

**Produção de mudas
e aspectos gerais do
melhoramento genético
de pinhão-manso na
região Norte do Brasil**

Produção de mudas e aspectos gerais do melhoramento genético de pinhão-mansão na região Norte do Brasil

*Rodrigo Barros Rocha
Victor Mouzinho Spinelli
André Rostand Ramalho
José Roberto Vieira Júnior
Abadio Hermes Vieira
Victor Ferreira de Souza
Bruno Galvêas Laviola*

Introdução

O Brasil tem se destacado no cenário internacional pelo seu pioneirismo no desenvolvimento de pesquisas sobre o biodiesel, incluindo a prospecção de espécies com potencial para produção de óleo vegetal. Por meio do Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB), criado em 2004, o governo tem incentivado pesquisas com “plantas oleaginosas alternativas”, entre elas o pinhão-mansão (*Jatropha curcas* L.).

Além do incentivo à pesquisa, foi criada uma grande expectativa que resultou no plantio de pinhão-mansão em algumas regiões sem a devida tecnologia para produção validada. A baixa produtividade dos materiais cultivados e a inexistência de uma cadeia produtiva foram os fatores que mais contribuíram para o insucesso desses plantios, que foram sendo reduzidos com o passar dos anos.

A partir da execução do projeto BRJatropha, financiado pela Finep, e do projeto Desenvolvimento de Tecnologia para a Produção Agrícola Energética no Estado de Rondônia, financiado pelo CNPq, a Embrapa Rondônia contribuiu para o avanço no conhecimento do pinhão-mansão, que será apresentado a seguir na forma de tópicos que abordam conhecimentos básicos e aplicados da cultura.

Apesar da geração de conhecimento ocorrida nos últimos anos, muitos desafios ainda precisam ser superados para aumentar a sustentabilidade econômica, social e ambiental desse cultivo. O aumento da produtividade por área, a seleção de materiais não tóxicos e o manejo mais apropriado do plantio, considerando-se a desuniformidade de produção e a incidência de pragas e doenças, são desafios atuais que direcionam as pesquisas contemporâneas com essa oleaginosa.

Por ser tratar de uma oleaginosa perene, ou seja, uma espécie com potencial para produção de óleo vegetal por longo período, a velocidade com que a pesquisa gera seus resultados é impactada pelo seu longo ciclo de vida. Atualmente estão sendo avaliadas em campo plantas provenientes do primeiro ciclo de seleção do pinhão-manso com as melhores práticas de manejo testadas nesses últimos anos. A seguir serão apresentados resultados obtidos para a região Norte do País, no que se refere aos seguintes fatores: produção de mudas, critérios de seleção de materiais, desempenho produtivo e progresso genético com a seleção de plantas.

Produção de mudas

Assim como a fenologia, o domínio da produção de mudas é um conhecimento básico e fundamental para instalação de novos plantios. O plantio do pinhão-manso pode ser realizado pelo semeio direto no campo ou por meio de mudas formadas a partir de sementes ou estacas enraizadas. O plantio de mudas é a prática que proporciona melhores condições para o crescimento inicial das plantas. O tamanho do recipiente é determinante para a qualidade das mudas, o que, por sua vez, impacta diretamente a sobrevivência, homogeneidade e produtividade do plantio.

A avaliação da relação de custo-benefício para a produção de mudas consiste em determinar o recipiente de volume mínimo ideal que não limite o crescimento das plantas durante o tempo em que essas permanecerem em viveiro. Visando quantificar o efeito dos diferentes volumes de recipiente, foram conduzidos experimentos considerando-se o desenvolvimento das mudas de pinhão-manso (*Jatropha curcas*) em viveiro e seu crescimento em campo. A produção de mudas foi realizada no viveiro da Embrapa Rondônia, Porto Velho, RO, no período de fevereiro a maio de 2008, com delineamento inteiramente

casualizado com 6 tratamentos e 4 repetições de 25 plantas (Figura 1). Na montagem do experimento, as mudas foram dispostas em parcelas quadradas, e as bordaduras foram descartadas na avaliação. Os tratamentos consistiram em seis recipientes disponíveis no comércio local, com dimensões e volumes de substrato diferenciados (Tabela 1).

Tabela 1. Dimensões e volumes dos recipientes utilizados na produção de mudas de pinhão-mansão.

Recipientes	Altura (cm)	Diâmetro (cm)	Volume (dm ³)
I	15	6	0,40
II	20	10	1,60
III	22	10	1,70
IV	20	11	1,90
V	22	11	2,10
VI	22	15	3,90

O substrato para enchimento das sacolas de polietileno foi preparado conforme recomendações de (Gomes; Paiva, 2004). Aos 30 dias após a emergência, foram avaliados os seguintes aspectos: o comprimento de raízes, a massa da parte aérea e o diâmetro caulinar das plântulas normais. Os resultados médios foram expressos em centímetros (Figura 1). Em seguida, realizou-se a separação das raízes e partes aéreas, as quais foram submetidas à secagem em estufa a 80 °C, por 24 horas, para obtenção dos dados médios, em gramas, das massas de matéria seca de ambas as partes (Nakagawa, 1999).

As avaliações foram realizadas por meio da análise de variância, teste de agrupamento de média de Scott Knott e ajuste do modelo de regressão para a produção de matéria seca total em função do volume do recipiente. Foram apresentados os coeficientes de regressão linear significativos a 5% de probabilidade.

Após a avaliação das mudas em viveiro, foram selecionadas plantas dos recipientes com os volumes de 0,4 dm³, 2,1 dm³ e 3,9 dm³ para plantio. Aos 35 dias após a semeadura, as mudas foram plantadas em covas abertas manualmente, no espaçamento de 2,0 m x 3,0 m, com dimensões de 20 cm x 20 cm x 20 cm, e preenchidas com uma mistura de 200 g de superfosfato triplo, 50 g de FTE e 50 g de cloreto de potássio.



Fotos: Rodrigo Barros Rochas

Figura 1. Montagem e avaliação do experimento realizado no período de fevereiro a maio de 2008. Montagem do experimento no viveiro do campo experimental da Embrapa Rondônia (A e B) e detalhe das parcelas experimentais utilizadas na avaliação (C e D).

O delineamento estatístico utilizado para avaliação de campo foi o de blocos casualizados com três repetições e seis plantas por parcela, para quantificação do crescimento em campo das mudas produzidas em três recipientes de diferentes volumes: $0,4 \text{ dm}^3$, $2,1 \text{ dm}^3$ e $3,9 \text{ dm}^3$. As plantas foram avaliadas no sexto mês após o plantio quanto aos seguintes fatores: sobrevivência, altura e diâmetro do colo. Os principais tratos culturais realizados durante o período foram o combate das formigas cortadeiras e as capinas.

Os volumes dos substratos avaliados resultaram em diferenças significativas pelo teste F a 1% de probabilidade para todas as características de crescimento avaliadas (Tabela 2). Os valores dos coeficientes de variação são compatíveis com a condução do experimento e indicam boa precisão experimental.

Tabela 2. Análise de variância (ANOVA) para o diâmetro do coleto (DC), altura (ALT), comprimento de raiz (CR), matéria verde da parte aérea (MVPA), matéria verde da raiz (MVR), matéria seca da parte aérea (MSPA), matéria seca da raiz (MSR).

ANOVA	GL ⁽¹⁾	DC (cm)	ALT (cm)	CR (cm)	MVPA (g)	MVR (g)	MSPA (g)	MSR (g)	MST (g)
Recipientes	5	4,11**	11,31**	14,34**	38,90**	7,39**	7,30**	2,91*	7,10**
Resíduo	18								
Total	23								
Média Geral		0,72	21,21	19,06	158,11	27,74	32,16	6,22	38,38
CV%		10,53	7,50	9,21	10,54	13,36	16,52	9,89	14,84

⁽¹⁾GL = graus de liberdade.

*Significativo a 5% de probabilidade. **Significativo a 1% de probabilidade.

O recipiente VI foi o que apresentou as maiores médias para todas as características avaliadas diferindo significativamente dos demais para a produção de matéria seca total (Tabela 3). O efeito no crescimento das mudas pode ser constatado pelo incremento observado com a utilização do maior recipiente em relação ao menor: 19,67 g para massa da matéria seca total, 18,75 g para massa seca da parte aérea e 1,20 g para massa seca da raiz (Tabela 3). Resultados semelhantes foram obtidos por Severino et al. (2007).

O diâmetro do coleto foi a característica menos influenciada pelo volume do recipiente, sendo por esse motivo a menos indicada para inferir sobre o vigor das mudas aos 30 dias de desenvolvimento em viveiro. Os parâmetros de crescimento da parte aérea – altura (ALT) e massa seca da parte aérea (MSPA) – indicam que os recipientes V e VI foram os menos limitantes ao crescimento em comparação aos demais (Tabela 3). O comprimento da raiz (CR) e a massa seca da raiz (MSR) indicaram que os recipientes IV, V e VI não limitaram o crescimento da raiz, tendo sido observado um incremento linear na produção de biomassa com o aumento do volume do recipiente.

Tabela 3. Comparação de médias de tratamentos pelo teste de Scott Knott a 5% de probabilidade das seguintes características: diâmetro do coleto (DC), altura (ALT), comprimento de raiz (CR), matéria verde da parte aérea (MVPA), matéria verde da raiz (MVR), matéria seca da parte aérea (MSPA), matéria seca da raiz (MSR), matéria seca total (MS).

Recipientes	Volume (dm ³)	DC (cm)	ALT (cm)	CR (cm)	MVPA (g)	MVR (g)	MSPA (g)	MSR (g)	MS (g)
I	0,40	0,60b	18,90b	13,88c	99,43c	21,48b	26,00c	5,73b	31,73c
II	1,60	0,68b	19,60b	17,68b	127,08b	26,48b	27,40c	5,83b	33,23c
III	1,70	0,73a	19,93b	17,30b	131,18b	24,10b	27,20c	5,94b	33,14c
IV	1,90	0,75a	19,60b	21,85a	146,60b	26,93b	31,75c	6,40a	38,15c
V	2,10	0,80a	24,00a	22,38a	217,93a	34,275a	35,90b	6,67a	42,57b
VI	3,90	0,80a	25,22a	21,28a	226,48a	33,175a	44,75a	6,92a	51,67a

a, b, c: médias seguidas pelas mesmas letras na vertical não diferem entre si.

