

## Variabilidade genética e associação entre caracteres em germoplasma de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.)<sup>1</sup>

Genetic variability and association between characteristics in germplasm of the physic nut (*Jatropha curcas* L.)

Marcus Vinicius Magro Reis<sup>2</sup>, Pedro Corrêa Damasceno Junior<sup>2\*</sup>, Thaís de Oliveira Campos<sup>2</sup>, Isabela Pereira Diegues<sup>2</sup> e Sidinea Cordeiro de Freitas<sup>3</sup>

**RESUMO** - A oleaginosa pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) tem se mostrado uma importante alternativa à produção de biodiesel no Brasil. Objetivando-se conhecer a variabilidade genética existente na Coleção de germoplasma da UFRRJ, e também identificar genótipos de desempenho superior, portadores de atributos importantes ao melhoramento, 60 acessos de *J. curcas*, aos três anos de idade, foram caracterizados a partir de 12 descritores morfo-agronômicos. A descrição indicou que as características produção de óleo e projeção da copa se mostraram como as de maior variabilidade genética, ao passo que os atributos intrínsecos às sementes apresentaram os menores valores de variação. A decomposição das correlações, via análise de trilha, evidenciou importantes associações entre a altura de plantas, a projeção da copa, o número de ramos, o tempo de formação do fruto e o teor de óleo sobre a produção de óleo por planta. Tal resultado corroborou a possibilidade destas características, na Coleção de germoplasma da UFRRJ, serem adotadas como critério de seleção indireta para a obtenção de genótipos mais produtivos, com porte reduzido e menor período de colheita. Pela análise de componentes principais se identificou a produção de óleo e o número de ramos como as características que mais contribuíram para a variação observada. Os agrupamentos de Tocher e UPGMA promoveram a formação de sete e oito grupos dissimilares de genótipos, respectivamente, apresentando a possibilidade de serem envolvidos em futuros cruzamentos, e revelando a existência de uma considerável variabilidade para as características avaliadas.

**Palavras-chave:** Análise de trilha. Biodiesel. Melhoramento genético. Recursos genéticos. UPGMA.

**ABSTRACT** - The oilseed plant *Jatropha* (*Jatropha curcas* L.) has proven to be an important alternative for the production of biodiesel in Brazil. The aim was to understand genetic variability in the germplasm collection of UFRRJ as well as identify superior genotypes, carriers of important attributes for breeding. For this, 60 accessions of *J. curcas*, each of three years of age, were characterized based on 12 morpho-agronomic descriptors. This description showed that the characteristics for oil yield and canopy projection proved to have the most genetic variability, whereas intrinsic seed attributes showed the lowest variation. Correlation decay by path analysis, showed important associations between plant height, canopy projection, number of branches, time of fruit formation and oil content in the production of oil per plant. This result confirmed the possibility of such characteristics in the germplasm collection of UFRRJ being adopted as a basis for indirect selection in obtaining more productive genotypes of reduced size and shorter harvest season. Principal components analysis identified oil production and the number of branches as being the characteristics that most contributed to the observed variation. The clustering methods of Tocher and UPGMA generated seven and eight dissimilar genotype groups respectively, showing the possibility of their being involved in future crosses, and revealing considerable variability in the evaluated traits.

**Key words:** Path analysis. Biodiesel. Genetic Improvement. Genetic resources. UPGMA.

DOI: 10.5935/1806-6690.20150021

\*Autor para correspondência

<sup>1</sup>Recebido para publicação em 17/12/2013; aprovado em 09/01/2015

Parte da Dissertação de Mestrado do primeiro autor apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia da UFRRJ

<sup>2</sup>Departamento de Fitotecnia, Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica-RJ, Brasil, 23.890-000, marcus.ufrj@gmail.com, damascenojunior2009@gmail.com, thaiscampospb@gmail.com, dieguesisabela@hotmail.com

<sup>3</sup>Embrapa, Centro Nacional de Pesquisa de Tecnologia Agroindustrial de Alimentos, Laboratório de Físico-química, Guaratiba-RJ, Brasil, sidi@ctaa.embrapa.br

## INTRODUÇÃO

A elevada demanda energética, assim como a intensa poluição gerada por derivados petrolíferos, têm estimulado uma crescente pesquisa por fontes renováveis e de menor impacto ambiental. Nesse contexto, a espécie monóica e diplóide ( $2n = 2x = 22$ ) *Jatropha curcas* (CARVALHO *et al.*, 2008; CHANG-WEI *et al.*, 2007), comumente conhecida como pinhão-mansão, se destaca por ser perene e possuir um óleo de excelente qualidade para a produção de biodiesel (HELLER, 1996).

Pertencente à família Euphorbiaceae, o gênero *Jatropha* possui cerca de 175 espécies registradas, entre as quais *J. curcas*, considerada sua forma mais primitiva (DEHGAN; WEBSTER, 1979). Segundo Dias, Missio e Dias (2012), o pinhão-mansão tem seu provável centro de origem na América Central, mais especificamente no México. Caracterizada pelo rápido crescimento e por não competir com gêneros alimentícios, *J. curcas* ainda possui um óleo de alta qualidade físico-química, de caráter oléico-linoléico (WANI; KITCHLU; RAM, 2012), e teor variando entre 22 e 42% (SUNIL *et al.*, 2008). De acordo com Francis, Edinger e Becker (2005), sua produção anual pode variar entre 0,2 e 2,0 kg planta<sup>-1</sup> de grãos.

