



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE GOIÁS
UNIDADE UNIVERSITÁRIA DE IPAMERI
Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal



CARACTERIZAÇÃO FENOTÍPICA DE POPULAÇÕES
DE *Jatropha curcas*

JOÃO PAULO DE MORAIS OLIVEIRA

**M
E
S
T
R
A
D
O**

Ipameri-GO
2016

JOÃO PAULO DE MORAIS OLIVEIRA

CARACTERIZAÇÃO FENOTÍPICA DE POPULAÇÕES DE
Jatropha curcas

Orientador: Prof. Dr. Fábio Santos Matos
Coorientadora: Prof. Dra. Luciane Madureira de Almeida

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Goiás – UEG, Câmpus Ipameri como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Produção Vegetal para obtenção do título de MESTRE.

Ipameri
2016

Oliveira, João Paulo de Moraes.

Caracterização genotípica e fenotípica de populações de *Jatropha curcas*/ João Paulo de Moraes Oliveira. - 2016.

24 f. il.

Orientador: Prof. Dr. Fábio Santos Matos.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Goiás, Câmpus Ipameri 2016.

Bibliografia.

1. Ciências Agrárias. 2. Agronomia. 3. *Jatropha curcas*.

I. Título.



Câmpus Ipameri
Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Produção Vegetal
Rodovia GO 330, Km 241, Anel Viário, 75780-000 Ipameri-GO
www.ppgpv.ueg.br e-mail: ppgpv.ipameri@gmail.com
Fone: (64)3491-5219



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: "CARACTERIZAÇÃO FENOTÍPICA DE POPULAÇÕES DE *Jatropha curcas*".

AUTOR: João Paulo Morais de Oliveira

ORIENTADOR: Fábio Santos Matos



Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE EM PRODUÇÃO VEGETAL, pela comissão Examinadora:

Prof. Dr. FÁBIO SANTOS MATOS
Universidade Estadual de Goiás/Ipameri-GO

Prof. Dr. IVANDILSON PESSOA PINTO DE MENEZES
Instituto Federal Goiano/Urutai-GO

Dra. PATRÍCIA SOUZA DA SILVEIRA
Universidade Estadual de Goiás/Ipameri-GO

Data da realização: 25 de fevereiro de 2016



2º TABELIONATO DE NOTAS, REGISTRO DE TÍTULOS, DOCUMENTOS E PROTESTOS
Rua do Café Barreto Soares - Ipameri
Av. Dr. Gomes da Frota n.º 02 - Centro - Ipameri-GO - CEP 75780-000 - Fone (64) 3491-1531

AUTENTICAÇÃO

CNPJ 11504011/03030400611 - Consulte em
<http://www.tribuna.com.br>

Certifico que a presente cópia é verdadeira e fiel ao documento original que me foi apresentada.
Data:

IPAMERI-GO, 25 de fevereiro de 2016
Em Teste da Escrita
Fernando do Araújo Vaz - Escrivão



DEDICATÓRIA

A Deus, que me capacitou e sustentou em mais uma jornada.

Aos meus pais Geraldo Oliveira Pinto e Sônia Maria de Moraes Oliveira, exemplo de perseverança, humildade e fé.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo amor incondicional e a força necessária nos momentos difíceis;

Aos meus pais Geraldo Oliveira Pinto e Sônia Maria de Moraes Oliveira, e ao meu irmão Camerino Ferreira de Oliveira Neto, que durante todos esses anos sempre estiveram ao meu lado, motivando e apoiando minhas decisões;

Aos meus avós Camerino Ferreira de Oliveira (*in memoriam*) e Odelita Pinto de Oliveira; Walter Pereira de Moraes e Conceição Ferreira de Moraes por sempre me acolherem, incentivarem, transmitirem suas experiências, como também por toda dedicação e carinho.

A minha namorada Jéssica Ferreira Silva, por todo amor, incentivo, compreensão e companheirismo.

Aos meus familiares e aos meus amigos Johnatan Figueiredo de Pina, Bruna Santos de Oliveira, Patrícia Souza da Silveira, Maria Ilma dos Santos, Elias Antônio de Almeida Neto, Priscilla Gomes de Freitas Santos, Ana Clara Almeida Batista, Alainy Carla de Souza Nascente, Leandro Mariano da Silva e Igor Alberto Silvestre Freitas, que lutaram comigo nas tomadas de decisões importantes submetidas ao longo de minha vida.

Ao meu orientador Dr. Fábio Santos Matos pelas contribuições concedidas.

A minha coorientadora Dra. Luciane Madureira de Almeida pelos ensinamentos.

Ao professor Dr. Adesio Ferreira por ter me auxiliado na análise estatística em um momento delicado.

Aos docentes do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal da UEG – Câmpus Ipameri, em especial aos Drs. Adilson Pelá, Ednaldo Cândido Rocha e Fabricio Rodrigues pelos ensinamentos transmitidos.

Ao Grupo de Pesquisa Fisiologia da Produção Vegetal, pelo auxílio nos experimentos e amizade de toda a equipe.

À Universidade Estadual de Goiás – Câmpus Ipameri pela oportunidade.

À Capes pelo apoio financeiro, através da Bolsa de Estudo.

A todos que, mesmo não citados aqui, colaboraram de alguma forma para a realização deste trabalho. Meu muito obrigado!

“Nada se consegue sem esforço próprio e sem
uma dedicação à prova de fraquezas.”

Carlos Bernardo González Pecotche

SUMÁRIO

RESUMO	viii
ABSTRACT	ix
RESUMO	9
ABSTRACT	10
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 OBJETIVO GERAL.....	4
3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	5
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	6
4.1 Desenho experimental	6
4.2 Variáveis morfológicas.....	7
4.2.1 Determinação da densidade estomática.....	7
4.2.2 Área foliar específica (AFE)	7
4.2.3 Área foliar (AF).....	8
4.2.4 Inflorescências.....	8
4.3 Variáveis fisiológicas/produtivas	8
4.3.1 Pigmentos fotossintéticos	8
4.3.2 Crescimento.....	8
4.3.3 Produtivas.....	9
4.4 Plasticidade fenotípica.....	9
4.5 Procedimentos estatísticos.....	9
5 RESULTADOS	11
6 DISCUSSÃO	17
7 CONCLUSÃO.....	20
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	21

RESUMO

O pinhão manso é uma planta de elevado potencial econômico utilizada em diferentes regiões geográficas do Brasil, no entanto, os genótipos utilizados nos plantios são geneticamente desconhecidos. O presente estudo teve como objetivo identificar plasticidade fenotípica em populações de *J. curcas*. O experimento foi realizado no campo experimental da Universidade Estadual de Goiás (UEG) – Câmpus Ipameri, seguindo o delineamento inteiramente casualizados com 11 tratamentos e quatro repetições. No ano agrícola de 2014/2015 foram analisadas uma gama de variáveis morfofisiológicas. Ampla variações morfofisiológicas foram observadas nas análises descritivas para as diferentes populações de *J. curcas*. As correlações fenotípicas positivas foram observadas apenas entre: diâmetro da copa e produtividade de sementes; e diâmetro da copa e densidade de estômatos na epiderme adaxial, indicando que o diâmetro da copa pode ser utilizada como descritor em programas de melhoramento genético de plantas. A análise de agrupamento comprovou a existência de diversidade entre as populações de *J. curcas*, com a formação de dois grupos, evidenciando que a base genética do pinhão manso encontradas em diferentes regiões do Brasil é estreita. A análise da plasticidade fenotípica demonstrou que as variáveis morfológicas apresentaram maior coeficiente de plasticidade em relação às variáveis fisiológicas e produtivas. Dentre as variáveis morfológicas e produtivas que apresentaram maiores valores de plasticidade fenotípica foram: flores assexuadas, hermafroditas, femininas, masculinas, número de inflorescência por planta, produtividade de óleo e de sementes. O diâmetro da copa é o caractere que influencia diretamente na produtividade do pinhão manso. As variáveis morfofisiológicas podem ser utilizadas em programas de melhoramento de *J. curcas* para estudar a diversidade e a plasticidade fenotípica.

Palavras-chave: Biocombustível; Diversidade genética; Oleaginosa; Pinhão manso.