Neves et al. (2005) demonstraram que o uso de recipientes com tamanhos inadequados pode resultar em deformações radiculares e em desuniformidade, implicando atraso no crescimento das plantas no campo. Recipientes de 20 cm e 22 cm de altura mostraram-se adequados para acondicionar as raízes das mudas de pinhão-manso pelo período de 30 dias após a emergência (Tabela 3).

Associada às avaliações de qualidade de mudas no viveiro, a avaliação de crescimento em campo, após 6 meses de plantio, permitiu quantificar os efeitos permanentes no desenvolvimento individual das plantas. O crescimento em campo indicou que as mudas produzidas nos recipientes de 2 L e de 4 L de volume apresentaram melhores condições de crescimento do que no menor recipiente (Tabela 4). O crescimento em campo das mudas produzidas em recipientes com volume próximo a 2 L de substrato foi equivalente ao crescimento de mudas produzidas em volume maior.

Tabela 4. Médias dos diâmetros do coleto (DC) e da altura (ALT) das mudas produzidas nos recipientes com os volumes de 0,4 dm³, 2,10 dm³ e 2,10 dm³ aos 6 meses após o plantio.

Tratamento	Volume do recipiente (dm ³)	DC (cm)	ALT (cm)
Recipiente I	0,40	34,86b	66,75b
Recipiente V	2,10	42,29a	91,08a
Recipiente VI	3,90	45,24a	101,21a
F		135,08**	41,02**
CV		11,84	18,41
Média geral		40,79	86,35

** : significativo a 1% de probabilidade

a, b: médias seguidas pelas mesmas letras na vertical não diferem entre si

F: teste F da análise de variância

CV: coeficiente de variação

A opção pelo volume de recipiente mais apropriado têm impacto de ordem técnica e econômica, devendo proporcionar a melhor qualidade de muda pelo menor custo de produção possível. O crescimento semelhante das mudas produzidas nos recipiente de 2 L e de 4 L indica que o recipiente de 2 L de volume pode ser utilizado para a produção de mudas de pinhão-mansão, por resultar em menor custo.

Critério de seleção de plantas

Pelo fato de o pinhão-mansão ainda ser considerado uma espécie em domesticação, não existem variedades comerciais para plantio. Assim, o estabelecimento dos critérios mais apropriados para a seleção de plantas é importante para o melhoramento dessa oleaginosa (Rao et al., 2009). A definição dos critérios para seleção subsidia a caracterização das plantas mais adequadas para plantio assim como a quantificação do progresso genético com a prática da seleção.

A análise de trilha, proposta originalmente por Wright (1934), permite desdobrar os coeficientes de correlação em seus efeitos diretos e indiretos sobre uma caracterís-

tica principal e sua utilização depende da elaboração de um diagrama de causa e efeito, que representa a relação dos caracteres sobre uma característica principal (Cruz et al., 2004). O óleo vegetal é a principal matéria-prima desse cultivo. O volume de óleo produzido pela planta depende da expressão de características produtivas e vegetativas em um determinado ambiente.

Excetuando-se questões analíticas do processo de extração do óleo, seja pela prensagem seja pelo uso de solventes, o rendimento depende essencialmente do teor de óleo e do volume da matéria-prima utilizado na extração. Já em campo, o rendimento de óleo depende da associação conjunta de características vegetativas e produtivas que influenciam seu potencial produtivo.

As características vegetativas do pinhão-mansinho diferenciam-se principalmente em relação aos seguintes aspectos: número de ramos, projeção da copa, altura e volume de copa por árvore. Entre as características de qualidade da matéria-prima, destacam-se o peso de grãos, o peso de amêndoas, o peso de casca e o teor de óleo nos grãos. Visando quantificar os efeitos diretos e indiretos de características vegetativas e de qualidade da matéria-prima sobre o rendimento de óleo, foram caracterizadas 236 plantas selecionadas ao acaso dentro de uma população de pinhão-mansinho com 38 meses de cultivo, em plantio localizado no município de Ariquemes, RO (latitude 9° 55' 24.50 S; longitude 63° 7' 15.58 O e 142 m de altitude).

O clima da região é tropical do tipo Aw, quente e úmido, com período seco bem definido e ocorrência de déficit hídrico nos meses de junho, julho, agosto e setembro. A temperatura média anual é de 25 °C, precipitação média anual de 2.354 mm e evapotranspiração média anual de 851 mm (Normais..., 1992). O solo da área experimental é um Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico, de textura muito argilosa. O espaçamento adotado no cultivo foi de 2 m x 3 m, e o plantio foi efetuado em covas com mudas de 1 mês de crescimento em viveiro, formadas em sacolas plásticas de 2 L. Os tratos culturais, descritos em detalhe por Spinelli et al. (2010), basearam-se nas recomendações de Dias et al. (2007a), com adaptações.

Antes da colheita, aos 38 meses de cultivo, os seguintes caracteres vegetativos foram medidos: altura de plantas (m por árvore), número de ramos secundários, número de ramos terciários, projeção da copa no sentido do maior espaçamento

(m por árvore), projeção da copa no sentido do menor espaçamento (m por árvore) e volume de copa (m³ por árvore). O volume de copa foi estimado pela aproximação do volume de um cilindro de base elíptica:

$$V_{copa} = \left(\pi \cdot \frac{D_1}{2} \cdot \frac{D_2}{2} \right) h$$

em que:

V_{copa} = volume de copa (m³);

h = 3,14159;

D_1 = projeção da copa no maior espaçamento (m);

D_2 = projeção da copa no menor espaçamento (m);

h : altura (m).

Na ocasião da colheita, foram avaliadas individualmente as seguintes características: produtividade de grãos (kg por árvore), peso de casca (g por grão), peso de amêndoas (g por grão), teor de óleo (%) e rendimento de óleo por árvore (mL por árvore) (Figura 2).

As características de qualidade foram avaliadas no Laboratório de Extração de Óleos da Universidade Federal de Rondônia (Unir), em Porto Velho, RO. Os procedimentos de extração de óleo foram realizados com o trituramento das sementes inteiras e dos alúmenes, separadamente, com quantificação gravimétrica. Ambos foram caracterizados segundo normas do Instituto Adolf Lutz (Zenebon et al., 2008) que compreendem umidade e cinzas.

As estimativas da correlação fenotípica entre as características foram calculadas pelos valores do quadrado médio esperado (QME) obtidos na análise de variância, e a sua significância foi avaliada por meio do teste t com $n-2$ graus de liberdade, sendo n o número de genótipos avaliados Cruz et al. (2004). Foi interpretado o grau de multicolinearidade da matriz singular $X'X$ com base no número de condição (NC), de acordo com classificação proposta por Montgomery e Peck (1981).

As estimativas dos efeitos diretos e indiretos das variáveis explicativas sobre a variável principal foram obtidas conforme descrito por Cruz et al. (2004). As relações entre os componentes de produção foram interpretadas de acordo com um diagrama causal que contempla componentes primários e secundários de produção considerando a relação lógica, aditiva entre as variáveis (Figura 3).

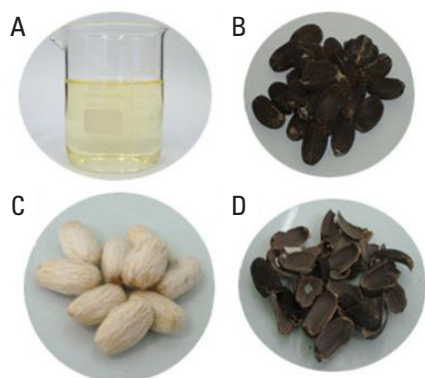
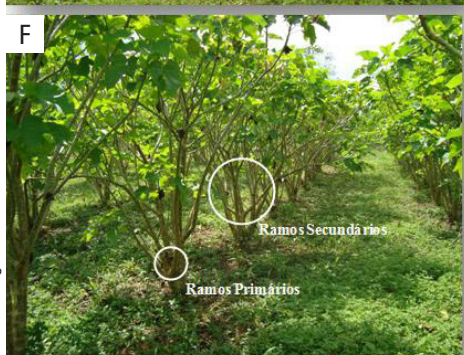


Figura 2. Principais características da planta associadas à produção de óleo. Rendimento de óleo (A), produtividade de grãos (B), peso de amêndoa (C), peso de casca (D) e características vegetativas (E): D_1 = diâmetro 1; D_2 = diâmetro 2; h = altura; RP = ramos primários; RS = ramos secundários.



Fotos: Rodrigo Barros Rocha

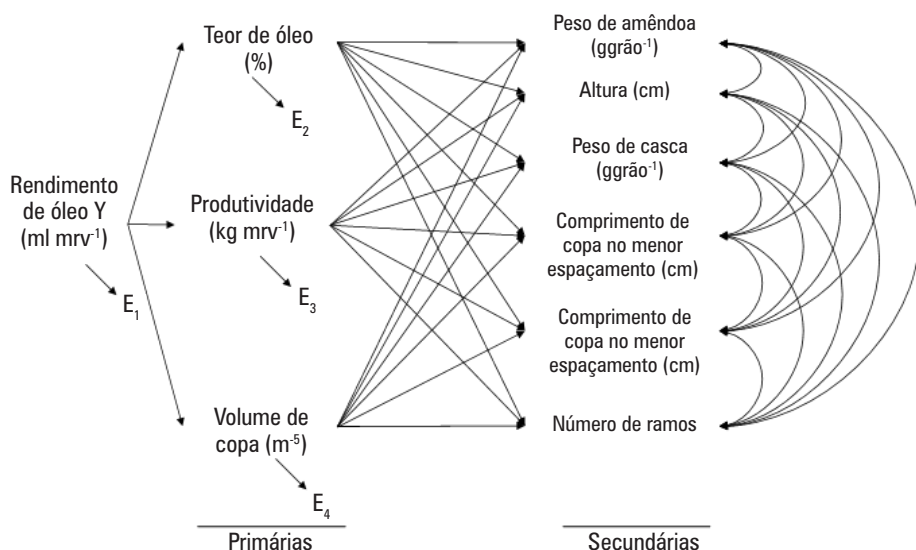


Figura 3. Diagrama ilustrativo que representa nas setas unidirecionais os efeitos diretos de três variáveis explicativas sobre a variável principal – rendimento de óleo. As setas bidirecionais representam os efeitos indiretos quantificados pelos coeficientes de correlação fenotípica.

