⁻³)	8,35	6,90
V (%)	17,4	20,3
m (%)	28,9	25,9
Zn (mg dm ⁻³)	1,39	1,14
Fe (mg dm ⁻³)	47,2	42,6
Mn (mg dm ⁻³)	17,0	12,4
Cu (mg dm ⁻³)	1,98	2,14
B (mg dm ⁻³)	0,25	0,27
S (mg dm ⁻³)	22,4	21,7

pH em água. MO: Mat. Org. = C.org x 1,724 – Walkley – Black. P, K, Zn, Fe, Mn, Cu: extrator Mehlich⁻¹. Ca²⁺, Mg²⁺ e Al³⁺: extrator KCl 1 mol L⁻¹. H + Al: extrator acetato de cálcio 0,5 mol L⁻¹. SB: soma de bases (Ca²⁺ + Mg²⁺ + K⁺). CTC_{efetiva} = SB + Al³⁺. CTC_{total} = SB + (H + Al). V: saturação por bases: (SB/CTC_{total}) × 100. m: índice de saturação de Al. B (Água quente); S (NH₄O Ac. 0,5 mol L⁻¹ e HO Ac. 0,25 mol L⁻¹)

Para determinação dos teores foliares de nutrientes coletaram-se 64 folhas de cada população, amostrando-se 16 plantas. Essa coleta foi efetuada quando as plantas encontravam-se no florescimento, com os frutos verdes, maduros e secos. Coletaram-se as folhas completamente expandidos entre a sexta e a oitava folha abaixo da inflorescência ou infrutescência, dependendo da fase avaliada. Somente as folhas livres de deficiência

nutricional aparente e/ou ataque de praga e doenças foram coletadas. Quanto aos teores de nutrientes nos frutos, colheram-se 24 frutos de cada população – utilizaram-se as mesmas plantas dos teores foliares – quando estes encontravam-se verdes, maduros e secos. Coletaram-se os frutos localizados nos primeiros cachos de cada ramo, e da mesma forma que foi efetuado para as folhas, estes também foram coletados sem distúrbios nutricionais visíveis e com ausência de ataque de pragas e/ou doenças. Essas amostras, tão logo coletadas, foram encaminhadas ao Laboratório de Agroenergia/UFV, lavadas com água deionizada e secas em estufa de circulação forçada de ar a 70 °C, até peso constante. Em seguida, as amostras foram pesadas, moídas em moinho tipo Willey e submetidas a análises químicas, as quais foram realizadas no Laboratório de Nutrição Mineral da mesma instituição.

Para determinação dos teores de nitrogênio total, os materiais vegetais foram submetidos à digestão sulfúrica pelo método de Kjeldahl (MALAVOLTA et al., 1997). Para determinação dos teores de fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, zinco, ferro, manganês e cobre, os materiais vegetais secos e moídos foram submetidos à digestão nítrico-perclórica (JONNISON & ULRICH, 1959). O P foi determinado pelo método de redução do fosfomolibdato pela vitamina C, modificado por Braga & Defelipo (1974). O K foi determinado por fotometria de chama. Os teores de Ca, Mg, Zn, Fe, Mn e Cu foram quantificados através de espectrofotometria de absorção atômica (AOAC, 1975). No caso do nutriente S, este foi determinado através de turbidimetria do sulfato (JACKSON, 1958).

Para a mensuração da produtividade de grãos colheram-se todos os frutos maduros e secos das 96 plantas da área útil; depois de debulhados, pesaram-se os grãos, extrapolando o valor obtido para 1 hectare. Nessa época não havia frutos verdes.

Os teores de óleo nos grãos foram obtidos pelo método de ressonância nuclear magnética, utilizando leitura no aparelho Oxford Instruments. Para essa mensuração os grãos foram inicialmente aquecidos à 40 °C em um bloco e essas amostras ainda acondicionadas nos tubos de

ensaio foram pesadas. O tubo possui uma marcação que corresponde ao alcance dos raios magnéticos, e sua função é delimitar a quantidade de grãos utilizados na análise. Em média foram utilizados em cada amostra 10 grãos com 0,5 g cada, totalizando 5 g por amostra. Com o equipamento previamente calibrado, registrou-se a massa da amostra e em seguida essas foram inseridas no leitor, onde percorridos 20 segundos determinou-se o teor de óleo em percentagem (%).

Já os teores de proteína foram obtidos através da leitura no espectrofotômetro de infravermelho próximo (FT-NIR). A metodologia de preparo da amostra é idêntica à do teor de óleo por ressonância, porém a diferença encontra-se na leitura, pois o tubo de ensaio é colocado em cima da lente emissora dos raios infravermelho. O FT-NIR também necessita de calibração previa para a realização das análises.

Com base nos resultados obtidos, calculou-se o coeficiente de correlação pelo método de Pearson e o teste t-Student, conforme descrito por Dias & Barros (2009). Dessa maneira correlacionou-se a produtividade de grãos com os teores de óleo, proteína e macro e micronutrientes nas folhas e frutos; os teores de óleo com os teores de proteína e nutrientes; os teores de proteína com os teores de nutrientes, e por fim, correlacionaram-se os teores de cada um dos elementos entre si.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2, encontram-se os coeficientes de correlação linear de Pearson (r) para os teores de nutrientes nas folhas (diagonal inferior), e nos frutos (diagonal superior). No geral, os teores quantificados nos frutos apresentaram maior número de correlações estatisticamente significativas que aqueles determinados nas folhas. Quanto aos componentes de produção, produtividade de grão e teores de óleo e proteína, valores significativos de correlações ocorreram somente nas associações com teores de nutrientes.

Em relação à análise do tecido foliar, correlações significativas foram verificadas para os seguintes pares de teores de nutrientes: (N e S); (N e Cu); (P e Ca); (K e Ca); (K e Mg); (K e Zn); (K e Cu); (Ca e Mg); (Mg e Cu); (Zn e Fe); (Zn e Mn); (Zn e Cu); (Fe e Mn) e (Mn e Cu) (Tabela 2).

Para os teores de N e S, a correlação foi positiva e moderada (0,554) (Tabela 2). Esse efeito atribui-se à alta relação funcional entre esses íons no metabolismo de aminoácidos e proteínas (VITTI et al., 1988; VITTI et al., 2006; STIPP & CASARIN, 2010). A relação entre o N e o S no metabolismo vegetal é tão eminente que, muitas vezes, é possível definir o estado nutricional da planta com base na relação dos teores desses dois elementos na matéria seca (VITTI et al., 2006). A correlação entre os teores de N e Cu foi positiva (0,460) (Tabela 2). A ocorrência de interação positiva, entre esses dois elementos, ocorre pelo fato do Cu possuir forte afinidade com o átomo de nitrogênio do grupo amino, indicando que compostos nitrogenados solúveis, como os aminoácidos, atuam como carregadores de Cu no xilema e no floema (LONERAGAN, 1981). Por outro lado, o fornecimento exagerado de N pode ocasionar deficiência de Cu (ALMEIDA et al., 2007; MATTOS JÚNIOR et al., 2010). Com exceção das leguminosas, não foram encontrados resultados que explicassem o aumento na concentração de N em decorrência do incremento dos teores de Cu. Entretanto, deve-se considerar que uma fração desse micronutriente parece estar ligada à plastocianina e algumas proteínas (DECHEN &

Tabela 2 – Matriz de correlação linear de Pearson (r) entre as médias de produtividades de grãos (PG), teores de óleo (TO) e proteína (TPR) nos grãos e macro e micronutrientes nas folhas e frutos de *Jatropha curcas* L.