Apesar de promissora, a carência por variedades geneticamente melhoradas, que garantam tamanha potencialidade, bem como a heterogeneidade dos materiais cultivados, ainda fazem desta espécie uma promessa ao plantio em larga escala (DIAS; MISSIO; DIAS, 2012). Conforme Achten *et al.* (2010), *J. curcas* se trata de uma espécie não-domesticada. Para estes autores, um melhor entendimento sobre a diversidade existente em seu germoplasma pode contribuir substancialmente para o futuro desenvolvimento de cultivares melhoradas. Nesse sentido, características como a toxicidade presente em suas sementes (ésteres de forbol), a floração assíncrona, bem como a desuniformidade de maturação e produção, também devem ser geneticamente melhoradas para a exploração comercial da cultura (JOHNSON; ESWARAN; SUJATHA, 2011).

Tendo em vista que o sucesso de um programa de melhoramento reside, diretamente, na variabilidade do germoplasma disponível, a estimativa de sua diversidade faz-se essencial. Segundo Cruz e Carneiro (2003), a análise de diversidade permite a identificação de genitores divergentes e adequados à obtenção de híbridos de maior efeito heterótico. Para tal, a aplicação de técnicas estatísticas multivariadas, como a análise de agrupamento e componentes principais, possibilitam a diferenciação entre acessos e a otimização da coleção de germoplasma, promovendo um uso mais racional dos recursos genéticos disponíveis.

Outra importante análise para o melhoramento genético diz respeito ao estudo das correlações. Para Silva

*et al.* (2009), a correlação permite conhecer as modificações que ocorrem em uma determinada característica em função da seleção praticada em outra a esta relacionada. No entanto, Cabral *et al.* (2011) ressaltam que esta não admite tecer conclusões diretas sobre a relação causa e efeito das associações. Nessa perspectiva, Wright (1921) propôs a análise de trilha, capaz de desdobrar, em efeitos diretos e indiretos, as correlações estimadas, avaliando se estas possuem, ou não, influência de outras características.

Objetivou-se no presente trabalho conhecer a variabilidade genética existente entre 60 genótipos da Coleção de germoplasma de *J. curcas* da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), visando, a partir desta, à identificação de genótipos superiores, portadores de características importantes para o melhoramento da espécie.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Localização, germoplasma e condições experimentais

Toda fenotipagem foi realizada a partir de plantas pertencentes à Coleção de germoplasma de *J. curcas* do Departamento de Fitotecnia, Instituto de Agronomia da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), localizada no município de Seropédica (22° 45' S; 43° 41' W), Estado do Rio de Janeiro (RJ). A área experimental cultivada se encontra ao nível do mar e o solo à classe dos Planossolos Háplicos. Segundo a classificação de Köppen, o clima da região enquadra-se no tipo Aw, sendo caracterizado pela alternância entre a estação chuvosa no verão e seca durante o inverno.

Os dados aqui apresentados foram coletados entre setembro de 2011 e maio de 2012, em 60 acessos, plantados em espaçamento 4 x 2 m, de 12 diferentes procedências e conhecido produtivos aos três anos de idade (Tabela 1).

### Caracterização fenotípica

Baseado nas recomendações do *Guidelines for the development of crop descriptor lists* (BIOVERSITY INTERNATIONAL, 2007), 12 descritores morfo-agronômicos, relativos a aspectos vegetativos, reprodutivos e ao teor e produção de óleo, foram desenvolvidos e aplicados para *J. curcas* (Tabela 2).

Os descritores APD, PCO, DCA, CRP e CERp foram mensurados com o auxílio de fita métrica e trena graduada, enquanto os descritores CMS, LSE e PMSs foram medidos com paquímetro e balança digitais, esta última com precisão de 0,01 g. A determinação de lipídeos para quantificação do teor de óleo foi baseada no método 945.38 do *Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists* (AOAC, 2010), a partir de frutos em estágio amarelo de maturação. Após despulpados,

**Tabela 1** - Procedência, identificação e número por procedência dos 60 acessos de *J. curcas* da Coleção de germoplasma da UFRRJ definidos para caracterização

Procedência	Identificação dos acessos UFRRJ	Nº de acessos
Janaúba - MG	860 / 869 / 874 / 872 / 346 / 858 / 875 / 878 / 863 / 890 / 864 / 861 / 385 / 876 / 059 / 856 / 857	17
Dourados - MS	825 / 807 / 900 / 991 / 911 / 337 / 393 / 908 / 932 / 955 / 905 / 910 / 824 / 820	14
Petrolina - PE	002 / 376 / 912 / 828 / 931 / 831 / 849 / 024	8
CNPS - MA	371 / 356 / 058 / 331	4
Lavras - Lote 000 - MG	399 / 332 / 005 / 330	4
Lavras - Lote 210 - MG	357 / 345 / 328	3
Rio das Flores - RJ	321 / 343	2
Rio Verde - GO	383 / 053	2
Barra dos Bugres - MT	003 / 344	2
Bom Jardim - RJ	355 / 386	2
Guapimirim - RJ	341	1
Jaíba - MG	062	1

**Tabela 2** - Descritores e respectivas metodologias desenvolvidas para a caracterização de 60 acessos de *J. curcas* da Coleção de germoplasma da UFRRJ