O NC indicou a ocorrência de multicolinearidade severa no conjunto inicial de características (NC = 5.022). O descarte das características “peso de óleo nos grãos” e “peso de grãos” resultou na redução do número condição (NC = 96), que, segundo Montgomery e Peck (1981), não indica problemas para a análise de trilha.

No diagrama causal, as setas que partem do rendimento do óleo indicam os componentes primários, definidos pelo teor de óleo, pela produtividade de grãos e pelo volume de copa. As setas que se inter-relacionam (Figura 3) representam a relação entre os componentes secundários: peso da amêndoa, peso da casca, altura, projeção da copa no sentido de menor espaçamento, projeção da copa e número de ramos.

Observou-se que os componentes de produção influenciaram, de maneira direta ou indireta, o produto principal do cultivo (Tabela 5). A produtividade de grãos e o peso de amêndoas apresentaram efeito direto e positivo sobre a característica principal. A soma dos efeitos diretos e indiretos da produtividade de grãos foi superior à soma dos efeitos das outras características, seguido pelo teor de óleo e pelo volume de copa (Tabela 5).

A magnitude do efeito direto da produtividade de grãos sobre o rendimento de óleo mostrou que a produção de grãos é a característica mais importante para a seleção de plantas de maior rendimento de óleo. O valor observado do coeficiente de determinação indica que a maior parte da variabilidade da característica principal do cultivo foi explicada pela variação das características primárias do diagrama, indicando eficiência na decomposição das relações de causa e efeito dos componentes de produção dessa oleaginosa.

Dos três componentes primários de produção, o volume de copa apresentou o menor efeito direto sobre o rendimento de óleo. Caracteres com valores de correlação considerados elevados (acima de 0,7), mas com baixo efeito direto, indicam que a seleção truncada na característica auxiliar pode não proporcionar ganhos satisfatórios na característica principal, no caso o rendimento de óleo (Resende, 2002). Nesses casos devem-se utilizar índices de seleção, considerando-se os caracteres de efeito indiretos significativos.

Apesar do pequeno efeito direto sobre o rendimento de óleo, o volume de copa foi a característica mais importante para a produtividade de grãos (Tabela 6). Em geral, a arquitetura de copa é considerada uma característica importante para o cultivo do pinhão-manso, e trabalhos vêm sendo realizados com o objetivo de descrever práticas de poda mais apropriadas para esse cultivo. No entanto, poucos trabalhos avaliaram a diferença entre a arquitetura das plantas, considerando-se conjuntamente a relação entre a projeção e a altura da copa.

Tabela 5. Estimativas dos efeitos diretos e indiretos dos componentes primários “produtividade”, “teor de óleo” e “volume de copa” sobre o rendimento de óleo em pinhão-manso.

Característica	Efeito direto	Efeitos indiretos			Efeitos totais
		Produtividade de grãos	Teor de óleo	Volume de copa	
Produtividade de grãos	0,923		-0,006	-0,002	0,915
Teor de óleo	0,176	-0,035		0,001	0,142
Volume de copa	-0,005	0,429	-0,021		0,403
R ²	0,9048				
Efeito residual	0,0724				

R² = coeficiente de determinação.

Tabela 6. Estimativas dos efeitos diretos e indiretos das características secundárias (altura, projeção da copa no sentido do menor espaçamento, projeção da copa no sentido do maior espaçamento, número de ramos, peso de casca, peso de amêndoas) sobre as características primárias (produtividade, teor de óleo e volume) de copa do pinhão-mansão.

Característica	Efeito direto	Efeitos indiretos						Efeitos totais
		Altura	P ₁	P ₂	Ramos	Peso de casca	Peso de amêndoas	
Produtividade de grãos								
Altura	0,059		-0,074	0,218	0,091	-0,001	-0,007	0,286
P1	-0,142	0,031		0,2552	0,102	0,008	-0,003	0,252
P2	0,353	0,033	-0,102		0,107	-0,001	-0,006	0,384
Ramos	0,211	0,025	-0,068	0,178		-0,014	-0,012	0,320
Peso de casca	0,162	-0,001	-0,007	-0,001	-0,019		0,080	0,214
Peso de amêndoas	0,097	-0,004	0,001	-0,022	-0,027	0,1337		0,178
R ²	0,236							
Efeito residual	0,874							
Teor de óleo								
Altura	0,094		-0,096	0,682	-0,116	0,003	-0,04	-0,087
P1	-0,082	0,0493		0,0866	-0,129	-0,023	-0,079	-0,178
P2	0,121	0,0533			-0,135	0,001	-0,0364	0,004
Ramos	-0,268	0,041	-0,088	0,061		0,043	-0,076	-0,287
Peso de casca	-0,480	-0,001	-0,009	-0,001	0,238		0,496	0,243
Peso de amêndoas	0,600	-0,006	0,006	-0,007	0,034	-0,397		0,230
R ²	0,414							
Efeito residual	0,685							

Continua...

Tabela 6. Continuação.

Característica	Efeito direto	Efeitos indiretos						Efeitos totais
		Altura	P ₁	P ₂	Ramos	Peso de casca	Peso de amêndoas	
Volume de copa								
Altura	-0,082		0,2132	0,3488	0,0221	-0,001	0,004	0,505
P1	0,405	-0,043		0,443	0,025	0,004	0,002	0,836
P2	0,614	-0,047	0,2927		0,0258	-0,001	0,004	0,889
Ramos	0,051	-0,036	0,195	0,3101		-0,008	0,007	0,519
Peso de casca	0,091		0,0191	-0,001	-0,005	0,001	-0,047	0,058
Peso de amêndoas	-0,057	0,006	-0,012	-0,038	-0,007	0,075		-0,033
R ²	0,877							
Efeito residual	0,351							

R² = coeficiente de determinação; P₁ = projeção da copa no menor espaçamento; P₂ = projeção da copa no maior espaçamento.

A avaliação do volume de copa permitiu quantificar o crescimento das plantas tendo em vista a variabilidade observada em campo e o efeito da compensação de crescimento da árvore, uma vez que foram observadas árvores altas de copas estreitas e árvores baixas de copas mais largas. O volume de copa apresentou efeito direto superior ao dos seus componentes individuais sobre a produtividade de grãos, mostrando-se mais importante do que a altura e a projeção da copa para seleção de plantas.

Em relação aos efeitos dos componentes secundários sobre os primários, observou-se que estes últimos explicam com bom ajuste a variação do volume de copa e com menor ajuste o teor de óleo e a produtividade de grãos. A projeção da copa no sentido do maior espaçamento apresentou o maior efeito direto tanto para volume de copa quanto para a produtividade de grãos, comparado com a projeção da copa no sentido do menor espaçamento (Tabela 6). A utilização do espaçamento desigual entre linhas (3 m x 2 m) resultou no maior desenvolvimento de ramos e crescimento desigual da copa no sentido do maior espaçamento.

Uma das estratégias que vem sendo considerada para reduzir os custos de colheita do pinhão-mansó é o aumento da produtividade por árvore. A limitação no crescimento da planta provocada pelo menor espaçamento do plantio indica que práticas de manejo que objetivam o aumento da produtividade por árvore em plantios com três ou mais anos de cultivo devem considerar a utilização de espaçamentos mais amplos, visando ao maior desenvolvimento da copa da árvore.

Entre os componentes secundários, o peso de casca e o peso de amêndoas apresentaram associação com o componente primário teor de óleo (Tabela 6). De maneira geral, observou-se que os caracteres vegetativos não apresentaram associação com esse componente. No entanto, a variabilidade dessas características deve ser mantida na seleção dos materiais mais produtivos para permitir ganhos em novos ciclos de seleção (Tabela 7).

Tabela 7. Estimativas dos efeitos diretos e indiretos das características secundárias (altura, projeção da copa no sentido do menor espaçamento, projeção da copa no sentido do maior espaçamento, número de ramos, peso de casca e peso de amêndoas) sobre a variável principal (rendimento de óleo).

Característica	Efeito direto	Efeitos indiretos						Efeitos totais
		Altura	P ₁	P ₂	Ramos	Peso de casca	Peso de amêndoas	
Rendimento de óleo								
Altura	0,08		-0,086	0,201	0,0746	-0,0001	-0,013	0,256
P ₁	-0,064	0,042		0,156	0,083	0,004	-0,006	0,215
P ₂	0,353	0,045	-0,012		0,087	-0,001	-0,012	0,354
Ramos	0,172	0,035	-0,079	0,1787		-0,008	-0,024	0,275
Peso de casca	0,092	-0,001	-0,007	-0,007	-0,015		0,15668	0,149
Peso de amêndoas	0,189	-0,005	0,0049	-0,022	-0,022	0,0765		0,222
R ²	0,32							
Efeito residual	0,78							

R² = coeficiente de determinação; P₁ = projeção da copa no menor espaçamento; P₂ = projeção da copa no maior espaçamento.

A quantificação da resposta correlacionada com a prática da seleção é um dos principais benefícios do estudo da associação de características produtivas, permitindo utilizar as estimativas dos efeitos diretos e indiretos na confecção de índice de seleção para obtenção de ganhos em rendimento de óleo, pelo aumento da produtividade, do volume de copa e mantendo a variabilidade genética para teor de óleo.

A partir desses resultados, foi possível observar que a seleção de plantas mais produtivas e a utilização de práticas de manejo que favoreçam maior desenvolvimento da copa são importantes para alcançar maiores rendimentos de óleo. Observou-se também que a seleção de plantas deve considerar, além da maior relevância dessas características na atribuição de pesos, a manutenção da variabilidade das características de qualidade, tais como o teor de óleo na semente, visando subsidiar a obtenção de ganhos futuros.

Desempenho produtivo

A baixa produção de grãos e a desuniformidade na maturação dos frutos de pinhão-mansinho limitam a viabilidade desse cultivo. A decomposição dos componentes de produção dessa oleaginosa mostrou que mais de 90% do rendimento de óleo depende da produtividade de grãos. Da expectativa inicial de produção de grãos de 4 t ha⁻¹ ou mais, produções inferiores a 2 t ha⁻¹ estão sendo observadas em diferentes condições edafoclimáticas, em razão de limitações hídricas, ataques de pragas e doenças e, sobretudo, inexistência de cultivares melhorados.