	PG	TO	TPR	TN	TP	TK	TCa	TMg	TS	TZn	TFe	TMn	TCu
PG	1,000	0,117	-0,233	0,410*	0,089	0,065	-0,589**	-0,733**	0,361	0,642**	-0,001	-0,058	0,487
TO	0,117	1,000	-0,354	0,266	-0,094	-0,212	-0,087	-0,120	-0,073	0,097	-0,079	0,053	0,168
TPR	-0,233	-0,354	1,000	-0,566**	-0,247	-0,474*	0,471*	0,409*	-0,502*	-0,543**	-0,184	0,127	-0,339
TN	0,388	-0,221	0,097	1,000	0,568**	0,289	-0,552**	-0,394	0,410*	0,597**	0,153	-0,261	0,588**
TP	0,125	-0,193	-0,132	0,338	1,000	0,253	-0,231	-0,092	0,305	0,490*	0,167	-0,462*	0,519**
TK	0,385	-0,154	-0,347	0,136	0,083	1,000	-0,475*	-0,235	0,393	0,138	-0,091	-0,319	0,216
TCa	-0,296	0,151	0,034	0,052	0,420*	-0,596**	1,000	0,491*	-0,576**	-0,493*	-0,084	0,220	-0,565**
TMg	-0,594**	0,149	0,195	-0,392	-0,082	-0,673**	0,603**	1,000	-0,431*	-0,585**	0,059	0,265	-0,338
TS	-0,013	-0,262	0,063	0,554**	0,317	-0,175	0,287	0,026	1,000	0,507*	0,318	-0,287	0,292
TZn	0,130	-0,020	-0,278	0,320	0,046	0,511*	-0,090	-0,242	0,044	1,000	0,200	-0,256	0,656**
TFe	0,107	0,173	-0,263	0,206	-0,149	0,252	0,043	0,123	0,074	0,662**	1,000	0,001	-0,002
TMn	0,162	0,134	-0,174	0,382	0,015	0,160	0,062	-0,198	0,026	0,795**	0,528**	1,000	-0,048
TCu	0,455	0,029	-0,035	0,460*	0,293	0,506*	-0,243	-0,506*	0,044	0,574**	0,287	0,479*	1,000

Valores de correlação linear de Pearson para os teores de nutrientes nas folhas (diagonal inferior) e para os teores de nutrientes nos frutos (diagonal superior); * Significativo a 0,05 de probabilidade pelo teste t-Student.

PG: Produtividade de grãos; TO: Teor de óleo; TPR: Teor de proteína; TN: Teor de nitrogênio; TP: Teor de fósforo; TK: Teor de potássio; TCa: Teor de cálcio; TMg: Teor de magnésio; TS: Teor de enxofre; TZn: Teor de zinco; TFe: Teor de ferro; TMn: Teor de manganês; TCu: Teor de cobre.

NACHTIGALL, 2006).

A correlação entre os teores foliares de P e Ca também foi positiva (0,420) (Tabela 2). O aumento no teor de P proporciona a elevação do teor de Ca nos cloroplastos e mitocôndrias, onde, nessas organelas estão cerca 60% de Ca nas folhas (VITTI et al. 2006). Já o aumento no teor foliar de P em função do incremento da concentração de Ca, ocorre devido ao aumento da disponibilidade de fósforo pela prática da calagem (MALAVOLTA et al., 1997; RAIJ, 1991; MARSCHNER, 1995).

Lima et al. (2011) avaliando o efeito da adubação fosfatada sobre o crescimento e teor de macronutrientes em mudas de *J. curcas*, verificaram reduções nos teores de Ca com o aumento das concentrações de P. No entanto, Silva et al. (2011) não obtiveram efeito significativo, entre os teores de Ca com o aumento de P, na mamona.

As correlações entre os teores foliares de K e Ca, e K e Mg, foram negativas, -0,596 e -0,673, respectivamente, (Tabela 2). Esse efeito atribui-se a inibição competitiva existente entre os altos teores de K nos tecidos das plantas, com os de Ca e o Mg, e vice-versa (MALAVOLTA et al., 1997; RAIJ, 1991; MARSCHNER, 1995; MEURER, 2006; VITTI et al., 2006). A causa desse desequilíbrio nutricional deve-se a existência de competição pelo mesmo sítio carregador.

Quanto às correlações entre os teores foliares de K e dos micronutrientes, Zn e Cu, verificou-se associação positiva (0,511 e 0,506) (Tabela 2). Tendo em vista que o K é absorvido por muitas espécies em quantidades superiores às necessárias para o metabolismo vegetativo (“consumo de luxo”), nessa condição as plantas podem ter a absorção de cátions influenciada, desde que não estejam competindo pelo mesmo sítio carregador (MEURER, 2006). Dessa forma, supõe-se que os teores foliares de K influenciaram positivamente nos teores de Zn e Cu.

A correlação entre os teores de Ca e Mg foi positiva e alta (0,603) (Tabela 2). Esse resultado difere dos encontrados por outros autores, pois, altos teores de Ca afetam a absorção de Mg, e vice-versa (MARSCHNER, 1995; LOPES, 1998; VITTI et al., 2006). Essa inibição está relacionada com

a similaridade nas propriedades químicas, como valência e mobilidade, proporcionando, dessa forma, competição pelos sítios de adsorção no solo e na absorção pelas raízes (ORLANDO FILHO et al., 1996; SALVADOR et al., 2011). Tendo em vista que altos teores de Ca reduzem a absorção de Mg, e vice-versa, e que nesse estudo o solo da área experimental apresentava baixos níveis destes nutrientes e pH baixo, o efeito de redução não foi verificado (Tabela 1).

Para os teores de Mg e Cu, a correlação foi negativa e moderada (-0,506, Tabela 2). Esse efeito ocorreu devido ao comprometimento na absorção de um em virtude do aumento do outro, proporcionada pela forte competição entre os elementos catiônicos, indicando que o Mg e o Cu são antagonicos (HEENAN & CAMPBELL, 1981; VITTI et al., 2006).