ABSTRACT

Jatropha curcas is a high economic potential of plant used in different geographic regions of Brazil, however, the genotypes used in plantations are genetically unknown. This study aimed to identify phenotypic plasticity in populations of *J. curcas*. The experiment was conducted in the experimental field of the State University of Goiás (UEG) - Campus Ipameri, following the completely randomized design with 11 treatments and four replications. In the agricultural year 2014/2015 were analyzed a range of morphological and physiological variables. Morphophysiological wide variations were observed in the descriptive analysis for the different populations of *J. curcas*. Positive correlations were observed only between the diameter of the crown and seed yield; and canopy diameter and stomatal density in adaxial epidermis, indicating that the diameter of the canopy can be used as a descriptor in breeding programs of plants. Cluster analysis confirmed the existence of diversity among populations of *J. curcas*, with the formation of two groups, showing that the genetic basis of *J. curcas* found in different regions of Brazil is close. The analysis of phenotypic plasticity demonstrated that morphological variables showed higher coefficient of plasticity in relation to physiological and productive variables. Among the morphological and productive variables showed higher phenotypic plasticity values were asexual flowers, hermaphrodite, female, male, number of inflorescences per plant, oil yield and seed. The diameter of the crown is the character that directly influences the productivity of *J. curcas*. The morphological and physiological variables can be used in *J. curcas* breeding programs to study the diversity and phenotypic plasticity.

Key-words: Biofuel; Genetic diversity; Oilseeds; *Jatropha curcas*.

1 INTRODUÇÃO

A dependência mundial por fonte de energia tem comprometido os recursos naturais, devido ao aumento de gases que intensificam o efeito estufa na atmosfera terrestre em decorrência de ações antrópicas, como queima de combustíveis fósseis e uso do solo. A busca por fontes de energias limpas e renováveis tornam-se necessárias para minimizar as mudanças climáticas, emissão de gases na atmosfera e efeito estufa. Os biocombustíveis representam uma alternativa sustentável de substituição parcial ou total de combustíveis fósseis.

O Brasil apresenta elevada capacidade para produção de biocombustíveis, uma vez que o país dispõe de uma vasta extensão territorial, diversidade climática, várias espécies potenciais, e mão de obra com aptidão técnica no campo da ciência agrícola (SANTOS et al., 2014). A matriz energética brasileira é alicerçada em fontes como: usinas hidrelétricas, derivados fósseis, biomassas, eólicas e nuclear com contribuições de 66, 19, 9, 5 e 1% respectivamente. As pesquisas desenvolvidas e os incentivos políticos através da criação do Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel tem incentivado a produção deste combustível para substituição parcial do petrodiesel através da mistura gradativa de biodiesel. Em 2016, 7% de biodiesel é adicionado ao petrodiesel nos centros de distribuição. Esta medida incentivou a produção anual de biodiesel que em 2015 foi de 3,4 bilhões de litros e capacidade instalada para produzir cerca de 7,9 bilhões de litros (ANP, 2015).

As principais matérias-primas utilizadas para produção do biodiesel no Brasil são soja, sebo bovino e algodão com contribuições de 69,24, 26,18 e 3,07%, respectivamente, sendo os outros materiais responsáveis por apenas 1,51% da produção (ANP, 2015). Existe, portanto, a necessidade de diversificar a fonte de matéria prima a partir da introdução de espécies promissoras. A espécie *Jatropha curcas* conhecida popularmente como pinhão manso destaca-se como uma oleaginosa de grande potencial de produção de óleo com alta qualidade físico-química para produção de biodiesel (KHEIRA et al., 2009).

O pinhão manso é uma planta perene, monóica, pertencente à família Euphorbiaceae que possui cerca de 317 gêneros e 8 mil espécies (DEHGAN e WEBSTER, 1979). A planta é originária do México, país com registros de grande diversidade genética em materiais encontrados naturalmente (MANCILLAS et al., 2015). O pinhão manso pode chegar a 8 m de altura, apresentando alta capacidade de adaptação a variadas condições de clima e solo, resistência a longas estiagens, bem como à pragas e doenças (RAFFI et al., 2012). A planta

desenvolve-se bem em regiões tropicais secas, zonas equatoriais úmidas, terrenos áridos e pedregosos (FAO, 2010).

Está espécie tem sido utilizado por comunidades rurais para diversos fins como: conservação do solo, fonte de matéria orgânica decomposta rica em nitrogênio, fósforo e potássio (MATOS et al., 2012). O látex extraído do caule e ramos é utilizado para fins farmacológicas por possuir efeito cicatrizante (OPENSHAW, 2000). O elevado potencial da cultura despertou atenção dos pesquisadores e promoveu rápida expansão da espécie pelo mundo. A área plantada em 2008 era de 900.000 ha e este valor subiu para 4,7 milhões de ha em 2010 com perspectiva de atingir 12,8 milhões de ha em 2016 (CONTRAN et al., 2013). A expansão da exploração comercial depende da elucidação de aspectos agrônômicos básicos ainda não disponíveis para a espécie e o desenvolvimento de materiais superiores com uniformidade de maturação e estabilidade de produção.

A Índia lidera o cultivo e domesticação de *J. curcas*, seguido pela China e Brasil (SORRELL et al., 2010). No Brasil, o pinhão manso é implantado em diferentes regiões, com destaque para o nordeste, pois essa cultura tornou-se opção agrícola nesta região pela rusticidade e tolerância a seca (DURÃES et al., 2011), no entanto, a ausência de cultivares melhoradas com estabilidade de produção tem limitado a expansão da espécie. Os genótipos utilizados nos plantios são geneticamente desconhecidos, não se têm informações básicas que assegure estabilidade de produção nas regiões produtoras (SURWENSHI et al., 2011; TERREN et al., 2012). Desse modo, vêm se intensificando a busca pelo desenvolvimento de cultivares melhoradas de *J. curcas*, porém os programas de melhoramento são raros quando comparados com os programas de outras espécies oleaginosas (LAVIOLA et al., 2010; LAVIOLA et al., 2012).

O conhecimento da diversidade genética de *J. curcas* é fundamental para a domesticação da espécie, conservação e uso (SUDHEER-PAMIDIMARRI et al., 2010; OSORIO et al., 2014). Diversos trabalhos de diversidade genética realizado no Brasil, Índia, México e em outros países relatam que a base genética do pinhão manso é estreita, causada provavelmente por uma ancestralidade comum (MASTAN et al., 2012; KANCHANAKETU et al., 2012; MAURYA et al., 2013; BRASILEIRO et al., 2013; REIS et al., 2015). Todavia, torna-se necessário a obtenção do maior número possível de materiais genéticos de *J. curcas* para se ter uma ampla base genética para seleção e desenvolvimento de cultivares (REIS et al., 2015; ONE et al., 2014). Ginwal et al. (2005) relataram que, pelo fato do pinhão manso ser adaptado a uma vasta gama de condições ambientais e ecológicas, preconizaram a

existência de uma quantidade considerável de diversidade genética, que ainda deve ser estudada e detectada para serem empregadas nos programas de melhoramento.

A grande diversidade edafoclimática existente no Brasil com marcantes alterações de fatores abióticos entre as regiões pode ter ao longo das gerações um maior efeito seletivo de genótipos com maior capacidade de apresentar a plasticidade fenotípica, com constante alterações morfológicas e fisiológicas para ajustar-se a condição reinante (MATOS et al., 2009). Segundo Gondim et al. (2014) a plasticidade fenotípica é definida como variações morfológicas e fisiológicas de um genótipo que ocorre em resposta a alterações no ambiente. A alta plasticidade fenotípica aumenta a capacidade de sobreviver e reproduzir e, o conhecimento desta variável em populações de pinhão manso pode fornecer valiosas informações a respeito da performance produtiva da planta em diferentes ambientes ao identificar quais características são susceptíveis a evolução adaptativa (ACKERLY et al., 2000).

Os programas de melhoramento com *J. curcas* no Brasil e no mundo vem tentando solucionar a problemática interação genótipo x ambiente da espécie. Pouco se conhece sobre a distribuição e a diversidade genética do pinhão manso e ainda não existe cultivares melhoradas com alto potencial produtivo. Além disso, diversos fatores abióticos influenciam no crescimento e desenvolvimento das plantas de *J. curcas*, bem como na produtividade e composição química dos óleos, induzindo a ocorrência da plasticidade fenotípica. Desse modo, os programas de melhoramento busca selecionar variações genéticas de caracteres de importância agrônômica, tais como: produtividades de grãos com alto teor de óleo, ausência de toxidez, uniformidade na floração e maturação de frutos, analisando o comportamento fenotípico da espécie nas condições reinantes.