Apesar da baixa diversidade genética molecular quantificada em acessos da Índia (Basha et al., 2009) e do Brasil (Rosado et al., 2010), fontes de variabilidade para resistência ao oídio, para ausência de toxidez nas sementes e para a proporção de flores masculinas e femininas têm sido relatadas e caracterizadas em campo (Juhász et al., 2009; Laviola et al., 2010). Outros trabalhos têm confirmado uma expressiva faixa de variação na produção de grãos dessa oleaginosa, entre 0,2 kg a 2 kg por planta (Francis et al., 2005; Jongschaap et al., 2009).

A caracterização dos acessos de maior produção de grãos tem sido objeto de vários trabalhos de pesquisa. Drumond et al. (2010) caracterizaram acessos responsivos à melhoria ambiental que produziram, aos 12 meses de plantio, 2,12 kg por planta de grãos em sistema irrigado. Por sua vez, em condições de Cerrado e sem irrigação, Laviola et

al. (2010) observaram variação na produção de grãos entre 0 kg a 0,18 kg por planta no primeiro ano de avaliação de 110 acessos. Com base nos parâmetros genéticos, Laviola et al. (2012) concluíram sobre a necessidade de avaliações do rendimento de grãos em indivíduos com idade superior a 12 meses para a seleção de genótipos superiores.

Rao et al. (2009) observaram valores de correlação positiva entre a produtividade e a altura da planta e entre o número de ramos e a proporção de flores masculinas e femininas. O número de ramos foi a característica que apresentou maior associação com a produção de grãos em acessos no 3º ano de plantio. Por sua vez, Freitas et al. (2011) também descreveram associações entre a altura, o diâmetro da copa e o número de ramos das plantas.

Com o objetivo de quantificar o desempenho produtivo e sua estabilidade, foi avaliada a produção de grãos em população estruturada em família de meias-irmãs, no 1º, 2º e 3º ano de cultivo. O experimento foi instalado em fevereiro de 2008, no campo experimental do Centro de Pesquisas Agroflorestais (Cpafro) da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), Porto Velho, RO. O ensaio está representado por famílias de meias-irmãs de pinhão-manso, oriundas de uma população composta de sementes crioulas, sem origem genética conhecida, selecionadas visualmente no município de Ariquemes, RO. O manejo do plantio foi realizado conforme recomendações de Dias et al. (2007a) com adaptações. Uma descrição detalhada foi apresentada por Spinelli et al. (2015).

Pelo fato de a maturação desuniforme dos frutos ser uma característica dessa oleaginosa, na região a planta frutifica durante todo o período chuvoso, que vai de novembro a início de junho (Figura 4). O rendimento de grãos foi avaliado em três anos agrícolas (2009, 2010 e 2011), com a realização de seis colheitas (dez./2009, fev./2009, jun./2009, jan./2010, jun./2010, dez./2011). A colheita de junho de 2011 não foi realizada por causa do ataque de cigarrinha (*Empoasca* spp.) ocorrido no período de florescimento e enchimento de grãos, de março a maio de 2011, o qual comprometeu a produção.

Os frutos em estágio final de maturação foram colhidos nas árvores e nas projeções das suas copas. Os frutos colhidos foram secos à sombra por aproximadamente 7 dias, quando foram beneficiados. Após o beneficiamento, a umidade das sementes foi mensurada em determinador Dole 500. Lotes de sementes com teor de umidade inferior a 9% tiveram seu peso avaliado.



Figura 4. A) diferentes estágios de maturação dos frutos de pinhão-mansô; B) fruto maduro em estágio final de maturação contendo três sementes.

Na interpretação dos dados, foram consideradas as avaliações realizadas nos três anos agrícolas. Os dados de produção de grãos foram submetidos à análise de variância em modelo de parcela subdividida, alocando-se blocos e famílias na parcela e anos de produção na subparcela. As médias de produção foram agrupadas com o teste de Scott & Knott (1974), a 5% de probabilidade. Todas as análises foram realizadas com o auxílio do programa computacional Genes (Cruz; Regazzi, 2001). Na análise de estabilidade, foi utilizado o método de Lin & Binns, modificado por (Carneiro, 1998).

Utilizado para inferir a precisão experimental, o coeficiente de variação (CV) apresentou magnitude menor do que o observado em outros trabalhos. Valores entre 25% e 35% foram obtidos por Juhász et al. (2009) e por Laviola et al. (2010) em diferentes condições edafoclimáticas. A menor estimativa do coeficiente de variação observado neste trabalho deve-se à avaliação de médias de famílias na interpretação do desempenho produtivo do pinhão-mansô.

Segundo Jongschaap et al. (2009), a grande variação observada na produção de grãos dessa oleaginosa deve-se principalmente a diferenças nas condições edafoclimáticas dos seus plantios, estabelecidos em uma extensa faixa entre as latitudes de 30° N e 35° S. No entanto, mesmo em um único ambiente, observa-se grande variação na produção de grãos. Os resultados da análise de variância indicam que os efeitos de famílias e de anos de produção foram significativos, a 1% de probabilidade, para a produção de grãos desse cultivo. Por sua vez, o efeito da interação famílias x anos não foi significativo,

indicando que as famílias mantiveram seu desempenho relativo ao longo do tempo e que os fatores avaliados, famílias e anos, podem ser interpretados separadamente (Tabela 8).

Em contraste com a baixa diversidade genética quantificada por técnicas de marcadores moleculares (Rosado et al., 2010), avaliações agronômicas têm mostrado variabilidade dos componentes da produção do pinhão-mansão (Mishra, 2009). Brittain e Lutaladio (2010) e Jongschaap et al. (2009) reportaram acessos que apresentaram variação em sua produtividade de 0,2 kg a 2 kg por planta de grãos. Embora a utilização de marcadores moleculares permita uma rápida quantificação da diversidade genética, a caracterização de variações aleatórias do genoma da planta não está necessariamente associada aos caracteres de interesse agrônomo (Resende; Duarte, 2007). A existência de variabilidade genética é condição básica para obtenção de ganhos com a seleção. Segundo Resende (2002), a interpretação de medições ao longo do tempo é fundamental para a caracterização do desempenho produtivo de espécies vegetais perenes que apresentam longo ciclo reprodutivo e expressão diferenciada dos caracteres ao longo do tempo.

De acordo com Brittain e Lutaladio (2010), o pinhão-mansão necessita de 3 a 4 anos para atingir a idade produtiva, e poucos trabalhos quantificaram a produção de árvores com mais de 3 anos de plantio. A interpretação das médias de produção das famílias no 2º, 3º e 4º anos pós-plantio evidencia uma tendência das famílias mais produtivas em manter sua superioridade ao longo do tempo e uma redução na produção de grãos no 4º ano de plantio (Tabela 8 e Figura 5).

O desempenho produtivo das famílias foi comparado pelo teste de Scott e Knott (1974) a 1% de probabilidade para classificar o desempenho em grupos mutuamente exclusivos (Tabela 8). Os resultados do teste indicam que as médias das famílias se diferenciaram nos três anos e que a produtividade foi reduzida significativamente no 4º ano, igualando-se à produtividade do 2º ano.

É importante considerar que, além das diferenças observadas nas médias das famílias nos três anos de produção, podem existir plantas que se destacam individualmente dentro das famílias. Segundo Resende (2002), os métodos de seleção de plantas perenes devem priorizar os indivíduos, como unidade de seleção, em relação às famílias, visando maximizar o ganho, pela propagação vegetativa das plantas de valor genético superior.

Tabela 8. Resumo da análise de variância da produção de grãos de *Jatropha curcas* L., avaliada no 2º, 3º e 4º anos pós-plantio.

FV	gl	SQ	QM	F
Blocos	2	179.210		
Famílias	15	709.139	47.275	2,17**
Erro a	30	531.997		
Anos	2	4.193.366	2.096.683	353,64**
Famílias x anos	30	177.862	5.928	1,44 ^{NS}
Erro b	64	263.438		
Total	143			
Média	590,26			
CVa (%)	22,56			
CVb (%)	10,87			

** Significativo a 1% de probabilidade.

FV: fonte de variação, GL: graus de liberdade, SQ: soma de quadrados, QM: quadrado médio, CVa: coeficiente de variação da parcela, CVb: coeficiente de variação da subparcela.

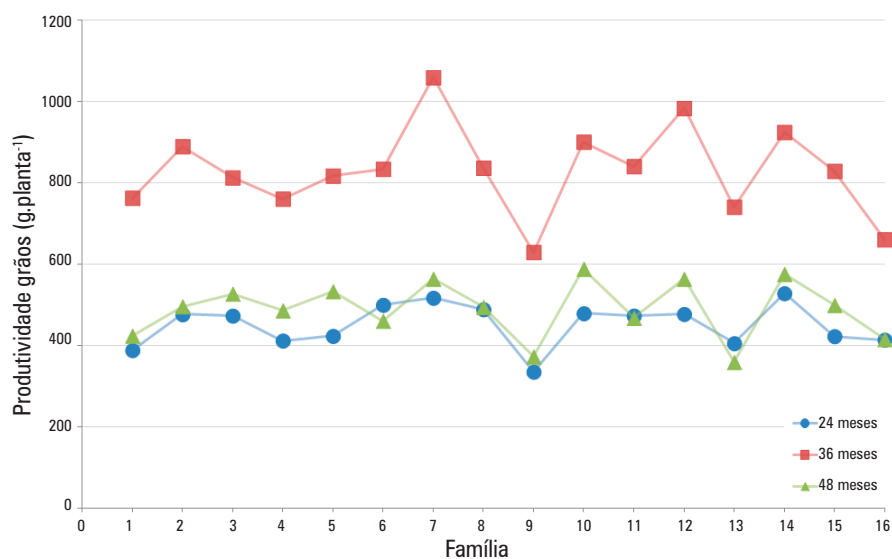


Figura 5. Representação gráfica das médias de produção de grãos das 16 famílias de *Jatropha curcas* L., no 2º, 3º e 4º anos pós-plantio.

Progresso genético: Características agronômicas

Embora a expectativa inicial fosse de 4 t ha⁻¹ de grãos ou mais, produções inferiores a 2 t ha⁻¹ estão sendo observadas em diferentes condições edafoclimáticas, seja por limitações hídricas seja por ataques de pragas e doenças. A incidência de oídio (*Oidium* sp.) em regiões de cerrado e o ataque da cigarrinha-verde (*Empoasca* spp.) têm sido observados em plantios em diversas regiões do mundo, inclusive no Brasil (Dias et al., 2007b; Laviola et al., 2010).