O teor foliar de Zn e Fe também apresentou correlação positiva e alta (0,662) Tabela 2). Elevados teores de Zn nos tecidos das plantas impede a redução do Fe e pode comprometer o seu transporte (DECHEN & NACHTIGALL, 2006). Por outro lado, altas concentrações de Fe ocasionam reduções na mobilidade de Zn nas plantas, e a presença de óxidos e hidróxidos de ferro no solo induz a baixa mobilidade de Zn no perfil do solo (McBRIDE, 1994; DECHEN & NACHTIGALL, 2006; GIROTTO, 2007).

Para o teor de Zn e Mn, a correlação também foi positiva e alta (0,795) (Tabela 2). Plantas com baixas concentrações foliares de Zn apresentam elevados teores de Mn nas folhas devido à fixação do zinco e a liberação de Mn da estrutura da argila (McBRIDE, 1994; DECHEN & NACHTIGALL, 2006; GIROTTO, 2007).

Para teores de zinco e cobre, a correlação foi positiva e moderada (0,574) (Tabela 2). Trabalhos com objetivo de verificar a existência de interação entre esses dois micronutrientes não são comuns, no entanto, existem evidências de que esses elementos sejam antagonicos (BOWEN, 1969; DECHEN & NACHTIGALL, 2006).

A correlação entre os teores foliares de Mn e Fe foi positiva. O coeficiente de correlação para esses dois pares de nutrientes foi 0,528

(Tabela 2). Plantas com elevados teores de Fe possuem baixas concentrações de Mn, devido à inibição competitiva entre esses dois micronutrientes, que ocorre devido a competição pelo mesmo sítio de absorção (MALAVOLTA et al., 1997). A presença de MnO₂ oxida o Fe reduzido, passando à forma férrica não disponível (RAIJ, 1991; DECHEN & NACHTIGALL, 2006).

A correlação foi positiva e moderada para os teores de manganês e cobre, (0,479) (Tabela 2). A redução dos teores foliares de Cu pela elevação da concentração do Mn ocorreu devido ao processo de adsorção, proporcionado pela presença de óxido e hidróxido de manganês no solo (McBRIDE, 1994; GIROTTO, 2007). Quanto à redução do teor de Mn em função do aumento da concentração de Cu, verifica-se que esse efeito não é tão afetado quanto o efeito contrário.

Quanto aos componentes de produção, somente foi encontrada significância estatística para a produção de grãos (Tabela 2), cuja correlação significativa foi encontrada apenas para o teor foliar de Mg, obtendo-se efeito foi negativo (-0,594). Nesse contexto, há duas vertentes: a primeira corresponde a redução dos teores de Mg devido a produção dos frutos; e a segunda, trata-se da redução da produtividade em função do incremento da concentração de Mg nos tecidos dos vegetais. O Mg desempenha importantes funções no metabolismo das plantas, pois, além de fazer parte da estrutura do anel da molécula de clorofila, ainda está relacionado com a ativação de enzimas envolvidas na respiração, fotossíntese e síntese de DNA e RNA (RAIJ, 1991; TAIZ & ZEIGER, 2004; VITTI et al., 2006). Entretanto, o excesso de Mg pode causar reduções nas absorções de K, Ca, Mn e Fe, ocasionando prejuízos a produtividade (RAIJ, 1991; MARSCHNER, 1995; DECHEN & NACHTIGALL, 2006; VITTI et al., 2006).

Apesar de os teores de óleo e proteína não estarem associados linearmente, verificou-se correlação positiva (Tabela 2). Os nutrientes Ca, Mg, Fe, Mn e Cu, apresentaram correlação positiva com o teor de óleo, e os nutrientes N, Ca, Mg e S, apresentaram correlação com o teor de proteína.

Tendo em vista que as folhas são as estruturas vegetativas que melhor representam o status nutricional da planta, a maioria dos trabalhos de nutrição utiliza a análise química do tecido foliar para diagnose. Por isso, foi utilizado, neste trabalho, resultados de análises foliares, apresentados na literatura, afim de explicar os efeitos das interações entre os nutrientes nos frutos.

Para os teores de nutrientes nos frutos, somente verificou-se associação significativa para os seguintes pares de teores de nutrientes: (N e P); (N e Ca); (N e S); (N e Zn); (N e Cu); (P e Zn); (P e Mn); (P e Cu); (K e Ca); (Ca e Mg); (Ca e S); (Ca e Zn); (Ca e Cu); (Mg e S); (Mg e Zn); (S e Zn) e (Zn e Cu), conforme observa-se na diagonal superior da Tabela 2. Como as associações (N e S), (N e Cu), (K e Cu), (Ca e Mg) e (Zn e Cu) já foram discutidas anteriormente nos teores nas folhas, não serão abordadas para os frutos.

No par de nutriente, N e P, a correlação foi positiva e moderada (0,568) (Tabela 2). Esse resultado está de acordo com os encontrados na literatura, onde, o teor de N nos tecidos vegetais aumentou em consequência do incremento da concentração de P (JESCHKE et al., 1997; NAKAGAWA & ROSOLEM, 2005; ARAÚJO & MACHADO, 2006; SILVA et al., 2011). Isso ocorre porque as plantas absorvem o NO_3^- e o NH_4^+ em processo dependente de energia, através da bomba de prótons no plasmalema ($\text{P-H}^+\text{ATPase}$), que proporciona um gradiente de potencial eletroquímico (ARAÚJO & MACHADO, 2006; SOUZA & FERNANDES, 2006). Quanto ao aumento do teor de P no tecido vegetal em função do acréscimo de N, acredita-se que esse efeito esteja ligado a arquitetura radicular. Plantas com o suprimento adequado de nitrogênio possuem sistema radicular desenvolvido, permitindo maior volume de solo explorado e consequentemente aumentando o influxo de P (LYNCH & BROWN, 2001; ARAÚJO & MACHADO, 2006; SILVA et al. 2011).

Com relação aos teores de N e Ca nos frutos, a correlação foi negativa e moderada (-0,552) (Tabela 2). Associação negativa entre estes nutrientes, também foi observada na literatura. Plantas com altos teores de

NH_4^+ apresentam redução na absorção do íon Ca_2^+ (VITTI et al., 2006). O efeito inverso também pode ocorrer, pois, a absorção de NO_3^- é comprometida pelo o aumento do pH, que, por sua vez, é corrigida pelo fornecimento de Ca via calagem (SOUZA & FERNANDES, 2006).