Descritor	Metodologia
Altura de plantas desenvolvidas (APD)	Medida (em cm) entre a base do caule (solo) e a extremidade superior do ramo mais alto
Projeção da copa (PCO)	Estimada (em m <sup>2</sup> ) através da fórmula: [(PCOn + PCOs) x (PCOl + PCOo)] / 2, sendo PCOn, PCOs, PCOl e PCOo, respectivamente, as projeções da copa nos sentidos Norte, Sul, Leste e Oeste. Para tal, cada valor de projeção (em m) deve ser mensurado a partir da região central da base do caule até a projeção máxima do ramo em cada sentido
Diâmetro do caule (DCA)	Medido (em cm) na região do colo da planta a uma altura máxima de 10 cm da base do caule (solo)
Número de ramos totais (NRT)	Obtido pela quantificação do número total de ramos da planta
Comprimento de ramos primários (CRP)	Obtido (em cm) pela média das medidas efetuadas entre a base do ramo e sua extremidade superior nos 3 ramos primários de maior comprimento
Comprimento do entrenó de ramos primários (CERp)	Obtido (em cm) pela média das medidas efetuadas nos 3 ramos primários de maior comprimento, avaliando-se 6 entrenós na porção mediana de cada ramo primário
Tempo de formação do fruto (TFF)	Obtido (em dias) pela quantificação dos dias decorridos entre a antese floral e a formação do primeiro fruto amarelo da planta
Peso médio da semente seca (PMSs)	Obtido (em g) pela média do peso de todas as sementes (secas a 60 °C até peso constante) em relação ao número total de sementes produzidas pela planta
Comprimento da semente (CMS)	Obtido (em cm) pela média do comprimento de 50 sementes por planta
Largura da semente (LSE)	Obtido (em cm) pela média da largura de 50 sementes por planta
Teor de óleo da semente (TOS)	Obtido (em %) via extrator Soxhlet
Produção de óleo por planta (POP)	Obtido (em g planta <sup>-1</sup> ) pelo produto entre o teor de óleo da semente com a produção total de grãos por planta

suas sementes foram secas em estufa de circulação de ar a 60° C até peso constante. Posteriormente, estas foram trituradas e o óleo extraído em extrator Soxhlet por 16 h, utilizando éter de petróleo 30-60 °C como solvente. Por final, o solvente foi removido em rotavapor e sob corrente de nitrogênio. As análises relativas à extração do óleo foram realizadas no Laboratório de Físico-química da Embrapa Agroindústria de Alimentos, em Guaratiba, RJ.

### Análise de trilha e diversidade genética

Anterior à análise de trilha, uma análise descritiva auxiliou na identificação dos descritores que mais e menos variaram. A partir desta análise, em virtude das diferentes unidades de medidas, realizou-se a padronização dos dados originais, seguindo as recomendações de Cruz e Carneiro (2003). Na padronização, a média original  $X_{ij}$ , obtida pelo descritor  $j$  do acesso  $i$ , foi dividida pelo desvio-padrão ( $S_j$ ) do correspondente descritor  $j$ , gerando a média reduzida  $Z_{ij}$ , de variância unitária ( $Z_{ij} = X_{ij} / S_j$ ). Depois de padronizados, estes foram submetidos à análise de correlação fenotípica (Pearson) e em seguida ao teste de multicolinearidade (MONTGOMERY; PECK, 1981). De acordo com este diagnóstico, quando o número de condição (NC), que corresponde à razão entre o maior e o menor autovalor da matriz de correlação, for menor que 100, a multicolinearidade é classificada como fraca, não constituindo problemas à análise. Tendo detectado o grau de severidade, desdobrou-se, via análise de trilha, os efeitos diretos e indiretos de 11 variáveis explicativas (APD, PCO, DCA, NRT, CRP, CERp, TFF, PMSs, CMS, LSE e TOS) sobre o descritor POP (variável principal).

Com vistas à detecção dos descritores de maior contribuição para a variabilidade encontrada, uma análise de componentes principais foi procedida. Nesta, observou-se os caracteres de maior autovetor associados aos componentes que explicavam, aproximadamente, 80% da variação total (CRUZ; CARNEIRO, 2003; LÚCIO *et al.*, 2013). Por último, estimou-se a diversidade genética a partir da combinação entre a distância Euclidiana média e o método de agrupamento por otimização de Tocher, e para fim comparativo, entre a distância Euclidiana e o método hierárquico *Unweighted pair-group method using an arithmetic average* (UPGMA). O número ótimo de grupos foi concebido pela metodologia proposta por Kelley, Gardner e Sutcliffe (1996). A consistência do padrão de agrupamento foi dada pelo coeficiente de correlação cofenética (SOKAL; ROHLF, 1962), via Teste de Mantel com 1000 permutações.