Fontes de variabilidade para resistência a oídio, para ausência de toxidez nas sementes e para proporção de flores masculinas e femininas têm sido caracterizadas (Laviola et al., 2012). Diferentes estratégias vêm sendo utilizadas para a seleção de materiais. Drummond et al. (2010) caracterizaram acessos responsivos à melhoria ambiental que produziram, no 1º ano pós-plantio, 2,1 kg de grãos por planta em sistema irrigado. Por sua vez, em condições de Cerrado e sem irrigação, Laviola et al. (2010) observaram variação na produção de grãos de 0 g a 180 g por planta no 1º ano de avaliação.

A utilização de medidas repetidas e a avaliação de plantas em idade produtiva são importantes para obtenção de estimativas mais acuradas da produção de grãos. Nesse caso, a estimação do coeficiente de repetibilidade, que mensura a capacidade do indivíduo de manter sua superioridade ao longo do tempo, é especialmente útil (Cruz; Regazzi, 2001). Segundo Resende e Duarte (2007), a utilização de medidas repetidas e a estratificação ambiental aumentam a acurácia da seleção massal, subsidiando a obtenção de estimativas do progresso genético e do número mínimo de avaliações. Na seleção de plantas de maior estabilidade e adaptabilidade, tem sido utilizado o método da média harmônica da performance relativa dos valores genéticos preditos (MHPRVG). Esse método permite realizar a seleção simultânea de plantas de desempenho superior e de estabilidade produtiva, porém agrega as vantagens dos modelos mistos (Resende, 2002).

A seleção de plantas baseia-se nos valores genéticos aditivos das matrizes que serão recombinadas e nos valores genotípicos dos genótipos que podem ser propagados vegetativamente. Para a predição dos ganhos com a seleção, é necessário estimar a variância genética aditiva e a variância genética não aditiva, dependendo do método de propagação utilizado. O sucesso do melhoramento genético depende da acurácia da seleção dos indivíduos portadores de maior número de alelos favoráveis. Entre os principais

procedimentos para a estimação dos parâmetros genéticos, destaca-se a máxima verossimilhança restrita/melhor predição linear não viesada (REML/Blup). Esse procedimento tem-se consolidado na avaliação genética de espécies perenes, por permitir a predição de valores genéticos associada às observações fenotípicas, ajustando-se os dados aos efeitos fixos e ao número desigual de informações por parcela.

No intuito de caracterizar o progresso genético com a seleção de plantas, foram estimados os parâmetros genéticos de características produtivas e de qualidade da matéria-prima no 2º, 3º e 4º anos pós-plantio. Para isso foi instalado um experimento em fevereiro de 2008, no campo experimental do Cpafr, na Embrapa-, em Porto Velho, RO. O ensaio está representado por famílias de meias-irmãs de pinhão-manso, oriundas de uma população composta de sementes crioulas de origem genética desconhecida, a partir de plantas selecionadas visualmente no município de Ariquemes, RO. Avaliaram-se 16 famílias de meias-irmãs, no 2º, 3º e 4º anos pós-plantio, instaladas em blocos ao acaso com três repetições, parcelas lineares de oito plantas e espaçamento de 3,0 m x 2,0 m. O manejo do plantio foi realizado conforme recomendações de Dias et al. (2007a) com adaptações. A colheita e o manejo do experimento foram realizados conforme descrito no tópico anterior. Spinelli et al. (2015) descrevem de forma detalhada o manejo e as condições edafoclimáticas.

Os frutos em estágio final de maturação foram colhidos nas árvores e nas projeções das suas copas, secos à sombra por aproximadamente 7 dias e depois beneficiados. Após o beneficiamento, a umidade das sementes foi mensurada. Lotes de sementes com teor de umidade inferior a 9% foram pesados e anotados, resultando na produção de grãos (PG). O número de frutos maduros foi interpretado como um índice de maturação de frutos (IM), estimado pela razão do número de frutos maduros e o total de frutos produzidos. Também foi avaliado o número de frutos por cachos (F/C). Os seguintes caracteres vegetativos foram medidos em nível de indivíduo: a) altura de plantas (ALT), em m; b) número de ramos (NR), contados aqueles acima de 1 m de altura da planta a partir do solo; c) projeção da copa no sentido do maior espaçamento (P_1), em m; d) projeção da copa no sentido do menor espaçamento (P_2), em m.

Para estimação dos componentes de variância, utilizou-se o método REML, enquanto a predição dos valores genéticos foi processada com o método Blup, conforme descrito por Resende (2002). A herdabilidade em sentido restrito mensura a proporção

relativa dos efeitos genotípicos na expressão das características. É um dos componentes mais importantes da expressão do progresso genético com a seleção de plantas:

$$h_a^2 = \frac{\sigma_a^2}{\sigma_a^2 + \sigma_e^2 + \sigma_p^2}$$

em que:

h_a^2 = herdabilidade em sentido restrito;

σ_a^2 = variância genética aditiva;

σ_e^2 = variância ambiental;

σ_p^2 = variância entre parcelas.

A avaliação de medidas repetidas no tempo é de grande importância para o melhoramento de espécies perenes, pois permite quantificar a manutenção da superioridade de um genótipo ao longo do tempo. Nesses casos, a seleção deve se basear em modelos que considerem o efeito permanente do ambiente e a correlação fenotípica entre medidas repetidas de mesmo indivíduo, denominada de repetibilidade (Resende, 2002).

Para seleção entre famílias e dentro delas, foi considerado o procedimento da média harmônica da performance relativa dos valores genéticos (MHPRVG), visando selecionar, simultaneamente, para produtividade e estabilidade. Este método baseia-se em uma propriedade da média harmônica que favorece os genótipos de valor genético superior que apresentam menor variação entre as colheitas (Resende 2002).

Nos programas modernos de melhoramento vegetal, o planejamento e a condução dos experimentos se fundamentam na interpretação das estimativas dos parâmetros genéticos que permitem inferir a qualidade experimental, a proporção da variância total decorrente das diferenças genéticas e a predição do ganho com a seleção de plantas. Em plantas perenes, a estimação dos parâmetros genéticos deve considerar medições ao longo do tempo, plantio adensado e plantas em idade produtiva.

A variância genética aditiva é um dos componentes mais importantes da variância genotípica. A relação entre a variância genética aditiva (V_a) e a variância fenotípica (V_t), denominada de herdabilidade em sentido restrito, mensura a contribuição dos genes na

expressão das características. No 2º ano pós-plantio, maiores estimativas de herdabilidade em sentido restrito foram observadas na maioria das características avaliadas (Tabela 9). De maneira geral, observa-se coincidência com o ordenamento das estimativas de herdabilidade no 3º ano pós-plantio ($F/C \geq NR \geq PG \geq ALT \geq P_1 \geq NC \geq P_2 \geq IM$) (Tabelas 9 e 10). Esse ordenamento indica a utilidade dessas características para a seleção de plantas, uma vez que a variância genética aditiva está associada ao efeito médio de substituição gênica obtido com a recombinação das plantas selecionadas.

Tabela 9. Parâmetros genéticos estimados no 2º ano pós-plantio, dos principais componentes de produção em *Jatropha curcas*.

Parâmetro ⁽²⁾	Componentes de produção ⁽¹⁾							
	PG	NC	F/C	IM	NR	ALT	P ₁	P ₂
V _a	7.908,79	35,51	1,84	0,00264	10,55	0,0170	0,045	0,0005
V _{parc}	524,12	0,208	0,27	0,00025	0,46	0,0001	0,001	0,0001
V _e	12.540,38	78,65	1,39	0,03327	13,44	0,0270	0,034	0,0720
V _f	20.973,29	114,37	3,50	0,03616	24,45	0,0441	0,080	0,0725
h ² _a	0,38	0,31	0,52	0,07	0,43	0,39	0,56	0,01
	[0,18]	[0,16]	[0,20]	[0,07]	[0,18]	[0,18]	[0,30]	[0,01]
c ² _{parc}	0,024	0,001	0,077	0,01	0,018	0,002	0,016	0,00012
Acurácia	0,49	0,45	0,56	0,22	0,51	0,5	0,57	0,72
CV _g	19,73	15,16	33,06	7,34	30,16	6,45	24,99	2,66
CV _e	31,72	27,18	43,85	27,07	45,48	10,38	33,11	32,05
CV _f	0,62	0,56	0,75	0,27	0,66	0,62	0,75	0,08
Média geral	450,85	39,31	4,1	0,70	10,77	2,02	0,85	0,84

⁽¹⁾ PG = produção de grãos; NC = número de cachos da primeira colheita do ano; F/C = número de frutos por cacho da primeira colheita do ano; IM = índice de maturação; NR = número de ramos; ALT = altura de plantas; P₁ = projeção de copa no menor espaçamento; P₂ = projeção de copa no maior espaçamento.

⁽²⁾ V_a = variância genética aditiva; V_{parc} = variância ambiental entre parcelas; V_e = variância residual; V_f = variância fenotípica individual; h²_a = herdabilidade individual no sentido restrito; c²_{parc} = coeficiente de determinação dos efeitos da parcela; CV_g = coeficiente de variação genético; CV_e = coeficiente de variação residual; CV_f = coeficiente de variação relativo.

No 2º ano pós-plantio, as características ALT, NR e P_1 apresentaram valores de herdabilidade em sentido restrito entre 0,39, 0,43 e 0,56, indicando a importância do componente genético aditivo na sua expressão (Tabela 9). Laviola et al. (2010) observaram que características vegetativas apresentaram maiores estimativas de herdabilidade em sentido restrito. No entanto, observou-se tendência de redução nessas estimativas com o passar do tempo.

A utilização de espaçamento de 2 m entre plantas reduziu o crescimento da projeção de copa das plantas a partir do 2º ano pós-plantio, tendo limitado a avaliação dessa característica nos anos subsequentes. A avaliação de plantas em espaçamentos menos restritos mostra tendência contrária à observada, no caso de aumento da herdabilidade com o passar dos anos. Ginwal et al. (2005) quantificaram estimativa de herdabilidade em sentido amplo de 0,89 para a altura em plantas avaliadas aos 6 meses de idade, e 0,97 aos 24 meses de plantio. Rao et al. (2009) encontraram herdabilidade em sentido amplo de 0,88 para altura de planta aos 34 meses de plantio.