Para os teores de N e Zn a correlação foi positiva (0,597) (Tabela 2). O aumento nos teores de N nos tecidos das plantas pode proporcionar o acréscimo ou o decréscimo de Zn. A elevação do teor de Zn decorrente do acréscimo de N, no tecido vegetal, ocorre devido ao aumento da absorção de Zn em função dos crescentes níveis de N no substrato (FERREIRA et al., 2001). Por outro lado, Floneragan & Webb (1993) afirmam que o crescimento vegetal acelerado em resposta de elevadas doses de N, resulta na diluição do Zn nas plantas, provocando a deficiência e a necessidade de suplementação via adubação. Por outro lado, o aumento nos teores de Zn nos tecidos das plantas pode promover a redução nas concentrações de N, devido à inibição que o Zn possui com o P (MALAVOLTA et al., 1997; DECHEN & NACHTIGALL, 2006), uma vez que, a absorção de N é fortemente afetada pelo fósforo (ARAÚJO & MACHADO, 2006; SOUZA & FERNANDES, 2006; SILVA et al., 2011). Apesar da possibilidade da ocorrência desse efeito, nesse estudo não foi verificada essa resposta, pois, a interação entre o P e o Zn foi positiva (0,490). Araújo & Machado (2006) relatam que resultados controversos foram publicados, podendo existir: decréscimo da absorção de Zn nas plantas com o aumento de P; incremento da absorção de Zn com o acréscimo de P; bem como, a inexistência de influência entre o P na absorção de Zn. Segundo estes autores, a interação mais comum é a diminuição na concentração de Zn na parte aérea com a adição de P, sendo obtida quando ambos os nutrientes encontram-se com os teores limitantes.

Quanto aos teores de P e Mn nos frutos, a correlação foi negativa e baixa (-0,462), (Tabela 2). Esse efeito é obtido na condição de alta concentração de Mn, onde, por sua vez, afeta a absorção de P. No entanto, resultados indicando interação entre esses dois elementos em condições de campo são difíceis de serem comprovadas pelo fato deles interagirem com

os mesmos elementos, como Fe, Ca e Al (MALAVOLTA et al., 1997; DECHEN & NACHTIGALL, 2006). Em contrapartida, resultados mostraram que há efeito significativo quando as plantas são submetidas a altos teores de P em detrimento à concentração de MN. (RODRIGUES et al., 2004; SOARES et al., 2007).

Para a interação entre os teores de P e Cu nos frutos, a correlação foi positiva (0,519), (Tabela 2). Essa resposta difere das encontradas na literatura, pois, plantas com altos teores de Cu reduzem a concentração de P (DECHEN & NACHTIGALL, 2006). No caso de plantas com altos teores de P aumentando as concentrações de Cu, resultados mostraram a inexistência de efeito significativo (RODRIGUES et al., 2004) e a redução na concentração de Cu com o incremento de P na solução (SOARES et al., 2007).

Para o efeito dos teores de Ca e S, e de Mg e S, nos frutos de *J. curcas*, as correlações foram negativas (-0,576 e -0,431, respectivamente) (Tabela 2). Esses resultados diferem dos apresentados por Malavolta (1979), pois, segundo o autor, existe uma correlação positiva entre o S, Ca e Mg, uma vez que, a velocidade de absorção de SO_4^{2-} depende do cátion acompanhante, na seguinte ordem crescente: Ca^{2+} , Mg^{2+} ; NH_4 , K^+ . Stipp & Casarim (2010) relatam que o excesso de calagem bem como altas doses de calcário ocasionam a lixiviação de SO_4^{2-} nos solos.

Em relação às interações entre Ca e Zn, e Ca e Cu, as correlações foram negativas (-0,493 e -0,565, respectivamente) (Tabela 2). Esses resultados estão de acordo com os citados por Malavolta et al. (1997), Raij (1991) e Marschner (1995), indicando a ocorrência de antagonismo. Esse efeito ocorre devido ao excesso de calagem, bem como, a aplicação de altas doses de calcário (RAIJ, 1991; VITTI et al., 2006).

Também foi negativa a correlação entre os teores de Mg e Zn nos frutos (Tabela 2). Esse correlação negativa está de acordo com o relatado por Malavolta et al. (1997), pois, segundo esse autor plantas com elevados teores de Zn tendem a reduzir a absorção de Mg, devido a inibição competitiva.

Quanto aos teores de S e Zn nos frutos, a correlação foi positiva (0,507, Tabela 2). Apesar de nesse estudo ter encontrado efeito significativo, não é comum encontrar interação entre esses dois elementos.

Quanto aos componentes de produção, o teor de nutrientes nos frutos influenciou significativamente a produção de grãos e o teor de proteína (Tabela 2). Para a produção de grãos, a correlação significativa foi encontrada para os teores de N, Ca, Mg e Zn. Desses quatro elementos, as correlações positivas foram encontradas para o N e Zn, cujos coeficientes foram respectivamente: 0,410 e 0,642. Para o Ca e Mg, os coeficientes foram: -0,589 e -0,733, respectivamente.

A existência da correlação positiva entre a produtividade e os teores de N e Zn nos frutos pode ser explicada devido à função essencial desses nutrientes no metabolismo vegetativo, que interferem diretamente na produção de grãos. O nitrogênio é constituinte das proteínas, ácidos nucléicos, de constituintes celulares e diversos hormônios vegetais (RAIJ, 1991; MARSCHNER, 1995; SOUZA & FERNANDES, 2006; TAIZ & ZEIGER, 2006). Já o zinco, atua como co-fator enzimático e é essencial na atividade, regulação e estabilização da estrutura protéica, além de afetar a síntese e a conversação das auxinas (RAIJ, 1991; MARSCHNER, 1995; DECHEN & NACHTIGALL, 2006; TAIZ & ZEIGER, 2006).

A ocorrência da correlação negativa entre a produtividade de grãos e os teores de Ca e Mg nos frutos deu-se, possivelmente, ao alto consumo desses dois nutrientes para formação dos grãos, associado com à baixa reposição via absorção radicular. O Ca atua, principalmente, como componente da parede celular e na absorção iônica (RAIJ, 1991; MARSCHNER, 1995; VITTI et al., 2006; TAIZ & ZEIGER, 2006).

Em relação aos teores de proteína, a correlação significativa foi encontrada para as concentrações de N, K, Ca, Mg, S e Zn (Tabela 2). Dentre esses elementos, somente foi encontrada correlações positivas para os teores de Ca e Mg, cujos coeficientes foram 0,471 e 0,409, respectivamente. Quanto aos teores de N, K, S e Zn, os coeficientes foram respectivamente: -0,566; -0,474; -0,502 e -0,543.

Para os teores de Ca e Mg, a ocorrência desta correlação atribui-se à necessidade desses elementos no incremento do teor de proteína, não atingindo portanto, o nível crítico. Por outro lado, a diminuição das concentrações de N, K, S e Zn é ocasionada pela alta demanda desses elementos para produção de proteína.

Não houve correlação significativa entre os teores de nutrientes avaliados e o teor de óleo (Tabela 2). No entanto, correlações positivas foram encontradas para os teores de N, Zn, Mn e Cu.

Correlacionando-se a produção de grãos e os teores de óleo e proteína, não se verificou associação (Tabela 2). No entanto, pôde-se observar que a produtividade de grãos apresentou correlação positiva com o teor de óleo e negativa com o teor de proteína. A correlação foi negativa entre a associação do teor de óleo e de proteína.