Nessa perspectiva, observa-se que a espécie carece de materiais superiores e elucidções básicas que assegurem estabilidade produtiva; o grau de melhoramento do pinhão manso é ainda incipiente e causa preocupação aos pesquisadores, havendo a necessidade de pesquisas sobre: melhoramento genético, interação dos genótipos x ambiente, plasticidade fenotípica e práticas de manejo.

2 OBJETIVO GERAL

O presente estudo teve como objetivo identificar plasticidade fenotípica em populações de *J. curcas*.

3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar a plasticidade fenotípica de plantas de *J. curcas* a partir de variáveis morfológicas, fisiológicas e produtivas.
- Identificar quais variáveis morfofisiológicas são descritoras da produtividade em *J. curcas*.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Desenho experimental

O experimento foi realizado no campo experimental da Universidade Estadual de Goiás (UEG) – Câmpus Ipameri, Goiás (Lat. 17° 43' 19'' S, Long. 48° 9' 35'' W, Alt. 773 m). Esta região possui clima Aw de acordo com a classificação de Köppen, com precipitação pluviométrica anual de 1447 mm, temperatura média de 21,9°C, umidade relativa média do ar variando de 58% a 81%. A região possui duas estações bem definidas: a chuvosa, que vai de outubro a abril, e a seca, que vai de maio a setembro. O solo da área experimental com 2% de declividade é classificado como Latossolo vermelho-amarelo distrófico (EMBRAPA, 2006). Com base no resultado da análise de solo (Tabela 1) realizou-se apenas adubação nitrogenada seguindo recomendações técnicas propostas por Laviola e Dias (2008); Matos et al. (2014).

Tabela 1. Características químicas do solo, na profundidade de 0 a 20 cm e 20 a 40 cm, amostrado antes da instalação do experimento.

Profundidade	pH em CaCl ₂	M.O. (g.dm ⁻³)	P-Mehlich (mg.dm ⁻³)	Complexo Sortivo (cmol.dm ⁻³)						V%
				K	Ca	Mg	Al	H+Al	CTC	
0 a 20	5,6	33,0	7,0	0,20	3,4	1,3	0,0	3,5	8,4	58,3
20 a 40	5,3	37,0	8,8	0,25	4,2	1,6	0,0	3,7	9,8	62,0

M.O. = Matéria orgânica; V% = saturação de bases; SB = Soma de bases.

As sementes de *J. curcas* de diferentes regiões geográficas do Brasil foram fornecidas pelo Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa (UFV) e foi implantado no Câmpus de Ipameri em Novembro de 2011 com espaçamento de 4x2 m (Tabela 2). O trabalho foi conduzido seguindo o delineamento inteiramente casualizado com 11 tratamentos (Anexo 1). Os tratamentos foram definidos pelas populações de *J. curcas*, sendo que a seleção de cada população foi por acesso individual.

Foram analisadas entre agosto de 2014 e agosto de 2015 as seguintes variáveis: número de inflorescência, flores masculinas, femininas, hermafroditas e assexuadas; densidade de estômatos abaxial e adaxial; concentrações foliares de carotenoides e clorofilas totais; altura da planta e do primeiro ramo; diâmetro do caule e da copa; área foliar e área foliar específica; número de ramos; comprimento, largura e diâmetro das sementes; peso de 100 sementes; percentual de óleo nas sementes e produtividade de sementes (kg ha⁻¹) e de óleo (L ha⁻¹).

Tabela 2. Descrição do local de coletas das sementes de *J. curcas* em diferentes regiões do Brasil.

Cidade de coleta	Coordenadas Geográfica	Populações
Ariquemes	09° 54' 48" S, 63° 02' 27" W, 142 m	RO
Barra dos Bugres	15° 04' 21" S, 57° 10' 52" W, 171 m	MT
Formoso do Araguaia	11° 47' 48" S, 49° 31' 44" W, 240 m	TO
Jales	20° 16' 08" S, 50° 32' 45" W, 478 m	SP
Jataí	17° 52' 53" S, 51° 42' 52" W, 696 m	GO
João Pinheiro	17° 44' 45" S, 46° 10' 44" W, 765 m	MG
Natal	05° 47' 42" S, 35° 12' 32" W, 30 m	RN
Novo Repartimento	04° 19' 50" S, 49° 47' 47" W, 0 m	PA
Petrolina	09° 23' 55" S, 40° 30' 03" W, 376 m	PE
São Luís	02° 31' 47" S, 44° 18' 10" W, 24 m	MA
Serra da Ibiapaba	03° 52' 47" S, 40° 57' 50" W, 954 m	CE

4.2 Variáveis morfológicas

4.2.1 Determinação da densidade estomática

Para obtenção da densidade estomática, réplicas das superfícies adaxial e abaxial da folha foram retiradas com esmalte incolor na região do terço médio das folhas hidratadas e a contagem foi realizada com auxílio de um microscópio óptico munido com câmara clara. A densidade estomática foi determinada através da contagem de estômatos situada numa área de 1 mm², obtendo-se o número de estômatos/área (JADRNÁ et al., 2009). Foram analisadas duas réplicas da superfície adaxial e abaxial de cada repetição para a determinação da densidade estomática.

4.2.2 Área foliar específica (AFE)

Para obtenção da área foliar específica foram retirados seis discos foliares de 1,2 cm de diâmetro de folhas totalmente expandidas que posteriormente foram secas em estufa a 70°C por 72 h para determinação da massa seca. A AFE foi obtida através da equação proposta por Radford (2013).

$$AFE = A / MS$$

AFE= Área foliar específica (m² kg⁻¹)

A= Área foliar (m²)

MS= Massa seca dos discos (kg)

4.2.3 Área foliar (AF)

A área foliar foi determinada seguindo equação proposta por Severino et al. (2006). Para tal, utilizou-se trena graduada em cm para obtenção do comprimento e largura de cinco folhas por planta totalmente expandida.

$$A = 0,84(P \times L)^{0,99}$$

A= Área Foliar (cm²)

P= Comprimento da nervura principal da Folha (cm)

L= Largura da Folha (cm)

4.2.4 Inflorescências

O número de inflorescência foi obtida através da contagem do mesmo de acordo com surgimento na planta. O número de flores femininas, masculinas, hermafroditas e assexuadas foram obtidas pela contagem do respectivo número de flores em cada inflorescência conforme sua abertura na planta segundo Pereira et al. (2011).

4.3 Variáveis fisiológicas/produativas

4.3.1 Pigmentos fotossintéticos

Para determinação dos pigmentos fotossintéticos foram retirados discos foliares de 1,2 cm de diâmetro e colocados em vidros contendo dimetilsulfóxido (DMSO). Posteriormente foi feita extração em banho-maria à 65°C por uma hora. Alíquotas foram retiradas para leitura espectrofotométrica a 480, 649 e 665 nm. O conteúdo de clorofila *a* (Cl *a*), de clorofila *b* (Cl *b*), carotenóides (Car) e razão clorofila *a* e *b* foram determinados seguindo as equações propostas por Wellburn (1994).

4.3.2 Crescimento

O número de ramos foi obtido através da contagem de todas as ramificações a partir da base do caule principal. A altura da planta foi mensurada com trena graduada em metros a partir do coleto do caule até o ápice do ramo principal. O diâmetro do caule foi avaliado com paquímetro digital, a partir da altura do coleto. O diâmetro de copa foi medido entre as duas extremidades laterais da planta.

4.3.3 Produtivas

O comprimento, largura e diâmetro das sementes foram determinados com uso do paquímetro digital, utilizando 25 sementes em amostras aleatórias. O peso de 100 sementes foi aferido utilizando balança de precisão (0,001g). A produtividade por planta foi quantificada através das pesagens das sementes. Posteriormente, foi feita a análise do teor de óleo das sementes através do aparelho de ressonância magnética nuclear (RMN), no Departamento de Fitotecnia, no Laboratório de Melhoramento de Oleaginosas (UFV), em Viçosa-MG. Para determinar o teor de óleo de uma amostra desconhecida foi necessária a utilização de uma curva de calibração, baseada na correlação entre a amplitude do sinal RMN com a respectiva massa de óleo das sementes, expresso em porcentagem (CONSTANTINO et al., 2014). A determinação da produtividade de óleo foi obtido através da produtividade total de sementes (kg ha^{-1}) dividido pela a densidade média do óleo de pinhão manso (0,910), expresso em L ha^{-1} .