Todas as análises realizadas no presente trabalho foram efetuadas nos softwares R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2011) e GENES (CRUZ, 2008).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores médios, mínimos e máximos, bem como os coeficientes de variação (CV), auxiliaram na detecção dos caracteres que mais e menos variaram. Através da Tabela 3, pode-se observar que o descritor vegetativo PCO, juntamente ao relativo à produção de óleo por planta (POP), apresentaram uma alta variabilidade fenotípica, apontada por coeficientes de

**Tabela 3** - Estatística descritiva de 12 descritores relativos a caracteres vegetativos, reprodutivos e ao teor e produção de óleo em 60 acessos de *J. curcas* da Coleção de germoplasma da UFRRJ

Caracteres	Descritores	Mínimo	Média	Máximo	CV	Variância	DP
Vegetativos	APD	179,00	241,92	305,00	10,05	591,23	24,31
	PCO	1,52	4,23	9,15	35,39	2,24	1,50
	DCA	8,60	11,16	13,80	10,47	1,37	1,17
	NRT	12,00	28,07	44,00	28,67	64,74	8,05
	CRP	121,00	177,92	255,00	16,74	887,37	29,79
	CERp	1,00	1,47	2,00	17,00	0,06	0,25
Reprodutivos, teor e produção de óleo	TFF	74,00	83,85	113,00	9,58	64,47	8,03
	PMSs	0,63	0,72	0,80	5,62	0,00	0,04
	CMS	1,73	1,80	1,92	2,53	0,00	0,04
	LSE	0,92	1,09	1,15	3,32	0,00	0,04
	TOS	26,60	37,40	40,35	5,89	4,86	2,20
	POP	9,07	182,58	561,35	60,00	11997,86	109,53

Legenda - APD: Altura de plantas desenvolvidas (cm); PCO: Projecção da copa (m<sup>2</sup>); DCA: Diâmetro do caule (cm); NRT: Número de ramos totais; CRP: Comprimento de ramos primários (cm); CERp: Comprimento do entrenó de ramos primários (cm); TFF: Tempo de formação do fruto (dias); PMSs: Peso médio da semente seca (g); CMS: Comprimento da semente (cm); LSE: Largura da semente (cm); TOS: Teor de óleo da semente (%); POP: Produção de óleo por planta (g planta<sup>-1</sup>); CV: Coeficiente de variação fenotípica (%); e DP: Desvio padrão

variação acima de 30%, de 35,39 e 60,00%, respectivamente. Em contrapartida, os descritores TFF, referente ao fruto, e PMSs, CMS, LSE e TOS, relativos a atributos intrínsecos às sementes, registraram os menores coeficientes de variação, reportando valores abaixo de 10%.

Apesar do baixo CV, é importante ressaltar que a média encontrada para TOS, de 37,40%, ainda se mostrou superior à observada por Wani, Kitchlu e Ram (2012), de 32,37%, em germoplasma indiano de *J. curcas*. Assim como a média, a amplitude desta variável também se apresentou maior em relação à relatada por Kaushik *et al.* (2007) e Rocha *et al.* (2012), seguidamente de 28,80 a 38,90% e 27,01 a 40,20%, e dentro da faixa descrita por Sunil *et al.* (2008), de 22 a 42%. Inferior à média aqui expressa, de 182,58 g planta<sup>-1</sup> de óleo, Biabani *et al.* (2012), avaliando genótipos indonésios de pinhão-manso, verificaram um valor médio de 122,50 g planta<sup>-1</sup> para o descritor POP, aos dois anos de idade, observando nestes um CV de 23,60%. Também em dissonância, Wani, Kitchlu e Ram (2012) registraram uma variação entre 77,60 e 220,30 g planta<sup>-1</sup> de óleo, diferente da amplitude aqui observada, de 9,07 a 561,35 g planta<sup>-1</sup> (Tabela 3). Segundo Spinelli *et al.* (2010), o maior desenvolvimento da copa pode aumentar a produtividade por planta, diminuindo os custos da colheita em *J. curcas*. Nesse sentido, infere-se que os resultados aqui descritos, pertinentes aos descritores

PCO e POP, se mostram de suma importância para o melhoramento da espécie. No entanto, vale lembrar que PCO e POP são atributos quantitativos e de forte influência ambiental, o que faz com que o desempenho dos genótipos possa se diferenciar ao longo dos anos, tornando-se necessário maiores avaliações sobre tal comportamento (ROCHA *et al.*, 2012).

Previamente à análise de trilha, o diagnóstico de multicolinearidade, proposto por Montgomery e Peck (1981), indicou um NC de 19,68, retratando um fraco grau de severidade (NC < 100) e, portanto, uma boa adequação da matriz de correlação utilizada na estimação dos coeficientes de trilha. Ilustrados na Tabela 4, estes coeficientes apontaram um moderado efeito direto sobre a produção de óleo, com destaque para o efeito positivo de PCO, DCA, NRT, CRP e TOS, e negativo de TFF e CMS, onde, com exceção de CMS e TOS, todos demonstraram correlação significativa sobre POP.

Segundo Rao *et al.* (2008), tanto o diâmetro quanto o volume da copa constituem, junto ao caractere número de ramos, os principais componentes de produção do pinhão-manso. Para estes autores, o incremento da produção é altamente dependente do maior número de ramos. Tal afirmação pode ser comprovada através das estimativas de efeito direto, de 0,41 e 0,26, seguidamente, de PCO e NRT sobre POP. Em concordância ao

**Tabela 4** - Resumo das estimativas de efeitos diretos e indiretos e correlação fenotípica de 11 variáveis explicativas sobre a Produção de óleo por planta (POP - variável principal) em 60 acessos de *J. curcas* da Coleção de germoplasma da UFRRJ