4. CONCLUSÕES

- Os teores de nutrientes dos frutos são mais sensíveis às interações que os teores de nutrientes das folhas.
- Os teores foliares de micronutrientes são determinantes nos teores dos outros micronutrientes.
- Houve correlação negativa entre o teor foliar de magnésio e a produção de grãos .
- Houve correlação positiva entre os teores de nitrogênio e zinco dos frutos e a produção de grãos. .
- Houve correlação negativa entre os teores de cálcio e magnésio dos frutos e a produção de grãos.
- O teor de óleo não é influenciado pelo teor de nutrientes das folhas e dos frutos.
- Houve correlação positiva entre os teores de cálcio e magnésio dos frutos e o teor de proteína.
- Houve correlação negativa entre o teor de proteína e os teores de nitrogênio, potássio, enxofre e zinco dos frutos.

5. REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, E. L. P.; DAMATTO JÚNIOR, E. R.; LEONEL, S. Nutrição mineral e adubação. In: LEONEL, S.; SAMPAIO, A.C. (Ed.). **Maracujá doce: aspectos técnicos e econômicos**. Jaboticabal: UNESP, 2007. p.59-71.
- ARAÚJO, A. P.; MACHADO, C. T. T. Fósforo. In: FERNANDES, M. S. (Ed.) **Nutrição Mineral de Plantas**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, MG, 2006. p.253-280.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS – AOAC. **Official methods of analysis**.12.ed. Washington, 1975. 1094 p.
- BOWEN, J. E Absorption of copper, zinc and maganase by sugarcane tissue. **Plant Physiology**, v. 44, p. 255-261, 1969.
- BRAGA, J. M.; DEFELIPO, B. V. Determinação espectrofotométrica de P em extratos de solo e material vegetal. **Revista Ceres**, v. 21, n. 113, p. 73-85, 1974.
- DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. R. Micronutrientes. In: FERNANDES, M. S. (Ed.). **Nutrição mineral de plantas**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, MG, 2006. p. 327-354.
- DIAS, L. A. S.; BARROS, W. S. **Biometria experimental**. Viçosa, MG: Suprema, 2009. 408p.
- DIAS, L. A. S.; LEME, L. P.; LAVIOLA, B. G.; PALLINI, 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: LAS Dias, 2007. 40p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos.** Rio de Janeiro, 1999. 412 p.

FERREIRA, A. C. B.; ARAÚJO, G. A. A.; PEREIRA, P. R. G.; CARDOSO, A. A. Características agronômicas e nutricionais do milho adubado com nitrogênio, molibdênio e zinco. **Scientia Agricola**, v.58, p.131-138, 2001.

FLONERAGAN, J.; WEBB, M.J. Interactions between zinc and other nutrients affecting the growth of plants. In: ROBSON, A.D. (Ed.) **Zinc in soils and plants.** Dordrecht : Kluwer, 1993. p.119-134.

FONTES, P. C. R. **Nutrição mineral de plantas: avaliação e diagnose.** Viçosa, MG: Arka Editora, 2011. 296 p.

GIROTTO, E. **Cobre e zinco no solo sob uso intensivo de dejetos líquidos de suínos.** 2007. 121 f. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Pós-Graduação em Ciência do Solo, RS, 2007.

HEENAN, D. P.; CAMPBELL, L. C. Influence of potassium and manganese on growth and uptake of magnesium by soybeans (*Glycine max* (L.) Merr. cv. Bragg), **Plant and Soil**, v. 61, n. 3, p. 447-456, 1981.

HELLER, J. **Physic nut. *Jatropha curcas* L.** Promoting the conservation and use of underutilised and neglected crops. 1. Gatersleben: Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research and Rome. International Plant Genetic Resources Institute, 1996. 66 p.

JACKSON, M. L. **Soil chemical analysis**. New Jersey, Prentice Hall, 1958.
498 p.

JESCHKE, W.D.; KIRKBY, E.A.; PEUKE, A.D.; PATE, J.S.; HARTUNG, W. Effects of P deficiency on assimilation and transport of nitrate and phosphate in intact plants of castor bean (*Ricinus communis* L.) **Journal of Experimental Botany**. v.48, n.306, p. 75-91, 1997.

JOHNSON, C. M.; ULRICH, A. **Analytical methods for use in plants analyses**. Los Angeles: University of California, 1959. v. 766. p. 32-33.

JONGSCHAAP, R. E. E; CORRE, W. J.; BINDRABAN, P. S.; BRANDENBURG, W. A. Claims and Facts on *Jatropha curcas* L.: Global *Jatropha curcas* evaluation, breeding and propagation programme. **Plant Research International Report**, Wageningen, p. 158, 2007.

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**, v. 32, n. 5, p. 1969-1975, 2008.

LIMA, R. L. S.; SEVERINO, L. S.; GHEYI, H. R.; SOFIATTI, V.; ARRIEL, N. H. Efeito da adubação fosfatada sobre o crescimento e teor de macronutrientes de mudas de pinhão-manso. **Revista Ciência Agronômica**, v.42, n.4, p.950-956, 2011.

LONERAGAN, J. F. Distribution and movement of copper in plants. In: LONERAGAN, J. F.; ROBSON, A. D.; GRAHAM, R. D. **Copper in soils and plants**. London: Academic Press, 1981.

- LOPES, A. S. (Tradução e Adaptação). **Manual internacional de fertilidade do solo**, 2ª edição revisada e ampliada. Piracicaba: POTAFOS, 1998, 177p.
- LYNCH, J. P.; BROWN, K. M. Topsoil foraging: an architectural adaptation of plants to low phosphorus availability. **Plant and Soil**, The Hague, v.237, n.2, p.225-237, 2001.
- MALAVOLTA, E. **ABC da Adubação**. 4ª edição. São Paulo SP, Editora Agronomia Ceres, 1979. 255 p.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C. & OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: Princípios e aplicações**. 2.ed. Piracicaba, Potafos, 1997. 319 p.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2. ed. New York: Academic Press, 1995. 889 p.
- MATTOS JR., D.; RAMOS, U. M.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, P. R. Nitrogênio e cobre na produção de mudas de citros em diferentes porta-enxertos. **Bragantia**, v.69, n.1, p.135-147, 2010.
- McBRIDE, M.B. **Environmental chemistry of soils**. New York, Oxford University Press, 1994. 406p.
- MEURER, E. J. Potássio. In: FERNANDES, M. S. (Ed.). **Nutrição mineral de plantas**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, MG, 2006. p.281-298.
- MOREIRA, A.; FAGERIA, N.K. Repartição e remobilização de nutrientes na bananeira. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.31, n. 2, p. 574-581, 2009.