4.4 Plasticidade fenotípica

As diferenças no índice de plasticidade associada a variáveis morfológicas e fisiológicas/produtivas foram analisados pelo teste de Scott-Knott ($P \leq 0,05$). O índice de plasticidade fenotípica que varia de 0 a 1 foi calculado com base na distância relativa (RD) entre os valores dos tratamentos (RDPI), de acordo com Valladares et al. (2006). Para cálculo do RDPI utilizou-se da seguinte fórmula:

$$\text{RDPI} = \sum (d_{ij} \rightarrow i'j') / (x_{i'j'} + x_{ij}) / n$$

Em que i, j, n referem-se aos tratamentos, repetições e número total de repetições respectivamente. $d_{ij} \rightarrow i'j'$ é a distância relativa entre os tratamentos com os valores das repetições tomados aos pares com i diferente de i' (populações de *Jatropha curcas*) e valor absoluto obtido pela diferença $x_{i'j'} - x_{ij}$. Portanto, a distância relativa, $rd_{ij} \rightarrow i'j'$ é definida como $d_{ij} \rightarrow i'j' / (x_{i'j'} + x_{ij})$ para todos os pares de repetições dos tratamentos associados as diferentes populações de *J. curcas*.

4.5 Procedimentos estatísticos

A estatística descritiva foi realizada para as variáveis obtidas calculando-se: valores mínimos e máximos, média, desvio padrão, coeficiente de variação (%) e teste de

normalidade de Shapiro – Wilk, nos casos de dados sem distribuição normal, aplicou-se a transformação Raiz ($x + 1$), em que x corresponde ao valor a ser transformado. O teste de correlação fenotípica foi realizado utilizando o software GENES (CRUZ, 2013). A análise multivariada foi feita por meio das técnicas de componentes principais, agrupamento e regressão múltipla. A análise de agrupamento foi realizada utilizando a distância de Mahalanobis (D^2) pelo método de ligação de média não ponderada (UPGMA), cujo ponto de corte foi determinado com base nas medidas de dissimilaridade com auxílio do software GENES (CRUZ, 2013). Para análise de componentes principais utilizou-se uma matriz de correlação e o critério de seleção dos eixos foi por Broken stick. Utilizou-se análise de regressão múltipla para avaliar a produtividade utilizando a seleção de modelo *forward stepwise* (SOKAL e ROLF, 1969). Para a realização dessas análises foi através do software R (R CORE TEAM, 2015).

5 RESULTADOS

A análise descritiva das variáveis avaliadas encontra-se na tabela 2. O número de inflorescências, flores femininas, masculinas, hermafroditas e assexuadas não seguiram o padrão de normalidade segundo o teste de Shapiro – Wilk. As variáveis que apresentaram padrão de normalidade com maiores variações foram: Produtividade de óleo (PO), produtividade de sementes (PROD), altura do 1º ramo (APR) e área foliar específica (AFE). A PO encontrado nas sementes apresentou variação de 55,67 a 508,40 L ha⁻¹, com média de 242,21 L ha⁻¹. A PROD apresentou média de 660 kg ha⁻¹ variando entre 170 e 1370 kg ha⁻¹. A APR variou de 4 a 12 cm, com média de 6,7 cm. A AFE obteve média de 71,20 m² kg⁻¹, com oscilação de 37 a 109 m² kg⁻¹. O TOS encontrados nas sementes foi de 33,20% com oscilação de 28,40 a 35,80% (Tabela 2).

Tabela 2. Análise descritiva para as variáveis: número de ramos (NR), altura de planta (ALT), diâmetro do caule (DCL), diâmetro da copa (DCP), altura do primeiro ramo (APR), área foliar (AF), número de inflorescência por planta (NI), flores femininas (FF), masculinas (FM), hermafroditas (FH), assexuadas (FA), diâmetro das sementes (DS), comprimento das sementes (CS), largura das sementes (LS), peso de 100 sementes (PS), produtividade (PROD), teor de óleo nas sementes (TOS), produtividade de óleo (PO), densidade de estômatos nas epidermes adaxial (EAD) e abaxial (EAB), concentração foliar de carotenoides totais (CAR), razão entre clorofila *a* e *b* (Cl *a*/Cl *b*), clorofilas totais [Cl(*a*+*b*)] e área foliar específica (AFE), analisadas em populações de *J. curcas* encontradas naturalmente em diferentes regiões geográficas do Brasil.

Variáveis	DV	CV (%)	Mínimo	Máximo	Média	p(normal)
NR	7,50	16,9	11,00	50,00	34,90	0,66 ^{ns}
ALT (m)	0,30	9,9	2,20	3,50	3,00	0,61 ^{ns}
DCL (cm)	16,70	10,60	95,00	160,00	10,60	0,44 ^{ns}
DCP (m)	0,40	18,2	1,10	3,10	2,30	0,62 ^{ns}
APR (cm)	1,90	25,70	4,00	12,00	6,70	0,06 ^{ns}
AF (cm ²)	30,00	17,70	105,60	221,50	159,00	0,20 ^{ns}
NI	12,60	91,80	1,00	45,00	13,70	0,05 [*]
FF	4,60	106,30	1,00	20,00	4,40	0,03 [*]
FM	42,40	73,40	29,00	145,00	58,00	0,01 ^{**}
FH	1,40	104,20	1,00	4,00	1,30	0,03 [*]
FA	2,00	113,00	1,00	7,00	1,70	0,02 [*]
DS (mm)	0,20	1,80	8,00	8,90	8,50	0,25 ^{ns}
CS (mm)	0,40	2,00	16,70	18,80	17,70	0,93 ^{ns}
LS (mm)	0,30	2,30	10,00	10,90	10,50	0,11 ^{ns}
PS (g)	4,30	2,30	69,20	82,40	75,30	0,16 ^{ns}
PROD (kg ha ⁻¹)	290,00	43,70	170,00	1370,00	660,00	0,07 ^{ns}

TOS (%)	1,50	4,20	28,40	35,80	33,20	0,09 ^{ns}
PO (L ha ⁻¹)	106,96	44,15	55,67	508,40	242,21	0,24 ^{ns}
EAD (mm ⁻²)	35,00	14,10	149,00	277,00	202,20	0,22 ^{ns}
EAB (mm ⁻²)	93,00	10,60	521,00	871,00	680,40	0,94 ^{ns}
CAR (g kg ⁻¹)	0,40	20,60	1,00	2,70	1,80	0,60 ^{ns}
Cl _a /Cl _b	0,70	10,90	1,90	5,50	2,80	0,41 ^{ns}
Cl _{a+b} (g kg ⁻¹)	2,40	19,30	6,50	18,80	11,40	0,20 ^{ns}
AFE (m ² kg ⁻¹)	17,20	22,00	37,00	109,00	71,20	0,20 ^{ns}

Desvio padrão (DV), coeficiente de variação (CV), mínimo e máximo, média e teste de normalidade p(normal); ns = não significativo, ** significativo a 1 % e * significativo a 5% de probabilidade.

Somente as variáveis que apresentaram significância pela análise de variância foram submetidas ao teste de correlação genética (Tabela 3). As correlações fenotípicas positivas foram observadas entre: diâmetro de copa e produtividade de sementes (0,97); e diâmetro de copa e densidade de estômatos na epiderme adaxial (0,86).

Tabela 3. Estimativas de correlação fenotípica entre caracteres morfofisiológicos diâmetro do caule (DCL), diâmetro da copa (DCP), altura do primeiro ramo (APR), diâmetro das sementes (DS), comprimento das sementes (CS), largura das sementes (LS), peso de 100 sementes (PS), produtividade total (PROD), teor de óleo nas sementes (TOS), densidade de estômatos nas epidermes adaxial (EAD) e abaxial (EAB), razão de clorofila *a* e *b* (Cl *a*/Cl *b*) e produtividade de óleo (PO) em diferentes populações de *J. curcas* encontradas naturalmente em diferentes regiões geográficas do Brasil.