Ainda considerada uma planta em fase de domesticação, a sustentabilidade desse cultivo depende de aumento qualitativo da produtividade. Associações positivas entre o número de ramos e a altura de plantas com produtividade foram observadas por Rao et al. (2009) e por Spinelli et al. (2015). Os coeficientes de variação da produção de grãos indicam que a magnitude do erro experimental é semelhante ao observado em outros trabalhos (Juhász et al., 2009; Laviola et al., 2010). Características provenientes de contagens, tais como número de ramos e índice de maturação, tendem a apresentar maiores valores de coeficiente de variação (Cruz; Regazzi, 2001). De maneira geral, para essas características, observa-se tendência de redução dos valores do coeficiente de variação ambiental a partir do 2º ano pós-plantio.

O coeficiente de variação genética expressa a magnitude da variação genética em relação à média do caráter, além de indicar a presença de variabilidade genética na população avaliada (Tabelas 9 e 10). Já o coeficiente de variação relativa (CV_r) mensura a relação entre o coeficiente de variação genético e o coeficiente de variação ambiental. No 2º ano pós-plantio, maiores relações entre os coeficientes de variação genético e experimental foram observadas para as seguintes características: $P_1 = F/C \geq NR \geq ALT = PG \geq NC \geq IM \geq P_2$ (Tabela 9). O maior valor dessa estimativa está associado às características com maiores possibilidades de obtenção de ganhos com a seleção.

O índice de maturação dos frutos, que representa o percentual de frutos maduros no momento da colheita, indica predominância do efeito ambiental no desenvolvimento dos frutos dessa oleaginosa (Tabelas 9 e 10). A desuniformidade de maturação dos frutos é uma característica dessa oleaginosa que floresce constantemente durante o período das chuvas, e a colheita é realizada após o acúmulo de três a quatro floradas de maior vigor. A predominância do componente ambiental em relação ao componente genético indica pequenos ganhos com a seleção dessa característica.

Tabela 10. Estimativas de parâmetros genéticos estimados no 3º ano pós-plantio, dos principais componentes de produção em *Jatropha curcas*.

Parâmetro ⁽²⁾	Componentes de produção(1)							
	PG	NC	F/C	IM	NR	ALT	P ₁	P ₂
V _a	36.175,26	12,9405	0,4025	0,0001	20,05	0,021	0,021	0,0005
V _{parc}	9.037,61	2,459	0,009	0,0000	0,029	0,0000	0,00018	0,0001
V _e	45.144,74	53,148	0,326	0,0160	19,87	0,047	0,0567	0,081
V _f	90.357,61	68,55	0,7375	0,0161	39,949	0,068049	0,07788	0,0816
h ² _a	0,40	0,19	0,55	0,01	0,50	0,31	0,27	0,01
	[0,18]	[0,12]	[0,21]	[0,01]	[0,19]	[0,15]	[0,15]	[0,01]
c ² _{parc}	0,10	0,03	0,01	0,00	0,07	0,01	0,02	0,01
Acurácia	0,50	0,35	0,57	0,07	0,54	0,44	0,43	0,06
CV _g	22,90	13,66	17,10	1,57	17,91	5,31	4,88	0,78
CV _e	34,34	30,86	23,01	18,94	25,27	9,55	9,39	9,95
CV _f	0,67	0,44	0,74	0,08	0,71	0,56	0,52	0,08
Média geral	830,53	26,34	3,71	0,67	25,00	2,73	2,97	2,87

⁽¹⁾ PG = produção de grãos; NC = número de cachos da primeira colheita do ano; F/C = número de frutos por cacho da primeira colheita do ano; IM = índice de maturação; NR = número de ramos; ALT = altura de plantas; P₁ = projeção de copa no menor espaçamento; P₂ = projeção de copa no maior espaçamento. ⁽²⁾ V_a = variância genética aditiva; V_{parc} = variância ambiental entre parcelas; V_e = variância residual; V_f = variância fenotípica individual; h²_a = herdabilidade individual no sentido restrito; c²_{parc} = coeficiente de determinação dos efeitos da parcela; CV_g = coeficiente de variação genético; CV_e = coeficiente de variação residual; CV_f = coeficiente de variação relativo.

Por sua vez, o número de frutos por cacho apresentou maior potencial para seleção do que o número de cachos por planta, diferentemente do observado por Borges et al. (2014). Em população estruturada em procedências, esse autor não observou variabilidade genética para número de frutos por cacho. No presente estudo, a avaliação de famílias de meias-irmãs permite explorar a variância genética aditiva na seleção de plantas para obtenção de ganhos em características de menor herdabilidade, aumentando a possibilidade de obter ganhos com a seleção (Tabela 11).

Tabela 11. Estimativas de parâmetros genéticos da produção de grãos (g por planta) e das principais características de arquitetura de copa avaliadas em *Jatropha curcas*, no 2º, 3º e 4º anos pós-plantio.

Parâmetro ⁽²⁾	Componentes de produção ⁽¹⁾			
	PG	ALT	P ₁	P ₂
V _a	17.842,89	0,01463	0,0023	0,0001
V _{parc}	8.053,09	0,01097	0,04479	0,00001
V _{perm}	3.715,24	0,00004	0,00006	0,00006
V _e	27.449,98	0,04016	0,074	0,018
V _f	57.061,2	0,0658	0,12115	0,01817
h ² _a	0,31	0,22	0,02	0,01
	[0,10]	[0,08]	[0,01]	[0,01]
r	0,52	0,39	0,38	0,02
	[0,06]	[0,05]	[0,06]	[0,06]
c ² _{parc}	0,14	0,16	0,36	0,16
c ² _{perm}	0,06	0,0007	0,0005	0,001
Média geral	222,96	2,78	2,40	2,19

⁽¹⁾ PG = produção de grãos; ALT = altura de plantas; P₁ = projeção de copa no menor espaçamento; P₂ = projeção de copa no maior espaçamento.

⁽²⁾ V_a = variância genética aditiva; V_{parc} = variância ambiental entre parcelas; V_{perm} = variância dos efeitos permanentes de ambiente; V_e = variância residual; V_f = variância fenotípica individual; h²_a = herdabilidade individual no sentido restrito; r = repetibilidade individual; c²_{parc} = coeficiente de determinação dos efeitos da parcela; c²_{perm} = coeficiente de determinação dos efeitos permanentes de ambiente.

Avaliações agrônômicas têm mostrado variabilidade dos componentes da produção de pinhão-mansão (Mishra, 2009). No entanto, mesmo em um único ambiente, observou-se que o plantio de materiais não selecionados é um importante fator de variação da produção de grãos. Dos 384 genótipos avaliados no presente estudo, 40 deles (10%) produziram menos de 300 g de frutos por ano, sem apresentar resposta à melhoria do ambiente. A seleção de genótipos responsivos à melhoria ambiental é fator determinante para o aumento da produtividade dessa oleaginosa. Melhorias nas condições do experimento foram obtidas pela calagem em área total e adubação química por cobertura realizada antes das principais colheitas, conforme resultados das análises de solo realizadas de agosto de 2008 a setembro de 2010 (Tabela 12).

Tabela 12. Atributos químicos do solo na camada de 0 cm a 20 cm, avaliados em 2009, 2010 e 2011, na área experimental localizada no município de Porto Velho, RO.

Data	pH	P mg/dm ³	K	Ca ----- mmol _c dm ⁻³ -----	Mg	Al + H -----	Al	MO g kg ⁻¹	V %
9/2009	4,4	3,0	2,54	13,1	9,7	174,9	33,6	23,1	13
9/2010	4,8	2,0	1,03	26,3	17,0	108,9	14,8	25,2	29
9/2011	5,0	2,0	1,23	45,1	21,5	90,8	6,8	27,4	43

P = fósforo (Mehlich⁻¹); K = potássio trocável (Mehlich⁻¹); Ca = cálcio trocável; Mg = magnésio trocável; Al + H = acidez titulável; Al = alumínio trocável; MO = matéria orgânica; V = saturação por bases.

De acordo com Brittain e Litaladio (2010), o pinhão-mansão necessita de 3 a 4 anos para atingir a idade produtiva. Jongschaap et al. (2009) e Laviola et al. (2012) observaram coeficiente de repetibilidade entre 0,4 e 0,6 para produção de grãos de *J. curcas*, valores esses compatíveis com a estimativa obtida neste trabalho ($\rho=0,52$). A correlação entre os valores genotípicos verdadeiros e os valores estimados, interpretada como a acurácia do procedimento de seleção, quantifica a eficácia da inferência do valor genotípico em função do número de colheitas avaliadas. Segundo classificação de Resende (2002), o valor da acurácia da seleção evidenciou precisão satisfatória nas inferências dos valores genotípicos ($r_{gg}=0,68$), indicando que a condução experimental foi apropriada e as avaliações das cinco colheitas suficientes para a caracterização dos genótipos superiores.

A seleção de plantas de maior potencial produtivo é considerada uma das melhores alternativas para o aumento da produtividade, sem elevação de custos adicionais. Projeções de produtividade baseadas em observações isoladas, ou de plantas com pou-

cos meses de plantio, contribuíram para criar expectativas de produtividade que não têm sido observadas em campo. Dois critérios foram considerados para a seleção de matrizes: a intensidade de seleção, definida pela maximização do limite inferior do intervalo de confiança do ganho genético corrigido para endogamia, e o número efetivo. O ganho genético é diretamente proporcional à intensidade de seleção. A maximização do limite inferior do intervalo de confiança do ganho genético ocorreu com a seleção das 12 melhores plantas provenientes de apenas 7 famílias. O progresso genético na produção acumulada estimado com a seleção desses indivíduos foi de 42% (Tabela 13). Além desse critério, também foi considerada a necessidade de trabalhar com maior número de indivíduos, a fim de assegurar um número efetivo mínimo, que permita a manutenção da variabilidade nas etapas seguintes de seleção (Resende, 2002). Pela associação desses dois critérios, além dos 12 indivíduos de melhor desempenho, também foram selecionados os melhores indivíduos de cada família, permitindo a elevação do número efetivo de 7,7 para 18,2. O progresso genético na produção acumulada estimado com a seleção desses indivíduos foi de 25% (Tabela 14).