POP	Efeitos diretos (diagonal) e indiretos										
	APD	PCO	DCA	NRT	CRP	CERp	TFF	PMSs	CMS	LSE	TOS
APD	-0,07	0,14	0,09	0,13	0,10	-0,01	0,05	-0,00	-0,01	0,00	-0,06
PCO	-0,02	0,41	0,01	0,16	0,02	0,00	0,08	-0,01	-0,02	0,00	-0,07
DCA	-0,03	0,03	0,19	0,10	0,05	-0,00	0,01	-0,00	-0,06	-0,00	-0,04
NRT	-0,04	0,24	0,07	0,26	0,07	0,00	0,07	-0,01	-0,05	0,00	-0,04
CRP	-0,03	0,03	0,05	0,08	0,21	-0,00	0,05	-0,00	-0,01	0,00	0,01
CERp	-0,01	-0,06	0,01	-0,03	0,02	-0,03	-0,04	-0,00	-0,01	-0,00	-0,01
TFF	0,02	-0,16	-0,01	-0,09	-0,05	-0,01	-0,20	0,00	-0,04	-0,02	0,05
PMSs	-0,02	0,16	0,03	0,09	0,05	-0,00	0,04	-0,02	-0,11	0,01	0,06
CMS	-0,00	0,03	0,05	0,05	0,01	-0,00	-0,03	-0,01	-0,25	0,01	0,00
LSE	-0,00	0,02	-0,00	0,01	0,01	0,00	0,07	-0,00	-0,03	0,04	-0,03
TOS	0,01	-0,08	-0,03	-0,03	0,01	0,00	-0,03	-0,00	-0,00	-0,00	0,32
R	0,36*	0,57*	0,22	0,59*	0,39*	-0,17	-0,50*	0,29**	-0,15	0,08	0,16

Legenda - APD: Altura de plantas desenvolvidas; PCO: Projeção da copa; DCA: Diâmetro do caule; NRT: Número de ramos totais; CRP: Comprimento de ramos primários; CERp: Comprimento do entrenó de ramos primários; TFF: Tempo de formação do fruto; PMSs: Peso médio da semente seca; CMS: Comprimento da semente; LSE: Largura da semente; TOS: Teor de óleo da semente; POP: Produção de óleo por planta; e R: Coeficiente de correlação fenotípica (total) com a Produção de óleo por planta. Coeficiente de determinação = 0,68 e Efeito da variável residual = 0,57. \*\*, \* Significativo a 5% e 1% de probabilidade pelo teste *t*, respectivamente

resultado encontrado, Spinelli *et al.* (2010), estudando os componentes de produção, via análise de trilha, verificaram um efeito direto positivo (0,21) do número de ramos frente à produtividade de grãos em *J. curcas*.

Como a diminuição do período de colheita, concomitante ao aumento da produção, ainda são dois dos maiores alvos a serem melhorados no pinhão-manso, a correlação negativa significativa entre TFF e POP (-0,50) pode ser considerada de grande valia para a seleção de genótipos superiores, portadores destas características. Esta associação ainda demonstrou um efeito direto de -0,20 sobre POP. Dessa maneira, observou-se que plantas de maior produção também atingiram a maturação (estádio amarelo de frutificação) de forma mais rápida, fato que pode contribuir para a redução do período de colheita em *J. curcas*, visto que esta tende a se prolongar por meses, dada a grande heterogeneidade de floração/maturação na espécie. Em contraste ao resultado aferido, Rao *et al.* (2008) registraram efeitos diretos positivos, de 0,26 e 0,43, para caracteres referentes ao período de frutificação sobre a produção de grãos.

Ainda na Tabela 4, verificou-se que, apesar da correlação positiva significativa, os descritores PMSs (0,29) e APD (0,36) revelaram um efeito direto negativo sobre POP, de -0,02 e -0,07, respectivamente. Dessa forma, caracteres de correlação positiva, mas de efeito direto baixo e/ou em sentido contrário, como neste caso, não são recomendados à seleção indireta, uma vez que não proporcionariam ganhos à variável principal (VENCOVSKY; BARRIGA, 1992). Contudo, a seleção em plantas de baixo porte parece ser uma interessante solução para a colheita do pinhão-manso (WANI; KITCHLU; RAM, 2012). Segundo Heller (1996), esta oleaginosa pode ultrapassar os 5 m de altura, dificultando práticas relativas à sua colheita, o que pode fazer desta associação um significativo passo à obtenção de genótipos produtivos de porte reduzido.

Como constatado por Spinelli *et al.* (2010), o teor de óleo também se apresentou como um dos principais componentes da produtividade em *J. curcas*, com um efeito direto (0,32) superior ao coeficiente de correlação (0,16). Em oposição, Biabani *et al.* (2012) relataram uma negativa correlação entre o teor e a produção de óleo por planta (-0,38).

O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) indica que 68% da variável dependente (POP) pode ser explicada pelo efeito das variáveis explicativas. Entretanto, deve-se considerar que a produção de óleo é um caráter quantitativo, sendo fortemente influenciada pelo ambiente. Sob este aspecto, o efeito da variável residual (0,57) sugere que efeitos indiretos podem ter agido sobre POP, como notado por APD, NRT, TFF e PMSs, via PCO, e de APD e PCO via NRT. Dessa forma, nem sempre a seleção indireta oferecerá ganhos sobre a variável principal, fazendo com que a seleção simultânea também seja cuidadosamente

avaliada como a melhor maneira de se alcançar ganhos no caráter de interesse (VENCOVSKY; BARRIGA, 1992).

A Tabela 5 demonstra que foram necessários seis componentes principais para explicar 80,92% (contribuição acumulada) da variabilidade observada, onde os três primeiros componentes foram responsáveis por 54,05% desta variação.