Correlação Fenotípica												
Var.	DCP	APR	DS	CS	LS	OS	PROD	TOS	EAD	EAB	Cl _a /Cl _b	PO
DCL	0,50	-0,28	-0,24	0,01	0,07	-0,37	0,49	-0,31	0,16	0,46	0,07	-0,37
DCP		0,40	-0,15	-0,22	0,12	-0,36	0,97**	0,23	0,86*	-0,35	0,51	0,15
APR			0,16	-0,04	0,40	-0,10	0,33	-0,03	0,18	0,54	0,23	-0,10
DS				0,32	-0,20	0,51	-0,15	0,01	-0,12	-0,03	0,31	0,04
CS					0,44	0,46	-0,40	0,42	-0,29	-0,29	0,32	0,40
LS						0,16	0,02	-0,01	0,02	-0,55	-0,05	-0,08
OS							-0,55	0,06	-0,48	0,04	-0,03	0,15
PROD								0,35	0,55	-0,17	0,49	0,31
TOS									0,20	-0,50	0,38	0,51
EAD										-0,18	0,47	-0,45
EAB											-0,43	-0,44
Cl _a /Cl _b												-0,22

Significativo ao nível de 1% de probabilidade (P<0,01); * significativo ao nível de 5% de probabilidade (P<0,05).

Na análise de regressão múltipla mostrada na Tabela 4, observa-se que o modelo explicou 75% da variância da produtividade de *J. curcas*. Nesse modelo de regressão, o diâmetro da copa, número de inflorescência, densidade de estômatos na epiderme adaxial e comprimento de sementes foram as variáveis com maior contribuição para a produtividade de *J. curcas*.

Tabela 4. Modelo de regressão múltipla para avaliar a produtividade total pelo critério de Stepwise, utilizando as variáveis diâmetro da copa (DCP), número de inflorescência (NI), densidade de estômatos na epiderme adaxial (EAD), comprimento das sementes (CS), teor médio de óleo nas sementes (TOS), peso de 100 sementes (PS); área foliar (AF); clorofilas totais [Cl(a+b)]; diâmetro do caule (DCL) e altura da planta (ALT).

Prod.	Explicação do modelo R ² = 0,75	F		P		
		F(10,33) = 13,94		P<0,001		
	Beta	Std.Err.	B	Std.Err	t(33)	p-level
Intercept			-3,34	0,83	-4,03	0,001
DCP (cm)	0,40	0,12	0,17	0,05	3,30	0,002**
NI	0,23	0,11	0,01	0,00	2,13	0,040*
EAD (mm ⁻²)	0,32	0,09	0,01	0,00	3,46	0,002**
CS (mm)	0,42	0,13	0,16	0,05	3,31	0,002**
TOS (%)	0,14	0,08	0,02	0,01	1,69	0,100
PS (g)	-0,22	0,11	0,01	0,01	-1,93	0,062
AF (cm ²)	-0,15	0,09	-0,00	0,00	-1,59	0,121
Cl a+b (g kg ⁻¹)	0,12	0,09	0,01	0,01	1,37	0,179
DCL (cm)	0,11	0,09	0,00	0,00	1,31	0,197
ALT (m)	0,14	0,11	0,09	0,07	1,27	0,211

** significativo ao nível de 1% de probabilidade (P<0.01); * significativo ao nível de 5% de probabilidade.

Na análise de componentes principais observou-se que foi necessário apenas os dois primeiros componentes para explicar 70% da variação dos dados obtidos. O CP1 explica 50% da variação e as variáveis que mais contribuíram para a ordenação das populações de pinhão manso foram diâmetro de copa, número de inflorescência, flores femininas, masculinas, hermafroditas, produtividade de sementes e de óleo, sendo que as populações de GO, RO, RN, MT e CE apresentaram os maiores valores destas variáveis (Figura 2). O CP2 explica 20% da variação dos dados e apenas a variável clorofila total contribuiu de forma significativa para a formação do segundo eixo, sendo que as populações de GO, RO, MT e MG apresentaram os maiores valores desta variável, conforme observado na figura 2.

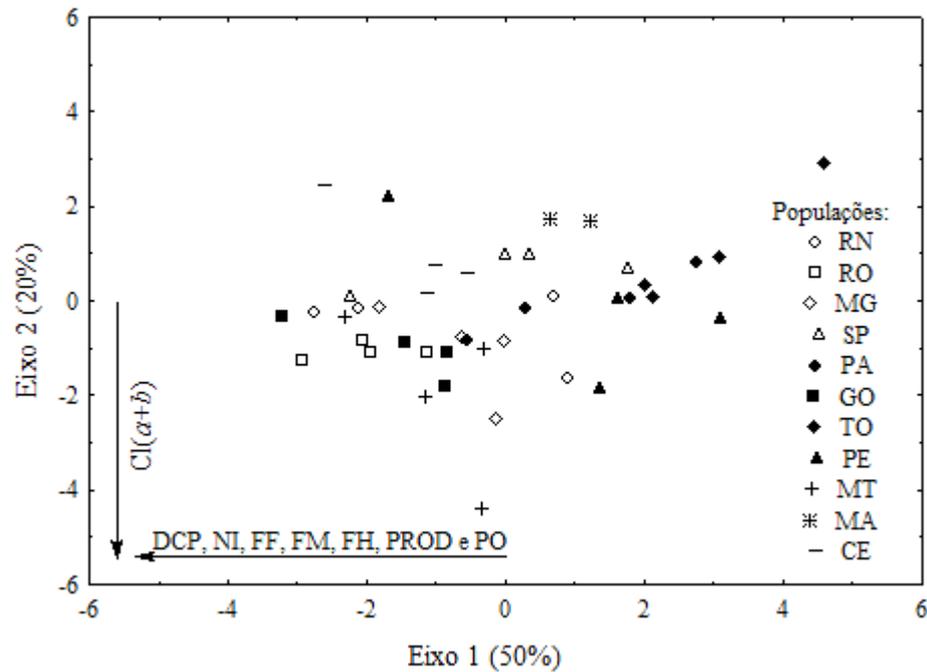


Figura 2. Análise de componentes principais (CP) para a diversidade morfofisiológicas de populações de *J. curcas*. As setas indicam os sentidos em que cada variável aumenta em relação aos eixos, selecionando aquelas com contribuição acima de 70%. As formas e cores dos ícones representam as populações de *J. curcas* encontradas naturalmente em diferentes regiões geográficas do Brasil.

A análise de agrupamento (Figura 3) baseado na distância de Mahalanobis classificou as populações de *J. curcas* em dois grupos, no qual foi possível verificar dissimilaridade entre os grupos gerados no ponto de corte da distância de ligação igual a 553,60 (100%), com coeficiente de correlação cofenética de 0,82. Observa-se ainda que o primeiro grupo foi o que agregou a maioria dos materiais de *J. curcas*, constituídos pelos estados de MT, CE, PE, TO, MA, PA, GO e SP. O segundo grupo foi constituído pelos estados de RO, MG e RN, evidenciado a discrepância deste material quando comparado com os de outros estados.