- NAKAGAWA, J.; ROSOLEM, C.A. Teores de nutrientes na folha e nos grãos de aveia-preta em função da adubação com fósforo e potássio. **Bragantia**, v. 64, n. 3, p. 411-445, 2005.
- ORLANDO FILHO, J. O.; BITTENCOURT, V. C.; CARMELLO, Q. A. C.; BEAUCLAIR, E. G. F. Relações K, Ca e Mg de solo areia quartzosa e produtividade da cana-de-açúcar. STAB, Piracicaba, v. 14, n. 5, p. 13-17, 1996.
- PRADO, R. M.; ROZANE, D. E.; VALE, D. W.; CORREIA, M. A. R.; SOUZA, H. A. **Nutrição de plantas: diagnose foliar em grandes culturas**. Jaboticabal: Unesp, 2008. 301p.
- RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Agronômica Ceres, Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1991. 343p.
- RODRIGUES, C. R.; FAQUIN, V.; TREVISAN, D.; PINTO, J. E. B. P.; BERTOLUCCI, S. K. V.; RODRIGUES, T. M. Nutrição mineral, crescimento e teor de óleo essencial da menta em solução nutritiva sob diferentes concentrações de fósforo e épocas de coleta. **Horticultura Brasileira**, v.22, n.3, p. 573-578, 2004.
- SALVADOR, J. T.; CARVALHO, T. C.; LUCCHESI, L. A. C. Relações cálcio e magnésio presentes no solo e teores foliares de macronutrientes. **Revista Acadêmica de Ciências Agrárias e Ambientais**, v. 9, n. 1, p. 27-32, 2011.
- SATURNINO, H. M.; PACHECO, D. D.; KAKIDA, J.; TOMINAGA, N.; GONÇALVES, N. P. Cultura do pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.). **Informativo Agropecuário**, v.26, n. 229, p.44-78, 2005.

- SILVA, D. F.; TRINDADE, R. C. P.; OLIVEIRA, M. W.; FERRO, J. H. A.; CALHEIROS, A. S. Matéria seca, concentração e acúmulo de nutrientes em mamoneira, influenciados pelas doses de fósforo. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 6, n. 2, p. 273-279, 2011.
- SOARES, I.; LIMA, S. C.; CRISÓSTOMO, L. A. Crescimento e composição mineral de mudas de gravioleira em resposta a doses de fósforo. **Revista Ciência Agronômica**, v. 38, n. 4, p. 343-349, 2007.
- SOUZA, S. R.; FERNANDES, M. S. Nitrogênio. In: FERNANDES, M. S. (Ed.) **Nutrição Mineral de Plantas** Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, MG, 2006. p. 216-252.
- STIPP SR; CASARIN VA. A importância do enxofre na agricultura brasileira. **Informações agronômicas**, n.129 – Março/2010. 20p.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3.ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719p.
- VALARINI, V.; BATAGLIA, O. C.; FAZUOLI, L. C. Macronutrientes em folhas e frutos de cultivares de café arábica de porte baixo. **Bragantia**, Campinas, v.64, n. 4, p.661-672, 2005.
- VITTI, D. M. S. S.; ABDALA, A. L.; SILVA FILHO, J. C.; AMBROSANO, E. J. Métodos para o diagnóstico da deficiência de fósforo em ruminantes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.23, n.6, p.645-651, 1988.
- VITTI, G.C.; LIMA, E.; CICARONE, F. Cálcio, magnésio e enxofre. In: MANLIO, S. F. (Ed.). **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p. 299-325.

VOET, D.; VOET, J. G.; PRATT, C. W. **Fundamentos de bioquímica - a vida em nível molecular**. 2.ed. New York, 2008.

ANEXOS

Tabela 1A – Resumo da análise de variância para a altura de plantas e diâmetro do caule de *J. curcas* em função da população e da fase fenológica

Fonte de variação	Quadrado médio		
	GL	Altura de plantas	Diâmetro do caule
Bloco	3	0,8848	37,4945
População (P)	5	0,6525**	24,8210**
Erro a	15	0,1161	7,4562
Fases fenológicas (FF)	3	0,0061	3,8543**
P x FF	15	0,0031	0,1596
Erro b	54	0,0042	0,1537
Total	95		
CV _a (%)		11,46	20,22
CV _b (%)		2,18	2,90

** , * , Significativo a 1 e a 5% respectivamente pelo teste F.

Tabela 2A – Resumo da análise de variância para a matéria seca das folhas e dos frutos de *J. curcas* em função da população, da fase fenológica e do estrato

Fonte de variação	Quadrado médio		
	GL	Matéria seca das folhas	Matéria seca dos frutos
Bloco	3	0,0661	0,3839
População (P)	5	0,0665*	0,0898
Erro a	15	0,0165	0,1355
Fases fenológicas (FF)	3	0,2563**	22,2061**
P x FF	15	0,0167	0,1144
Erro b	54	0,0127	0,1224
Estratos (E)	2	2,6439**	0,1578*
P x E	10	0,0150	0,0644
FF x E	6	0,1196**	0,1619*
P x FF x E	30	0,0125	0,0705
Erro c	144	0,0138	0,0464
Total	287		
CV _a (%)		15,72	18,32
CV _b (%)		13,78	17,41
CV _c (%)		14,38	10,73

** , * , Significativo a 1 e a 5% respectivamente pelo teste F.

Tabela 3A – Resumo da análise de variância para a matéria seca das folhas e dos frutos de *J. curcas* em função da população, da fase fenológica e do estrato

Fonte de variação	Quadrado médio	
	GL	Produtividade de grãos
Bloco	3	16111,9905
População	5	2560,9912
Erro	15	3323,3186
Total	23	
CV (%)		41,71

** , * , Significativo a 1 e a 5% respectivamente pelo teste F.

Tabela 4A – Resumo da análise de variância para os teores de óleo e proteína nos grãos de *J. curcas* em função da população, da fase fenológica e do estrato

Fonte de variação	Quadrado médio		
	GL	Teor de óleo	Teor de proteína
Bloco	3	0,3697	11,1697
População (P)	5	1,2494	3,9991
Erro a	15	2,3435	3,8298
Fases fenológicas (FF)	1	66,9124**	39,5745**
P x FF	5	5,0777	8,5859
Erro b	18	3,4931	3,1101
Estratos (E)	2	11,1203*	17,71066*
P x E	10	4,5593	3,0849
FF x E	2	0,7104	1,2460
P x FF x E	10	3,8931	5,7069
Erro c	72	3,2778	4,8030
Total	143		
CV _a (%)		4,87	9,44
CV _b (%)		5,95	8,51
CV _c (%)		5,76	10,57

** , * , Significativo a 1 e a 5% respectivamente pelo teste F.

Tabela 5A – Resumo da análise de variância para os teores de macronutrientes nas folhas de *J. curcas* em função da população, da fase fenológica e do estrato