A seleção de plantas nas condições edafoclimáticas dos trópicos favorece a caracterização local de genótipos adaptados a temperatura e umidade elevadas, menor irradiação solar e período seco bem definido. A clonagem das plantas, seja pelo plantio de estacas da haste vegetativa seja por cultura de tecidos, permite a exploração do valor genotípico completo do indivíduo. Entre os genótipos de desempenho superior para produção, foram agrupados os 12 melhores clones que maximizam o ganho genético (Tabela 13).

Os ganhos genéticos percentuais para a produção de grãos com o plantio dos genótipos selecionados no 2º, 3º e 4º anos pós-plantio foram, respectivamente, 33,3, 41,6 e 56,7, o que equivale a uma produção de 1,0 t ha⁻¹, 2,0 t ha⁻¹ e 1,3 t ha⁻¹ (Tabela 13). O ganho de seleção obtido com o plantio de clones foi menor do que o observado em outros cultivos. A ocorrência de diferentes níveis de endogamia nas famílias, resultantes de autofecundações, é a hipótese mais provável para os valores moderados estimados. Observação de segregação de plantas albinas na proporção de 3:1 reforçam a hipótese de avaliação de plantas aparentadas (Figura 6). Segundo Rosado et al. (2010), o cultivo por vários anos de plantas isoladas de pinhão-mansão em território brasileiro tem favorecido a autofecundação entre plantas. Utilizando marcadores moleculares, Laviola et al. (2012) observaram que, mesmo em plantios adensados, essa oleaginosa apresenta uma taxa natural de 30% de autofecundação.



Figura 6. Segregação de albinismo em mudas produzidas a partir de sementes provenientes de acesso isolado de *J. curcas*, 22 plantas normais e 8 plantas albinas. As letras A e E identificam as plantas saudáveis, e as letras B, C e D as plantas albinas.

Tabela 13. Estimativas de valores genotípicos acrescidos à média geral de produção de grãos (g por planta) de *Jatropha curcas*, relativas a 12 plantas selecionadas para serem propagadas vegetativamente.

Ordem	Bloco	Família	Planta	Anos pós-plantio			PG	MHPRVG
				2º	3º	4º		
1	1	10	7	541,83	1.501,53	1.004,34	3.047,70	1,60
2	3	8	7	693,21	1.158,55	713,86	2.565,62	1,46
3	1	7	4	570,68	1.297,20	736,39	2.604,26	1,43
4	3	12	1	644,69	1.138,45	721,14	2.504,29	1,42
5	3	12	4	564,67	1.302,04	719,83	2.586,54	1,42
6	3	7	5	657,40	1.107,90	681,75	2.447,05	1,39
7	2	6	2	684,15	1.061,67	686,63	2.432,46	1,39
8	1	14	3	604,57	1.029,22	809,57	2.443,36	1,39
9	1	1	6	623,03	988,42	806,69	2.418,15	1,38
10	1	7	8	461,43	1.212,33	880,02	2.553,77	1,35
11	2	10	2	625,11	1.138,02	751,41	2.354,53	1,35
12	3	7	1	540,75	1.176,67	689,13	2.406,54	1,34
Média geral				450,85	830,53	489,27	1.773,07	
Nova média				600,96	1.176,00	766,73	2530,36	
Ganho de seleção (%)				33,29	41,60	56,71	42,71	

PG = produção de grãos; MHPRVG = média harmônica da performance relativa dos valores genéticos; Ne = tamanho efetivo populacional.

Em alguns aspectos, os resultados do presente estudo levantam mais questões do que oferecem respostas quanto à melhor maneira de uso do pinhão-mansão para produção de biodiesel. A constatação de que a uniformidade de maturação apresenta efeito ambiental predominante indica que práticas de manejo têm maior potencial para concentrar a colheita dessa oleaginosa. Alguns trabalhos indicam resultados promissores com a utilização de reguladores de crescimento para aumento da uniformidade de maturação e produção dessa oleaginosa (Abdelgadir et al., 2010; Ghosh et al., 2010). Também se destaca a boa adaptação dessa oleaginosa à região que se caracteriza pela alta pluviosidade e déficit hídrico bem definido, os quais contribuem para uma colheita antecipada em relação a outras regiões do País, fora da época de incidência das principais pragas desse cultivo.

Tabela 14. Estimativas de valores genéticos aditivos acrescidos à média geral da produção de grãos (g por planta) de *Jatropha curcas*, relativas a 23 plantas selecionadas para compor uma unidade de recombinação.

Ordem	Bloco	Família	Planta	Anos pós-plantio			PG	MHPRVG	Ne
				2º	3º	4º			
1	1	10	7	513,43	1.254,3	828,89	2.596,62	1,41	1,0
2	1	7	4	541,4	1.179,29	660,54	2.381,23	1,31	2,0
3	3	12	1	574,64	1.061,4	651,35	2.287,38	1,29	3,0
4	3	7	5	593,44	1.065,71	627,75	2.286,91	1,29	3,5
5	3	12	4	526,63	1.159,55	650,56	2.336,74	1,29	4,1
6	3	8	7	607,02	1.029,33	625,8	2.262,15	1,28	5,1
7	1	14	3	564,87	978,09	708,1	2.251,06	1,28	6,1
8	1	7	8	475,86	1.128,37	746,71	2.350,94	1,28	6,3
9	3	7	1	523,45	1.106,98	632,18	2.262,6	1,26	6,3
10	2	14	3	529,08	1.007,17	665,47	2.201,73	1,24	6,9
11	2	10	2	563,4	976,19	641,13	2.180,72	1,24	7,6
12	3	7	8	529,46	1.056,21	628,69	2.214,37	1,24	7,7
13	1	1	6	536,8	905,0	667,2	2.109,0	1,20	8,6
14	2	2	1	514,7	1.032,5	561,7	2.108,9	1,20	9,5
15	2	3	2	524,4	1.033,1	576,8	2.134,2	1,20	10,4
16	2	4	7	443,7	952,5	669,0	2.065,3	1,10	11,4
17	3	5	8	514,4	918,7	679,2	2.112,4	1,20	12,3

Continua...

Tabela 14. Continuação.

Ordem	Bloco	Família	Planta	Anos pós-plantio			PG	MHPRVG	Ne
				2º	3º	4º			
18	2	6	2	604,6	970,3	599,0	2.173,9	1,20	13,3
19	3	9	5	391,8	786,0	399,0	1.576,8	0,90	14,3
20	2	11	5	506,3	945,5	599,7	2.051,5	1,20	15,2
21	2	13	4	471,1	812,3	432,3	1.715,7	1,00	16,2
22	2	15	1	475,2	1.002,5	601,7	2.079,5	1,20	17,2
23	2	16	3	467,8	880,5	543,5	1.891,8	1,10	18,2
Média geral				450,85	830,53	489,27	1.773,07		
Nova média				526,33	1.047,32	643,517	2.217,17		
Ganho de seleção (%)				16,74	26,10	31,53	25,05		

PG = produção de grãos; MHPRVG = média harmônica da performance relativa dos valores genéticos; Ne = tamanho efetivo populacional.

Progresso genético: Teor de óleo

As características de qualidade da matéria-prima de *J. curcas* diferenciam-se principalmente em relação ao peso de grãos, de amêndoas, de casca e ao teor de óleo dos grãos (Rao et al., 2009). As sementes do pinhão-mansinho possuem tegumento rijo e quebradiço, que reveste a amêndoa de albúmen branco e oleaginoso. Segundo Heller (1996), quando secas as sementes apresentam tamanho de 1,5 cm a 2,0 cm de comprimento, 1,0 cm a 1,5 cm de largura e peso individual de 0,5 g a 0,8 g, dependendo da variedade e dos tratos culturais. De acordo com Heller (1996), a semente apresenta em média as proporções de 45% de casca e 55% de amêndoa. Segundo Arruda et al. (2004), as sementes de pinhão-mansinho apresentam faixa de variabilidade para teor de óleo entre 25% e 40%.

A magnitude e o sentido das correlações genéticas fazem com que a seleção baseada em uma única característica resulte em alterações não desejadas nos componentes de produção dessa oleaginosa. Essas alterações são chamadas de respostas correlacionadas, e o seu sentido deve ser considerado na seleção de plantas (Cruz et al., 2004). Kaushik et al. (2007) observaram a ocorrência de correlação positiva e de alta magnitude entre peso das sementes e teor de óleo.

Outros trabalhos objetivaram determinar o teor de óleo a partir de amostragens aleatórias de várias regiões, inferindo acerca do efeito ambiental sobre essa característica (Ginwal et al., 2005). No entanto, poucos trabalhos quantificaram os componentes genéticos e o ganho com a seleção considerando medidas repetidas e a avaliação de plantas em idade produtiva. Assim, objetivou-se estimar os parâmetros genéticos de características de qualidade de grãos de pinhão-mansos aos 36 e 48 meses de plantio e quantificar o progresso genético da seleção de plantas.

Foram caracterizadas amostras de frutos de 120 plantas selecionadas ao acaso dentro de uma população de pinhão-manso, aos 36 e 48 meses de cultivo, em plantio comercial localizado no município de Ariquemes, RO (latitude 9° 55' 24.50 S; longitude 63° 7' 15.58 O e 142 m de altitude). Rocha et al., 2012 descreveram de forma detalhada o manejo e as condições edafoclimáticas.

As características de qualidade dos grãos, peso de grãos, peso de casca, peso de amêndoas e teor de óleo foram avaliadas no Laboratório de Extração de Óleos da Universidade Federal de Rondônia (UNIR), em Porto Velho, RO. Os procedimentos de extração de óleo foram realizados segundo as normas do Instituto Adolfo Lutz (Zenebon et al., 2008), que compreendem umidade e cinzas. Descrição detalhada é apresentada por (Rocha et al., 2012).

Observou-se efeito significativo da interação genótipos x anos para todas as características avaliadas, indicando que existem genótipos de desempenho diferenciado aos 36 e 48 meses de plantio (Tabela 15). Os valores do coeficiente de variação indicam que a magnitude do erro experimental é compatível com uma adequada avaliação experimental (Zenebon et al., 2008).

O desempenho diferenciado dos genótipos ao longo dos anos é uma característica típica das espécies perenes, causada pela influência do ambiente na expressão dos caracteres. Especificamente, o efeito de medições foi significativo para peso da amêndoa e teor de óleo (Tabela 15). O peso de amêndoas e o teor de óleo dos grãos dependem da taxa de acúmulo de matéria seca durante o estágio de enchimento de grãos, a qual é determinado pela expressão dos genes influenciada pelo ambiente.