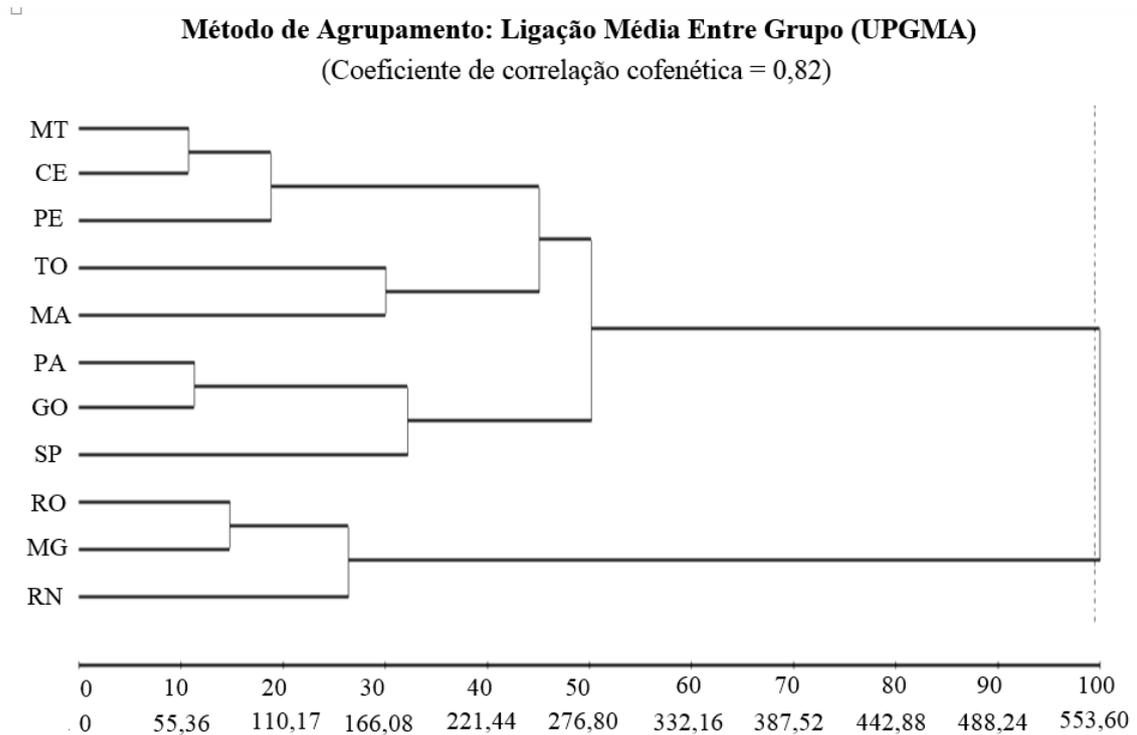


Figura 3. Dendrograma baseado na distância de Mahalanobis (D^2) pelo método de agrupamento UPGMA de 24 variáveis analisadas em populações de *J. curcas* de diferentes regiões geográficas do Brasil.

A análise da plasticidade fenotípica (Tabela 6) demonstrou que as variáveis morfológicas apresentaram maior coeficiente de plasticidade (0,37) em relação às variáveis fisiológicas (0,09) e produtivas (0,10), com média geral para os caracteres morfofisiológicos de 0,20. Dentre as variáveis morfológicas e produtivas as que apresentaram maiores valores de plasticidade fenotípica foram: flores assexuadas (0,67), hermafroditas (0,59), femininas (0,53), masculinas (0,52), número de inflorescência por planta (0,48), produtividade de óleo (0,32) e de sementes (0,31). As variáveis fisiológicas apresentaram reduzido índice de plasticidade fenotípica, para as características em estudo.

Tabela 6. Distância relativa do índice de plasticidade para características morfológicas e fisiológicas/produativas em diferentes populações de *J. curcas*.

Características Morfológicas	Índice de plasticidade
Densidade estomática abaxial	0,06 d
Densidade estomática adaxial	0,13 d
Área foliar específica	0,13 d
Área foliar	0,11 d
Inflorescência	0,48 b
Flores femininas	0,53 b
Flores masculinas	0,52 b
Flores hermafroditas	0,59 a
Flores assexuadas	0,67 a
Média	0,37 A
Características Fisiológicas	
Número de ramos	0,08 d
Altura da planta	0,05 d
Altura do primeiro ramo	0,13 d
Diâmetro do caule	0,09 d
Diâmetro da copa	0,08 d
Carotenoides	0,10 d
Razão de clorofila <i>a</i> e <i>b</i>	0,07 d
Clorofilas totais	0,09 d
Média	0,09 C
Características Produtivas	
Comprimento das sementes	0,01 d
Largura das sementes	0,01 d
Diâmetro das sementes	0,01 d
Peso de 100 sementes	0,02 d
Produtividade total de sementes	0,31 c
Teor médio de óleo nas sementes	0,02 d
Produtividade de óleo	0,32 c
Média	0,10 C
Média Geral	0,20 B

Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($P < 0,05$).

6 DISCUSSÃO

Os resultados obtidos evidenciaram razoável variabilidade entre as populações de *J. curcas* e corroboram aos encontrados por Freitas (2010) e Reis et al. (2015) quando avaliaram a diversidade genética em diferentes acessos de *J. curcas* com base em descritores agronômicos. Em adição, o presente trabalho relata a existência da plasticidade fenotípica em populações de *J. curcas*.

A correlação fenotípica entre o diâmetro da copa e produtividade de sementes associada a significativa contribuição do diâmetro da copa e produtividade verificada na análise de regressão múltipla indica que o diâmetro da copa pode ser utilizada como descritor em programas de melhoramento genético de plantas (LAVIOLA et al., 2011). Reis et al. (2015) ao avaliarem diversidade genética em plantas de *J. curcas*, concluíram que o descritor diâmetro da copa é de suma importância para o melhoramento da espécie. De acordo com Spinelli et al. (2010), o maior desenvolvimento da copa é capaz de elevar a produtividade da planta de *J. curcas*.

A correlação entre o diâmetro da copa e densidade de estômatos na epiderme adaxial está associada com o auto sombreamento em plantas com alto diâmetro de copa e índice de área foliar. O auto sombreamento cria condições locais (menor incidência de radiação direta, menor temperatura, alta umidade, alta camada limítrofe) adequadas ao influxo de CO₂ e baixa transpiração. Nestas condições as folhas são maiores e apresentam altas densidades estomáticas na epiderme adaxial para maximizar as trocas gasosas e consequentemente aumentar a produtividade (HSIE, 2013). Castro et al. (2009) pesquisando histologia vegetal relataram que maiores quantidades de estômatos nas folhas elevam as trocas gasosas e disponibilizam mais CO₂ no interior dos espaços aéreos foliares, contribuindo para a otimização da fotossíntese e aumentos significativos na produtividade.

O número de inflorescência exerce importância determinante na produtividade de sementes por interferir decisivamente na quantidade de frutos. Em *J. curcas* as inflorescências localizam-se no ápice dos ramos e em inúmeros trabalhos o número de inflorescências e/ou número de ramos estão correlacionados com a produtividade. Segundo Drumond et al. (2010) as inflorescências são de suma importância para a produtividade de plantas de *J. curcas*. A importância do comprimento da semente na produtividade está na sua correlação direta com o peso da semente. Segundo Rocha et al. (2012) o diâmetro da copa, número de inflorescências,

densidade de estômatos na epiderme adaxial e comprimento das sementes são atributos quantitativos e de forte influência ambiental, capazes de diferenciar os genótipos ao longo dos anos.

A análise de componente principal não identificou a formação de grupos entre as populações de *J. curcas*, comprovando que as variáveis fisiológicas, morfológicas e produtivas analisadas apesar de serem oriundas de diferentes regiões do Brasil, os materiais apresentam variações intra e inter populacional. Resultados contraditórios foram obtidos por One et al. (2014) ao estudarem a diversidade fenotípica e genotípica em pinhão manso, enquanto Osorio et al. (2014) encontraram alta variação fenotípica em *J. curcas* na América Central em comparação com a África, Ásia e América do Sul.

A análise de agrupamento comprovou a existência de diversidade entre as populações de *J. curcas*, com a formação de dois grupos, evidenciando que a base genética do pinhão manso encontradas em diferentes regiões do Brasil é estreita, possivelmente pelo fato desses materiais analisados serem oriundos de poucas populações ou que tenha ocorrido troca de sementes após introdução no Brasil (KANCHANAKETU et al., 2012). Segundo Reis et al. (2015) é necessário a introdução de materiais oriundos de outros países para se obter maior diversidade. Maurya et al. (2013) ao avaliarem a variabilidade e a divergência genética de 80 acessos de *J. curcas* coletados em diferentes estados da Índia obtiveram a formação de 4 grupos pela análise de agrupamento por Mahalanobis, preconizando a existência de diversidade para os caracteres morfoagronômicos. Resultados semelhantes foram obtidos por Brasileiro et al. (2013) ao avaliarem as características vegetativas e produtivas de 800 plantas de *J. curcas*, no qual obtiveram a formação de quatro grupos distintos.

Embora, as análises tenham evidenciado razoável diversidade entre as populações de *J. curcas* oriundas de diferentes regiões geográficas do Brasil, a análise descritiva e o índice de plasticidade fenotípica apresentaram variações significativas em inúmeras variáveis morfológicas, fisiológicas e produtivas. Segundo Fuzeto e Lomônaco (2000) populações que ocupam ambientes heterogêneos apresentam grande potencial plástico em suas características externas (fenótipo) sem que mudanças genotípicas sejam necessárias. As variações detectadas confirmam a atuação da plasticidade como mecanismo gerador de variabilidade fenotípica e aponta sua importância nos processos adaptativos e evolutivos da espécie, visto que as mudanças produzidas facilitam a exploração de novos nichos, resultando no aumento da tolerância ambiental (VIA, 1993).