Fonte de variação	GL	Quadrado médio					
		Teor de N	Teor de P	Teor de K	Teor de Ca	Teor de Mg	Teor de S
Bloco	3	0,1093	0,0007	5,8390	3,6975	1,8685	0,0240
População (P)	5	0,2395	0,0068	0,6225	0,7480	0,1808	0,0571
Erro a	15	0,1715	0,0028	0,6828	0,6874	0,0668	0,0296
Fases fenológicas (FF)	3	29,8001**	0,0915**	1,5372**	1,3382**	0,7976**	0,1694**
P x FF	15	0,0918	0,0008	0,1512	0,1309	0,0190	0,0187
Erro b	54	0,0725	0,0007	0,2900	0,1272	0,0191	0,0322
Estratos (E)	2	0,1535	0,0009	1,8366**	6,1447**	0,3621**	0,0294
P x E	10	0,0390	0,0004	0,1309	0,0885	0,0152	0,0174
FF x E	6	0,0221	0,0003	0,2554	0,0902	0,0051	0,0243
P x FF x E	30	0,0450	0,0004	0,2069	0,0658	0,0120	0,0258
Erro c	144	0,0566	0,0005	0,1373	0,1011	0,0104	0,0206
Total	287						
CV _a (%)		11,43	21,40	35,25	34,27	29,84	55,57
CV _b (%)		7,43	11,25	22,97	14,74	15,97	58,08
CV _c (%)		6,57	9,40	15,81	13,14	11,79	46,47

** , * , Significativo a 1 e a 5% respectivamente pelo teste F.

Tabela 6A – Resumo da análise de variância para os teores de micronutrientes nas folhas de *J. curcas* em função da população, da fase fenológica e do estrato

Fonte de variação	GL	Quadrado médio			
		Teor de Zn	Teor de Fe	Teor de Mn	Teor de Cu
Bloco	3	273,1824	5656,0239	77084,677	39,1791
População (P)	5	294,3062*	4416,2141	100174,252	15,1454
Erro a	15	81,8907	3911,4047	48204,536	13,8682
Fases fenológicas (FF)	3	6202,9670**	46587,0430**	386417,512**	1423,5512**
P x FF	15	40,0607	2639,9689	4455,384	2,5021
Erro b	54	25,3802	4311,6579	7002,539	3,9779
Estratos (E)	2	54,4192*	34663,3148**	532257,151**	29,4950**
P x E	10	14,0904	2496,5359	8001,300	2,4284
FF x E	6	36,9039**	7583,1001*	25146,276**	2,2910
P x FF x E	30	14,8739	1418,6967	4783,562	2,1040
Erro c	14 4	12,2855	2890,5060	5705,783	2,5061
Total	28 7				
CV _a (%)		34,44	46,18	71,91	67,87
CV _b (%)		19,17	48,49	27,40	36,35
CV _c (%)		13,34	39,70	24,74	28,85

** , * , Significativo a 1 e a 5% respectivamente pelo teste F.

Tabela 7A – Resumo da análise de variância para os teores de macronutrientes nos frutos de *J. curcas* em função da população, da fase fenológica e do estrato

Fonte de variação	Quadrado médio						
	GL	Teor de N	Teor de P	Teor de K	Teor de Ca	Teor de Mg	Teor de S
Bloco	3	0,3952	0,0036	2,0004	0,1149	0,0947	0,0332
População (P)	5	0,1322	0,0109*	0,5101	0,0404	0,0030	0,0076
Erro a	15	0,1111	0,0034	0,9344	0,0170	0,0025	0,0086
Fases fenológicas (FF)	2	1,6729**	0,0575**	19,9527**	0,1957**	0,0470**	0,4083**
P x FF	10	0,1743*	0,0010	0,4050	0,0062	0,0030	0,0039
Erro b	36	0,0790	0,0014	0,6063	0,0097	0,0027	0,0090
Estratos (E)	2	0,2329*	0,0040	0,3336	0,1700**	0,0112**	0,0004
P x E	10	0,0613	0,0008	0,0839	0,0094	0,0028	0,0082
FF x E	4	0,1646	0,0006	0,2295	0,0088	0,0018	0,0024
P x FF x E	20	0,0336	0,0012	0,2140	0,0071	0,0039*	0,0080
Erro c	108	0,0742	0,0013	0,2140	0,0078	0,0021	0,0060
Total	215						
CV _a (%)		36,36	18,49	44,39	23,10	12,19	51,34
CV _b (%)		12,62	11,88	35,76	17,42	13,38	52,51
CV _c (%)		12,24	11,57	21,07	15,70	11,66	42,97

** , * , Significativo a 1 e a 5% respectivamente pelo teste F.

Tabela 8A – Resumo da análise de variância para os teores de micronutrientes nos frutos de *J. curcas* em função da população, da fase fenológica e do estrato

Fonte de variação	GL	Quadrado médio			
		Teor de Zn	Teor de Fe	Teor de Mn	Teor de Cu
Bloco	3	142,9885	601,4594	11734,3583	16,6280
População (P)	5	31,4146	909,7379**	4300,0606	22,5242*
Erro a	15	14,2246	184,6731	3324,1803	5,3717
Fases fenológicas (FF)	2	853,3050**	3639,222**	6732,2254**	3002,9433**
P x FF	10	12,6898	168,9866	691,8238	1,3462
Erro b	36	13,0310	315,5138	708,6753	1,2759
Estratos (E)	2	0,1688	62,4944	146,2059	11,9874**
P x E	10	28,3138**	192,1926	458,6473	3,4114*
FF x E	4	5,9305	156,2115	403,1157	6,3100**
P x FF x E	20	14,3264	92,0824	576,5275	1,6093
Erro c	10 8	9,7370	178,4979	545,5719	1,7054
Total	21 5				
CV _a (%)		13,76	27,01	60,37	28,21
CV _b (%)		13,17	35,31	27,87	13,75
CV _c (%)		11,38	26,56	23,35	15,89

** , * , Significativo a 1 e a 5% respectivamente pelo teste F.

Tabela 9A – Resumo da análise de variância para os acúmulos de macronutrientes nas folhas de *J. curcas* em função da população, da fase fenológica e do estrato

Fonte de variação	Quadrado médio						
	GL	Acúmulo de N	Acúmulo de P	Acúmulo de K	Acúmulo de Ca	Acúmulo de Mg	Acúmulo de S
Bloco	3	67,7618	0,7068	355,6627	371,0347	135,4039	2,0410
População (P)	5	163,0444**	1,3018*	114,9810	155,2524	13,4053	6,8727*
Erro a	15	35,4570	0,4120	48,1262	68,4759	5,6926	2,1453
Fases fenológicas (FF)	3	853,8364**	1,9710**	325,9111**	362,1970**	57,5089**	9,6307*
P x FF	15	22,6026	0,1903	20,0075	30,0531	4,0464	1,6915
Erro b	54	15,2416	0,1299	25,7340	18,6328	2,2752	2,3699
Estratos (E)	2	4020,4656**	15,0964**	828,6063**	636,4966**	135,2704**	39,4025**
P x E	10	20,7193	0,1238	18,8886	17,7078	1,2946	2,1127
FF x E	6	220,0441**	0,8940**	60,8829**	99,8659**	17,0488**	4,4451*
P x FF x E	30	16,0371	0,1099	18,9194	14,9319	2,4764	2,1959
Erro c	144	19,8171	0,1324	13,9787	16,4990	2,1941	1,7119
Total	287						
CV _a (%)		20,29	31,64	36,54	42,08	33,94	57,60
CV _b (%)		13,28	17,77	26,72	21,95	21,45	60,54
CV _c (%)		15,14	17,94	19,69	20,65	21,07	51,45