Para Cruz e Carneiro (2003), autovetores de elevado valor, associados a autovalores responsáveis por 80% da variação explicada, referem-se aos caracteres de maior contribuição para a variância obtida. Dessa forma, os descritores NRT e POP, em CP1; CMS, CERp, TFF e DCA, em CP2; PMSs no CP3; TOS no CP4, LSE para o CP5; e novamente CERp, em CP6, corresponderam às variáveis que mais contribuíram para a variabilidade observada. No entanto, baseado no princípio de que a variância decresce do primeiro ao último componente, os descritores NRT e POP (CP1) podem ser considerados como os mais informativos para a variação registrada. Similarmente ao presente trabalho, Shabanimofrad *et al.* (2013), estudando 48 genótipos de *J. curcas*, oriundos de diferentes regiões da Malásia, conferiram 75,80% da variação genética nos quatro primeiros componentes, na qual os autovetores referentes à produção de sementes, número total de sementes e produção de óleo e de grãos (associados ao primeiro componente) representaram os caracteres de maior peso para a variabilidade encontrada.

No que diz respeito à estimação da diversidade genética pelos métodos de Tocher (Tabela 6) e UPGMA (Figura 1), constatou-se que, tanto nos grupos I, estimado por Tocher, e 6, por UPGMA, representados, respectivamente, por 83,33 e 73,33% dos genótipos estudados, nenhuma das sete características de maior contribuição se destacou. Todavia, ao menos uma, destas mesmas características, apresentou magnitude de variação máxima, ou mínima, nos demais grupos, evidenciando, assim, uma considerável variabilidade nestes (Tabela 6). Resultado semelhante foi observado por Shabanimofrad *et al.* (2013), onde, em seis grupos de dissimilaridade, um alto nível de diversidade foi verificado, apesar de 31, dos 48 acessos, terem se reunido sob um único agrupamento. Ampla variabilidade genética, via descritores morfológicos, também já foi verificada por Wani, Kitchlu e Ram (2012). Como já salientado por Rocha *et al.* (2012), caracterizações morfo-agronômicas têm apresentado uma significativa variabilidade genética para esta oleaginosa, ao contrário da baixa diversidade quantificada por marcadores moleculares (ROSADO *et al.*, 2010).

A metodologia proposta por Kelley, Gardner e Sutcliffe (1996) indicou um ponto de corte ótimo de oito grupos para a técnica UPGMA (Figura 1), nos quais foi possível constatar uma grande semelhança aos sete *clusters* gerados pela otimização de Tocher. Com base nesta

equivalência, assim como na robustez alcançada entre a combinação da distância Euclidiana e o método UPGMA, demonstrada pelo coeficiente cofenético de 0,74, atestou-se,

nos resultados aqui discutidos, uma boa consistência para as estimações. Os agrupamentos também revelaram que a diversidade genética da Coleção de germoplasma da

**Tabela 5** - Autovalores, contribuição relativa e acumulada (%) e autovetores associados aos seis primeiros componentes principais a partir de 12 descritores morfo-agronômicos mensurados em 60 acessos de *J. curcas* da Coleção de germoplasma da UFRRJ

Descritores	Autovetores					
	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6
APD	0,37	0,23	-0,34	-0,03	0,07	-0,03
PCO	0,38	-0,21	0,09	-0,07	-0,38	-0,40
DCA	0,25	0,41	-0,19	-0,08	-0,10	0,52
NRT	0,44	0,04	-0,01	0,04	-0,29	0,02
CRP	0,29	0,15	-0,22	0,23	0,46	0,14
CERp	-0,05	0,42	-0,26	-0,02	0,31	-0,67
TFF	-0,31	0,41	0,02	0,19	-0,28	-0,18
PMSs	0,29	0,20	0,51	0,08	0,07	-0,26
CMS	0,09	0,48	0,50	-0,20	-0,13	0,10
LSE	0,12	-0,15	0,32	-0,47	0,55	0,12
TOS	-0,06	0,02	0,35	0,72	0,21	0,08
POP	0,41	-0,25	-0,03	0,32	0,01	0,01
$\lambda_j$ - Autovalores	3,47	1,62	1,39	1,25	1,10	0,87
$\lambda_j$ relativa (%)	28,90	13,53	11,62	10,44	9,16	7,27
$\lambda_j$ acumulada (%)	28,90	42,43	54,05	64,49	73,65	80,92