A plasticidade morfológica nas populações de *J. curcas* ocorreu principalmente em função dos fatores ambientais, sofrendo influências genéticas, existindo, inclusive, variabilidade para a plasticidade fenotípica propriamente dita. As variáveis morfológicas são mais propícias as modificações anatômicas, e segundo Gilbert (2016) as inflorescências, flores masculinas, femininas e hermafroditas são estruturas sensíveis a mutações e a alterações do meio externo, os resultados obtidos neste estudo comprovam que essas variáveis são altamente plásticas. Entretanto, as variáveis fisiológicas apresentaram baixo índice de plasticidade fenotípica, provavelmente, em função da similaridade entre as populações de pinhão manso encontradas naturalmente em diferentes regiões geográficas do Brasil.

A plasticidade produtiva pode ser verificada no presente estudo, no qual é possível observar as interações entre a produção de sementes e de óleo com as condições ambientais, evidenciando que as plantas de *J. curcas* tem elevada plasticidade, podendo variar em maior ou menor intensidade conforme as condições de cultivos. Os resultados deste trabalho corroboram com os obtidos por Drumond et al. (2010) e Lal et al. (2004) quando avaliaram o desempenho agrônomo em genótipos de *J. curcas* encontrando amplas variações para as variáveis em estudo.

Vale salientar a importância da plasticidade fenotípica nos processos biológicos. Nesse contexto as variáveis morfofisiológicas são influenciadas por fatores ambientais como a temperatura, a intensidade de luz e a disponibilidade de água. E esta habilidade que as plantas possuem em alterar caracteres fenotípicos em decorrência da interação com o ambiente pode contribuir para a sua estabilidade funcional, principalmente, quando a plasticidade age sobre caracteres ligados à sobrevivência da espécie (FUZETO e LOMÔNACO, 2000).

7 CONCLUSÃO

As populações de *J. curcas* apresentam razoável variabilidade fenotípica e as variáveis morfofisiológicas podem ser utilizadas em programas de melhoramento da espécie.

A análise de plasticidade confirma a atuação das variáveis morfológicas, fisiológicas e produtivas como mecanismo gerador de variabilidade fenotípica.

O diâmetro da copa contribui no aumento da produtividade em *J. curcas*, podendo ser utilizado como descritor em programas de melhoramento da espécie.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACKERLY, D. D.; DUDLEY, S. A.; SULTAN, S. E.; SCHIMMITT, J.; COLEMAN, J. S.; LINDER, C. R.; SANDQUIST, D. R.; GEBER, M. A.; EVANS, A. S.; DAWSON, T. E.; LECHOWISC, M. J. The evolution of plant ecophysiological traits: recent advances and future directions. **Bioscience**, v. 50, n. 11, p. 979-995, 2000.

ANP (2015) **Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis**. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/?id=472>> Acesso em: 16 out. 2015.

BRASILEIRO, B. P.; SILVA, S. A.; SOUZA, D. R.; SANTOS, P. A.; OLIVEIRA, R. S.; LYRA, D. H. Genetic diversity and selection gain in the physic nut (*Jatropha curcas*). **Genetics and Molecular Research**, v. 12, n. 3, p. 2341-2350, 2013.

CASTRO, E. M.; PEREIRA, F. J.; PAIVA, R. **Histologia vegetal: estrutura e função de órgãos vegetativos**. Lavras: UFLA, 234 p., 2009.

CONSTANTINO, A. F., LACERDA JR, V., SANTOS, R. B., GRECO, S. J., SILVA, R. C., NETO, A. C., BARBOSA, L.; CASTRO, E. V. R.; FREITAS, J. C. Análise do teor e da qualidade dos lipídeos presentes em sementes de oleaginosas por RMN de baixo campo. **Química Nova**, v. 37, n. 1, p. 10-17, 2014.

CONTRAN, N.; CHESSA, L.; LUBINO, M.; BELLAVITE, D.; ROGGERO, P.P.; ENNE, G. State of the art of the *Jatropha curcas* productive chain, from sowing to biodiesel and by-products. **Industrial Crops and Products**, v. 42, n. 1, p. 202–215, 2013.

CRUZ, C.D. Genes – a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.35, n.3, p.271-276, 2013.

DEHGAN, B.; WEBSTER, G. L. **Morphology and infrageneric relationships of the genus *Jatropha* (Euphorbiaceae)**. Univ of California Press, v. 74, 1979.

DRUMOND, M. A.; SANTOS, C. A. F.; OLIVEIRA, V. R.; MARTINS, J. C.; ANJOS, J. B.; EVANGELISTA, M. R. V. Desempenho agrônomo de genótipos de pinhão manso no Semiárido pernambucano. **Ciência Rural**, v. 40, n. 1, p. 44-47, 2010.

DURÃES, F. O. M.; LAVIOLA, B. G.; ALVES, A. A. Potential and challenges in making physic nut (*Jatropha curcas* L.) a viable biofuel crop: the Brazilian perspective. **Plant Sciences Reviews** 2011, p. 179, 2012.

EMBRAPA. Centro nacional de pesquisa de solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2.ed. Rio de Janeiro: **Embrapa Solos**, 306 p., 2006.

FAO. **Food and Agriculture Organization of the United Nations *Jatropha* a Smallholder Bioenergy Crop. The Potential for Pro-Poor Development**; FAO, Integrated Crop Management: Rome, Italy, v. 8, p. 1–114, 2010.

FREITAS, R. G. **Caracterização de germoplasma de pinhão manso (*Jatropha curcas* L.) por descritores morfo-agronômicos**. Dissertação (Mestrado em Fisiologia Vegetal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 70p., 2010.

- FUZETO, A. P.; LOMÔNACO, C. Potencial plástico de *Cabralea canjerana* subsp. *polytricha* (Adr. Juss.) Penn. (Meliaceae) e seu papel na formação de ecótipos em área de cerrado e vereda, Uberlândia, MG. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 23, n. 2, p. 169-176, 2000.
- GILBERT, S, F. Chapter Twenty-Two-Developmental Plasticity and Developmental Symbiosis: The Return of Eco-Devo. **Current topics in developmental biology**, v. 116, p. 415-433, 2016.
- GINWAL, H. S.; PHARTYAL, S. S.; RAWAT, P. S.; SRIVASTAVA, R. L. Seed source variation in morphology, germination and seedling growth of *Jatropha curcas* Linn. In Central India. **Silvae Genetica**, Frankfurt, v.53, n.2, p.76-80, 2005.
- GONDIM, T. M. S.; BELTRÃO, N. E. M.; PEREIRA, W. E.; OLIVEIRA, A. P.; SILVA FILHO, J. L. Plasticidade fenotípica da mamoneira precoce sob diferentes arranjos espaciais em consórcio com feijão caupi. **Revista Ciência Agronômica**, v. 45, n. 1, p. 128-137, 2014.
- HSIE, B. S. D. **Perfil morfofisiológico de plantas de *Jatropha curcas* L. cultivadas em campo sob diferentes condições ambientais**. Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 56p., 2013.
- JADRNÁ, P.; KOBZA, F.; PLAVCOVÁ, O. Polyploidization of *Pelargonium x hortorum* L. H. Bailey in greenhouse conditions. **Horticultural Science**, v.36, n.1, p.31-37, 2009.
- KANCHANAKETU, T.; SANGDUEN, N.; TOOJINDA, T.; HONGTRAKUL1, V. Genetic diversity analysis of *Jatropha curcas* L. (Euphorbiaceae) based on methylation-sensitive amplification polymorphism. **Genetics and Molecular Research**, v. 11, n. 2, p. 944-955, 2012.
- KAUSHIK, N.; KUMAR, K.; 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.
- KHEIRA, A. A. A.; ATTA, N. M. M. Response of *Jatropha curcas* L. to water deficits: Yield, water use efficiency and oilseed characteristics. **Biomass and Bioenergy**, v. 33, n. 10, p. 1343–1350, 2009.
- LAL, S. B.; MEHERA, B.; CHANDRA, R.; LARKIN, A. Performance evaluation of *Jatropha curcas* in different districts of Uttar Pradesh. **New Agriculturist**, v. 15, n. 1/2, p. 141-144, 2004.
- LAVIOLA, B. G.; ALVES, A. A.; GURGEL, F. D.; ROSADO, T. B.; ROCHA, R. B.; ALBRECHT, J. C. Estimates of genetic parameters for physic nut traits based in the gemplasm two years evaluation. **Ciência Rural**, v. 42, n. 3, p. 429-435, 2012.
- 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.
- LAVIOLA, B. G.; ROSADO, T. B.; BHERING, L. L.; KOBAYASHI, A. K.; RESENDE, M. D. V. Genetic parameters and variability in physic nut accessions during early developmental stages. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 10, p. 1117-1123, 2010.
- MANCILLAS, R. G.; LÓPEZ, J. F. J.; NAVARRO, L. A. A.; HERNÁNDEZ, B. R.; PEÑA, A. G. Zonificación edafoclimática para el cultivo de *Jatropha curcas* L., en Tabasco, México.

Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM, v. 1, n. 86, p. 25-37, 2015.

MASTAN, S. G.; SUDHEER, P. D. V. N.; RAHMAN, H.; GHOSH, A.; RATHORE, M. S.; PRAKASH, C. R.; CHIKARA, J. Molecular characterization of intra-population variability of *Jatropha curcas* L. using DNA based molecular markers. **Molecular Biology Reports**, v. 39, n. 4, p. 4383–4390, 2012.

MATOS, F. S.; CARVALHO, D. D. C.; SOUZA, A. C.; NEVES, T. G.; CRUVINEL, C. K. L.; ROSA, V. R.; SANTOS, P. G. F. Viabilidade agrônômica do consórcio entre pinhão manso e soja. **Revista Agrarian**, v.7, n. 24, p.226-232, 2014.

MATOS, F. S.; WOLFGRAMM, R.; GONÇALVES, F. V.; CAVATTE, P. C.; VENTRELLA, M. C.; DAMATTA, F. M. Phenotypic plasticity in response to light in the coffee tree. **Environmental and Experimental Botany**, v. 67, p. 421-427, 2009.

MAURYA, R.; VERMA, S.; GUPTA, A.; SINGH, B.; YADAV, H. K. Genetic variability and divergence analyses in *Jatropha curcas* based on floral and yield traits. **Genetika**, v. 45, n. 3, p. 655-666, 2013.

ONE, K. T.; TANYA, P.; MUAKRONG, N.; LAOSATIT, K.; SRINIVES, P. Phenotypic and genotypic variability of F₂ plants derived from *Jatropha curcas* x *integerrima* hybrid. **Biomass and Bioenergy**, v. 67, n. 1, p. 137-144, 2014.

OPENSHAW, K. A review of *Jatropha curcas*: an oil plant of unfulfilled promise. **Biomass and Bioenergy**, v.19, n. 1, p.1-15, 2000.

OSORIO, M. L. R.; SALVADOR, A. F. T.; JONGSCHAAP, R. E. E.; PEREZ, C. A. A.; SANDOVAL, J. E. B.; TRINDADE, L. M.; VISSER, R. G. F.; LOO, E. N. High level of molecular and phenotypic biodiversity in *Jatropha curcas* from Central America compared to Africa, Asia and South America. **BMC plant biology**, v. 14, n. 1, p. 77, 2014.

PEREIRA, J. C. S.; FIDELIS, R. R.; ERASMO, E. A. L.; SANTOS, P. M.; BARROS, H. B.; CARVALHO, G. L. Florescimento e frutificação de genótipos de pinhão manso sob doses de fósforo no cerrado da Região Sul do Tocantins. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, v. 2, n. 2, p. 28-36, 2011.

R CORE TEAM, R: A language and environment for statistical computing, R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, **Disponível em:** <<http://www.R-project.org/>>. Acesso em: 19 ago. 2015.

RADFORD, P. J. Growth analysis formulae: their use and abuse. In: NAKAZONO, E. M.; COSTA, M. C.; FUTATSUGI, K.; PAULILO, M. T. S. Análise comparativa de crescimento entre genótipos de pimenta cultivados em casa de vegetação. **Bioscience Journal**, v. 29, n. 1, p. 125-131, 2013.

RAFFI, M. Y.; AROLU, I. W.; OMAR, M. H. A.; LATIF, M. A. Genetic variation and heritability estimation in *Jatropha curcas* L. population for seed yield and vegetative traits. **Journal of Medicinal Plants Research**, v.6, n.11, p.2178-2183, 2012.

REIS, M. V. M.; DAMASCENO JUNIOR, P. C.; CAMPOS, T. O.; DIEGUES, I. P.; FREITAS, S. C. Variabilidade genética e associação entre caracteres em germoplasma de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.). **Revista Ciência Agrônômica**, v. 6, n. 2, p. 412-420, 2015.

- ROCHA, R. B.; RAMALHO, A. R.; TEIXEIRA, A. L.; LAVIOLA, B. G.; SILVA, F. C. G.; MILITÃO, J. S. L. T. Eficiência da seleção para incremento do teor de óleo do pinhão-manso. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 1, p. 44-50, 2012.
- SANTOS, M. D.; TEJEDOR, M.; JIMÉNEZ, C.; HERNÁNDEZ-MORENO, J. M.; PALACIOS-DÍAZ, M. P.; DÍAZ, F. J. Recycled urban wastewater for irrigation of *Jatropha curcas* L. in abandoned agricultural arid land. **Sustainability**, v. 6, n. 10, p. 6902-6924, 2014.
- SEVERINO, L. S.; VALE, L. S.; BELTRÃO, N. E. M. Método para medição da área foliar do pinhão manso. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**, Campina Grande, v. 14, n. 1, p. 73-77, 2006.
- SOKAL, R. R.; ROHLF, F. J. (1969). **The principles and practice of statistics in biological research**. San Francisco: WH Freeman and company, Fourth edition, p. 222-223, 1969.
- SORRELL, S.; MILLER, R.; BENTLEY, R.; SPEIRS, J. Oil futures: a comparison of global supply forecasts. **Energy Policy**, v. 38, n. 9, p. 4990-5003, 2010.
- SPINELLI, V. M.; ROCHA, R. B.; RAMALHO, A. R.; MARCOLAN, A. L.; VIEIRA JÚNIOR, J. R.; FERNANDES, C. F.; MILITÃO, J. S. L. T.; DIAS, L. A. S. Componentes primários e secundários do rendimento de óleo de pinhão-manso. **Ciência Rural**, v. 40, n. 8, p. 1752-1758, 2010.
- SUDHEER-PAMIDIMARRI, D. V.; MASTAN, S. G.; RAHMAN, H.; REDDY, M. P. Molecular characterization and genetic diversity analysis of *Jatropha curcas* L. in India using RAPD and AFLP analysis. **Molecular Biology Reports**, v. 37, n. 5, p. 2249-2257, 2010.
- SURWENSHI, A.; KUMAR, V.; SHANWAD, U. K.; JALAGERI, B. R. Critical review of diversity in *Jatropha curcas* for crop improvement: a candidate biodiesel crop. **Research Journal of Agricultural Science**, v. 2, n. 2, p. 193-198, 2011.
- TERREN, M.; SAVERYS S.; DE HAVESKERCKE.; JACQUET, P.; TOUSSAINT, A.; BAUDOIN, P.; LOCHT, F.; MERGEAI, G. Study of agronomic constraints to the dissemination of the cultivation of *Jatropha curcas* L. in Senegal. **Communications in Agricultural and Applied Biological Sciences**, v. 77, n. 1, p. 245-249, 2012.
- VALLADARES, F.; SANCHEZ-GOMEZ, D.; ZAVALA, M. A. Quantitative estimation of phenotypic plasticity: bridging the gap between the evolutionary concept and its ecological applications. **Journal of ecology**, v. 94, n. 6, p. 1103-1116, 2006.
- VIA, S. Adaptive phenotypic plasticity: target or byproduct of selection in a variable environment. **The American Naturalist**, v. 142, n. 1, p. 352-365, 1993.
- WELLBURN, A.R. The spectral determination of chlorophylls a and b, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution. **Journal of Plant Physiology**, Jena, v. 144, n. 3, p. 307-313, 1994.