** , * , Significativo a 1 e a 5% respectivamente pelo teste F.

Tabela 10A – Resumo da análise de variância para os acúmulos de micronutrientes nas folhas de *J. curcas* em função da população, da fase fenológica e do estrato

Fonte de variação	GL	Quadrado médio			
		Acúmulo de Zn	Acúmulo de Fe	Acúmulo de Mn	Acúmulo de Cu
Bloco	3	215,5708	681,9471	39486,9889	23,7127
População (P)	5	334,4135**	5080,9206	72990,7728	18,0206
Erro a	15	56,3703	2445,3211	37774,4368	9,4353
Fases fenológicas (FF)	3	2397,2622**	44759,2853**	265194,0765**	685,9223**
P x FF	15	45,4882	2653,1691	5020,3415	2,4039
Erro b	54	24,9335	2396,7572	5163,3903	3,4537
Estratos (E)	2	1941,2367**	8554,4776**	86634,4716**	44,0618**
P x E	10	43,7548**	1241,8962	6043,6659	1,7304
FF x E	6	240,2934**	1887,5856	17803,3112**	14,2035**
P x FF x E	30	19,1932	935,3749	5017,1762	1,9163
Erro c	144	16,4999	1647,7972	4643,3550	2,5363
Total	287				
CV _a (%)		35,60	45,41	80,58	72,51
CV _b (%)		23,58	44,96	27,79	43,87
CV _c (%)		19,26	37,28	28,25	37,59

** , * , Significativo a 1 e a 5% respectivamente pelo teste F.

Tabela 11A – Resumo da análise de variância para os acúmulos de macronutrientes nos frutos de *J. curcas* em função da população, da fase fenológica e do estrato

Fonte de variação	Quadrado médio						
	GL	Acúmulo de N	Acúmulo de P	Acúmulo de K	Acúmulo de Ca	Acúmulo de Mg	Acúmulo de S
Bloco	3	603,0262	8,7036	1851,1010	14,8662	12,4403	28,4337
População (P)	5	153,2723	3,3133	177,7735	21,1547	0,7029	3,3487
Erro a	15	105,4017	2,5951	360,8873	11,8714	1,5742	5,0259
Fases fenológicas (FF)	2	15940,7399**	115,6326**	4567,4431**	683,3682**	359,6284**	40,0575**
P x FF	10	79,5545	1,9617	114,6611	6,7784	1,1328	1,1752
Erro b	36	98,5230	1,8186	384,5147	6,8804	2,5646	4,5292
Estratos (E)	2	435,1129**	3,9322*	264,9776*	41,7219**	0,1330	0,5841
P x E	10	63,1382	0,9855	70,1289	2,3826	1,3963	4,1573
FF x E	4	247,2297**	2,5232	220,8002*	0,6917	1,8236	1,6322
P x FF x E	20	45,1857	1,1629	106,6167	1,8842	2,0393	4,6662
Erro c	108	50,1876	1,1294	83,3463	2,9411	1,3620	3,3078
Total	215						
CV _a (%)		22,77	25,85	45,24	30,87	16,10	66,10
CV _b (%)		22,02	21,64	47,70	23,50	20,55	62,75
CV _c (%)		15,71	17,05	21,74	15,36	14,97	53,62

** , * , Significativo a 1 e a 5% respectivamente pelo teste F.

Tabela 12A – Resumo da análise de variância para os acúmulos de micronutrientes nos frutos de *J. curcas* em função da população, da fase fenológica e do estrato

Fonte de variação	GL	Quadrado médio			
		Acúmulo de Zn	Acúmulo de Fe	Acúmulo de Mn	Acúmulo de Cu
Bloco	3	1465,0035	2174,8314	27313,3557	214,7922
População (P)	5	222,8665	2734,2518	26666,2777	139,6421**
Erro a	15	166,5544	1344,3417	15516,6360	23,9812
Fases fenológicas (FF)	2	5798,4104**	46228,5679**	101200,0912*	3123,3666**
P x FF	10	132,3688	1555,6108	5125,8076	14,0258
Erro b	36	132,0120	1817,1782	2894,0124	17,1035
Estratos (E)	2	105,2034	29,7566	619,7140	82,2454**
P x E	10	147,9109	911,1445	1603,0260	20,1949
FF x E	4	104,3407	1538,5672	384,6999	75,4473**
P x FF x E	20	99,1467	698,8267	1939,4363	12,6530
Erro c	108	86,3258	734,3112	1677,855	12,2318
Total	215				
CV _a (%)		24,10	37,03	67,48	34,75
CV _b (%)		21,46	43,05	28,14	29,35
CV _c (%)		17,35	27,36	22,19	24,82

** , * , Significativo a 1 e a 5% respectivamente pelo teste F.

Tabela 13A – Resumo da análise de variância para exportação de macronutrientes pela produção de 1.000 kg ha⁻¹ de frutos de populações de *J. curcas*

Fonte de variação	GL	Quadrado médio					
		Exportação de N	Exportação de P	Exportação de K	Exportação de Ca	Exportação de Mg	Exportação de S
Bloco	3	2,2886	0,1883	101,3024	1,2368	0,4184	1,8140
População	5	6,8985	0,0746	6,48350	1,2835	0,0463	0,2027
Erro	15	3,8554	0,1059	33,7590	0,4820	2,4358	0,3715
Total	23						
CV (%)		9,33	11,70	29,41	14,28	11,48	39,61

** , * , Significativo a 1 e a 5% respectivamente pelo teste F.

Tabela 14A – Resumo da análise de variância para exportação de micronutrientes pela produção de 1.000 kg ha⁻¹ de frutos de populações de *J. curcas*

Fonte de variação	GL	Quadrado médio			
		Exportação de Zn	Exportação de Fe	Exportação de Mn	Exportação de Cu
Bloco	3	29,3852	126,9913	880,7105	2,1837
População	5	14,4905	267,3529	1175,7443	3,6624**
Erro	15	6,6645	136,5088	528,8428	0,7742
Total	23				
CV (%)		11,23	23,77	27,17	23,82

** , * , Significativo a 1 e a 5% respectivamente pelo teste F.