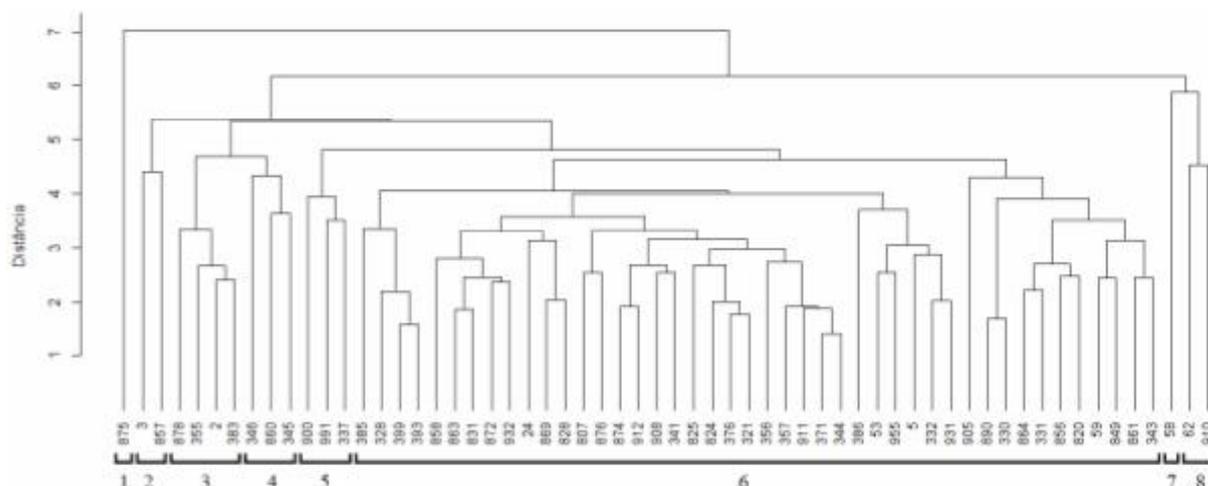
Legenda - APD: Altura de plantas desenvolvidas; PCO: Projeção da copa; DCA: Diâmetro do caule; NRT: Número de ramos totais; CRP: Comprimento de ramos primários; CERp: Comprimento do entrenó de ramos primários; TFF: Tempo de formação do fruto; PMSs: Peso médio da semente seca; CMS: Comprimento da semente; LSE: Largura da semente; TOS: Teor de óleo da semente; e POP: Produção de óleo por planta

**Tabela 6** - Grupos formados a partir da distância Euclidiana média combinada ao método de agrupamento de Tocher e média dos sete descritores mais informativos, associados aos três primeiros componentes principais, para a variabilidade genética observada em 60 acessos de *J. curcas* da Coleção de germoplasma da UFRRJ

Grupos	Acessos UFRRJ	Médias						
		NRT	POP	CMS	CERp	TFF	DCA	PMSs
I	002 / 869 / 874 / 872 / 346 / 858 / 355 / 357 / 399 / 328 / 878 / 376 / 371 / 912 / 825 / 356 / 053 / 807 / 344 / 900 / 991 / 911 / 337 / 828 / 393 / 332 / 863 / 908 / 931 / 864 / 861 / 932 / 385 / 955 / 341 / 386 / 321 / 876 / 005 / 343 / 330 / 331 / 059 / 831 / 849 / 024 / 856 / 824 / 820 / 857	27	179,94	1,80	1,45	83	11,14	0,71
II	860 / 345 / 383	41	441,18	1,80	1,47	78	11,00	0,74
III	890 / 905	15	27,50	1,79	1,50	101	9,95	0,65
IV	062 / 910	30	90,01	1,90	1,71	109	12,05	0,78
V	058	26	160,77	1,84	1,14	84	11,20	0,73
VI	003	38	146,02	1,81	1,85	84	12,90	0,79
VII	875	38	92,63	1,74	1,57	76	11,80	0,63

Legenda - NRT: Número de ramos totais; POP: Produção de óleo por planta; CMS: Comprimento da semente; CERp: Comprimento do entrenó de ramos primários; TFF: Tempo de formação do fruto; DCA: Diâmetro do caule; e PMSs: Peso médio da semente seca

**Figura 1** - Dendrograma gerado a partir da distância Euclidiana combinada ao método de agrupamento UPGMA em 60 acessos de *J. curcas* da Coleção de germoplasma da UFRRJ



Consistência do padrão de agrupamento - Coeficiente de correlação cofenética = 0,74

UFRRJ não se encontra estruturada segundo as diversas localidades avaliadas, visto que acessos de diferentes procedências foram reunidos sob um mesmo grupo. Resultado análogo já foi relatado por Rao *et al.* (2008) e Rosado *et al.* (2010), sendo justificados, principalmente, pela intensa propagação vegetativa conduzida sobre a espécie.

Baseado nos grupos formados, bem como no desempenho de seus acessos, sugere-se que tanto o cruzamento entre os *clusters* de dissimilaridade I e II, pertinentes à análise de Tocher, quanto entre os agrupamentos 4 e 6, relativos à técnica UPGMA, portadores dos acessos 860, 345 e 346, de alta produção, poderiam proporcionar a formação de híbridos superiores, exibindo um alto efeito heterótico. Para Spinelli *et al.* (2010), a manutenção da variabilidade de características de grande importância à produção pode subsidiar a obtenção de ganhos em futuros ciclos de seleção.

## CONCLUSÕES

1. Tendo por base os resultados aqui discutidos, conclui-se que os descritores referentes à produção de óleo por planta e projeção da copa se mostraram como as características de maior variabilidade para a Coleção de germoplasma de *J. curcas* da UFRRJ, enquanto os caracteres intrínsecos às sementes se apresentaram como os de menor variação;
2. A análise de trilha demonstrou importantes associações entre os descritores APD, PCO, NRT, TFF e TOS sobre a produção de óleo por planta, corroborando a possibilidade

destes serem utilizados como base para a seleção indireta visando à obtenção de híbridos superiores;

3. Pela análise de componentes principais, os descritores NRT e POP foram identificados como os que mais contribuíram para a variação observada;
4. Os agrupamentos de Tocher e UPGMA corroboraram a existência de considerável variabilidade genética para os caracteres avaliados, apresentando grupos com genótipos dissimilares, de grande potencial a serem envolvidos em futuros cruzamentos do Programa de melhoramento de *J. curcas* da UFRRJ.

## AGRADECIMENTOS

À PETROBRAS, ao CNPq e ao Departamento de Fitotecnia do Instituto de Agronomia da UFRRJ.

## REFERÊNCIAS

- ACHTEN, W. M. J. *et al.* Towards domestication of *Jatropha curcas*. **Biofuels**, v. 1, n. 1, p. 91-107, 2010.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official Methods of Analysis of AOAC International**. 18. ed. Gaithersburg, Maryland, 2010. 1298 p.
- BIABANI, A. *et al.* Phenotypic and genetic variation of *Jatropha curcas* L. populations from different countries. **Maydica**, v. 57, n. 2, p. 164-174, 2012.

- BIOVERSITY INTERNATIONAL. Guidelines for the development of crop descriptor lists. **Bioversity Technical Bulletin Series**. Bioversity International, Rome, Italy, 2007. xii, 2 p.
- CABRAL, P. D. S. *et al.* Análise de trilha do rendimento de grãos de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) e seus componentes. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 42, n. 1, p. 132-138, 2011.
- CARVALHO, C. R. *et al.* Genome size, base composition and karyotype of *Jatropha curcas* L., an important biofuel plant. **Plant Science**, v. 174, n. 6, p. 613-617, 2008.
- CHANG-WEI, L. *et al.* Floral display and breeding system of *Jatropha curcas* L. **Forestry Studies in China**, v. 9, n. 2, p. 114-119, 2007.
- CRUZ, C. D. **Programa Genes: diversidade genética**. 1. ed. Viçosa, Minas Gerais, Brasil: Editora UFV, 2008. 278 p.
- CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**, v. 2. Viçosa, Minas Gerais, Brasil: Editora UFV, 2003. 585 p.
- DEHGAN, B.; WEBSTER, G. L. **Morphology and infrageneric relationships of the genus *Jatropha* (Euphorbiaceae)**. University of California Publications in Botany, University of California Press, 1979. 73 p.
- DIAS, L. A. dos 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.
- FRANCIS, G.; EDINGER, R.; BECKER, K. A concept for simultaneous wasteland reclamation, fuel production, and socio-economic development in degraded areas in India: need, potential and perspectives of *Jatropha* plantations. **Natural Resources Forum**, v. 29, n. 1, p. 12-24, 2005.
- HELLER, J. **Physic nut. *Jatropha curcas* L. promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops**. Rome: Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research, 1996. 66 p.
- JOHNSON, T. S.; ESWARAN, N.; SUJATHA, M. Molecular approaches to improvement of *Jatropha curcas* Linn. as a sustainable energy crop. **Plant Cell Reports**, v. 30, n. 9, p. 1573-1591, 2011.
- KAUSHIK, N. *et al.* 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.
- KELLEY, L. A.; GARDNER, S. P.; SUTCLIFFE, M. J. An automated approach for clustering an ensemble of NMR-derived protein structures into conformationally related subfamilies. **Protein Engineering**, v. 9, n. 11, p. 1063-1065, 1996.
- LÚCIO, A. D. *et al.* Relações entre os caracteres de maracujazeiro-azedo. **Ciência Rural**, v. 43, n. 2, p. 225-232, 2013.
- MONTGOMERY, D. C.; PECK, E. A. **Introduction to linear regression analysis**. New York: John Wiley & Sons, 1981. 504 p.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2011. Disponível em: <http://www.r-project.org/>. Acessado em: 13 abril 2012.
- RAO, G. R. *et al.* Genetic associations, variability and diversity in seed characters, growth, reproductive phenology and yield in *Jatropha curcas* L. accessions. **Trees - Structure and Function**, v. 22, n. 5, p. 697-709, 2008.
- ROCHA, R. B. *et al.* Eficiência da seleção para incremento do teor de óleo do pinhão-mansô. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 1, p. 44-50, 2012.
- ROSADO, T. B. *et al.* Molecular markers reveal limited genetic diversity in a large germplasm collection of the biofuel crop *Jatropha curcas* L. in Brazil. **Crop Science**, v. 50, n. 6, p. 2372-2382, 2010.
- SHABANIMOFRAD, M. *et al.* Phenotypic, genotypic and genetic divergence found in 48 newly collected Malaysian accessions of *Jatropha curcas* L. **Industrial Crops and Products**, v. 42, n. 6, p. 543-551, 2013.
- SILVA, M. A. *et al.* Análise de trilha para caracteres morfológicos do feijão-bravo (*Capparis flexuosa*) no cariri paraibano. **Archivos de Zootecnia**, v. 58, n. 221, p. 121-124, 2009.
- SOKAL, R. R.; ROHLF, F. J. The comparison of dendrograms by objective methods. **Taxon**, v. 11, p. 33-40, 1962.
- SPINELLI, V. M. *et al.* Componentes primários e secundários do rendimento de óleo de pinhão-mansô. **Ciência Rural**, v. 40, n. 8, p. 1752-1758, 2010.
- SUNIL, N. *et al.* Assessing *Jatropha curcas* L. germplasm in situ: a case study. **Biomass and Bioenergy**, v. 32, n. 33, p. 198-202, 2008.
- VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. **Genética biométrica no fitomelhoramento**. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1992. 496 p.
- WANI, T. A.; KITCHLU, S.; RAM, G. Genetic variability studies for morphological and qualitative attributes among *Jatropha curcas* L. accessions grown under subtropical conditions of North India. **South African Journal of Botany**, v. 79, p. 102-105, 2012.
- WRIGHT, S. Correlation and causation. **Journal of Agricultural Research**, v. 20, n. 7, p. 557-585, 1921.