O teor de óleo nos grãos mostrou variabilidade genética significativa pelo teste F a 1% de probabilidade (Tabela 15). Em outras populações de pinhão-manso, resultados

semelhantes foram encontrados, como os observados por Kaushik et al. (2007), que verificaram diferenças significativas no teor de óleo de 24 acessos provenientes da Índia. A ocorrência de variabilidade genética significativa entre as plantas é fundamental para o progresso genético da prática da seleção e depende da contribuição significativa do efeito do genótipo para a expressão da característica.

Tabela 15. Resumo da análise de variância das características de qualidade dos grãos de *Jatropha curcas* avaliados aos 36 e 48 meses de plantio.

Variáveis		Peso de casca	Peso de amêndoa	Peso de grãos	Teor de óleo
FV	GL	F			
Genótipos	119	8,859**	13,56**	14,33**	11,37**
Medição	1	0,481 ^{NS}	4,391**	1,838 ^{NS}	76,49**
G x M	119	3,035**	5,378**	5,41**	6,38**
Resíduo	240				
Total	479				
Média		4,349	7,218	11,57	0,326

FV = fonte de variação; GL = graus de liberdade; F = Teste F.

** = significativo a 1% de probabilidade pelo teste F; * = significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; ^{NS} = não significativo.

A média geral do teor de óleo observada no plantio (35%) é comparável com a média de 34,5% quantificada por Heller (1996), tendo sido obtidos valores mínimos e máximos de 23,3% e 39,0% aos 36 meses e de 27,1% e 40,2% aos 48 meses. Kaushik et al. (2007) observaram uma faixa de variabilidade entre 28,77% e 38,88%. A média e a dispersão dos valores indicam representatividade dos materiais avaliados em relação à variabilidade descrita para a espécie. Recentemente novos acessos têm sido caracterizados na América Central, centro de origem dessa oleaginosa. Pecina-Quintero et al. (2011) descreveram genótipos provenientes da América Central que apresentam teor de óleo superior a 50%.

As estimativas do efeito aleatório de genótipo e do efeito permanente de ambiente permitem quantificar a proporção de variação total que se deve à diferença entre os genótipos (Rocha et al., 2012). O coeficiente de variação genético, que mensura a fração da variância total devida à variação genotípica entre plantas, indicou predominância do componente genético na expressão das características de qualidade. Segundo Resende

e Duarte (2007), os valores de herdabilidade observados podem ser considerados de alta magnitude e acurados, uma vez que os valores de desvio-padrão observados são inferiores a 20% do valor das estimativas (Tabela 16). A repetibilidade que representa o limite superior da herdabilidade individual, indica a possibilidade de selecionar genótipos de maior adaptabilidade e estabilidade, ou seja, responsivos à melhoria do ambiente e que mantêm sua superioridade ao longo dos anos.

Tabela 16. Parâmetros genéticos estimados das características de qualidade dos grãos de *Jatropha curcas* avaliadas aos 36 e 48 meses de plantio.

Parâmetros genéticos ⁽¹⁾	Peso de casca	Peso de amêndoa	Peso de grãos	Teor de óleo
36 meses				
$\hat{\sigma}_g^2$	0,0690	0,3571	0,7206	0,00033
$\hat{\sigma}^2$	0,0259	0,1649	0,2604	0,00008
$\hat{\sigma}_f^2$	0,0948	0,5221	0,9810	0,000412
h_g^2	0,727+-0,1570	0,684+-0,1523	0,734+-0,1578	0,795+-0,1642
CV_g	6,0238	8,3687	7,3810	5,7265
CV_e	3,6898	5,6879	4,4373	2,9048
μ	4,3598	7,1406	11,5005	0,3160
48 meses				
$\hat{\sigma}_g^2$	0,0904	0,6797	1,2398	0,0005
$\hat{\sigma}^2$	0,0385	0,0798	0,1816	0,0001
$\hat{\sigma}_f^2$	0,1290	0,7596	1,4214	0,0006
h_g^2	0,700+-0,1441	0,894+-0,1742	0,872+-0,1720	0,787+-0,1634
CV_g	6,9296	11,2981	9,5686	6,3617
CV_e	4,5262	3,8722	3,6616	3,3056
μ	4,3397	7,2972	11,6368	0,3365

⁽¹⁾ $\hat{\sigma}_g^2$ = variância genotípica; $\hat{\sigma}^2$ = variância residual; $\hat{\sigma}_f^2$ = variância fenotípica; $\hat{\rho}_i$ = repetibilidade individual; ρ_{im} = repetibilidade média; $r_{pp_{12}}$ = acurácia de seleção; μ = média do experimento.

A acurácia de seleção definida pela correlação entre o valor genético verdadeiro do indivíduo e o índice fenotípico utilizado para obtenção das estimativas dos componentes genéticos foi interpretada para estimar o número mínimo de avaliações necessárias à seleção de plantas. Valores de acurácia seletiva acima de 80% são adequados para a obtenção de ganhos com a seleção. Maior acréscimo no valor dessa estimativa foi observado com a seleção baseada na informação de duas colheitas. Duas medições foram necessárias para obtenção de estimativas de acurácia de seleção próximas a 80% (Tabela 17).

Tabela 17. Estimativas de repetibilidade e acurácia seletiva das características de qualidade dos grãos de *Jatropha curcas* avaliadas aos 36 e 48 meses de plantio.

Parâmetros genéticos ⁽¹⁾	Peso de casca	Peso de amêndoa	Peso de grãos	Teor de óleo
$\hat{\sigma}_g^2$	0,0580	0,3398	0,6560	0,0002
$\hat{\sigma}^2$	0,0539	0,3000	0,5440	0,0003
$\hat{\sigma}_f^2$	0,1119	0,6399	1,2001	0,0005
$\hat{\rho}_i$	0,516+-0,094	0,531+-0,085	0,546+-0,096	0,425+-0,084
ρ_m	0,6830	0,6937	0,7069	0,5970
$r_{\hat{p}p}$	0,8264	0,8329	0,8408	0,7726
μ	4,3498	7,2186	11,5686	0,3262

⁽¹⁾ $\hat{\sigma}_{gp}^2$ = variância genotípica adicionada aos efeitos permanentes de ambiente; $\hat{\sigma}^2$ = variância residual; $\hat{\sigma}_f^2$ = variância genotípica; $\hat{\rho}_i$ = repetibilidade individual; ρ_{im} = repetibilidade média; $r_{\hat{p}p_{12}}$ = acurácia de seleção; μ = média do experimento.

A decomposição das relações de causa e efeito entre as características produtivas e de qualidade de grãos tem mostrado que não existe associação entre esses componentes do rendimento de óleo (Spinelli et al., 2010). Com o objetivo de selecionar matrizes de qualidade superior de grãos para serem recombinadas com genótipos de maior produção de grãos, considerou-se uma intensidade de seleção de 10%.

A seleção de genótipos superiores pode basear-se em uma única característica ou considerar um conjunto de atributos favoráveis para o desenvolvimento de um produto final de qualidade superior. O ganho da seleção direta em todos os caracteres foi superior ao ganho indireto, ficando próximo nas situações em que as características são correlacionadas,

como peso de amêndoa e teor de óleo (Tabela 18). Segundo Falconer e Mackay (1996), se o caráter auxiliar apresentar maior herdabilidade que o principal, o que não foi observado, a seleção indireta pode promover ganhos maiores do que a seleção direta. Os maiores ganhos individuais foram estimados para peso de amêndoa e teor de óleo.

Os ganhos totais obtidos pelos índices foram semelhantes aos obtidos pela seleção direta, com uma pequena vantagem (Tabela 18). Notadamente, observou-se que os índices permitiram selecionar plantas de maior teor de óleo e maior peso de grãos. O índice genótipo-ideótipo foi o que resultou em maior ganho total (20,68%), tendo promovido alteração mais equilibrada na média das características, uma vez que os ganhos indiretos foram semelhantes aos obtidos pela seleção direta. Os maiores ganhos totais utilizando esse índice foram verificados para peso de amêndoa (9,65%) e teor de óleo (6,28%).

A seleção direta utilizando o peso de amêndoa como caráter principal resultou em ganhos totais semelhantes aos obtidos com a utilização dos índices de seleção (Tabela 18). A associação da maior facilidade de avaliação dessa característica aos ganhos indiretos estimados contribui para que o peso de amêndoa se torne importante critério de seleção.

Tabela 18. Estimativas do progresso genético com o uso de índices de seleção e com a seleção univariada direta e indireta. O ganho com a seleção direta está realçado em negrito na diagonal da tabela.

Característica principal	Ganhos de seleção diretos e indiretos				Ganhos totais
	Peso de casca	Peso de amêndoa	Peso de grãos	Teor de óleo	
Peso de casca	-11,47	-15,42	-14,12	1,83	-16,24
Peso de amêndoa	6,17	11,95	9,91	4,94	20,63
Peso total	6,69	11,83	10,04	4,53	19,71
Teor de óleo	0,86	2,95	2,19	10,06	14,34
Índices	Ganhos de seleção utilizando índices de seleção				
Genótipo-ideótipo	3,27	9,65	8,02	6,28	20,68
Elston (1963)	5,10	10,08	8,44	3,52	16,94
Mulamba & Mock (1978)	3,25	8,29	6,56	4,78	16,38

Em contraste com a baixa diversidade genética quantificada por técnicas de marcadores moleculares (Rosado et al., 2010), avaliações agrônômicas têm mostrado variabilidade genética para os principais componentes da produção do pinhão-mansó (Mishra, 2009). Na seleção para produtividade de grãos, ganhos de seleção superiores a 80% foram estimados por Laviola et al. (2010) e Drumond et al. (2010). No entanto, embora os parâmetros genéticos indiquem predominância da variação genotípica, o progresso genético com a seleção para qualidade de grãos pode ser considerado limitado, indicando a necessidade de avaliação de novos acessos e realização de cruzamentos para produção de variabilidade e seleção de plantas que reúnam um conjunto de caracteres favoráveis.

A produção de grãos é uma característica de controle genético complexo, cuja expressão é influenciada pela ação de milhares de genes e pelo efeito do ambiente (Cruz; Regazzi, 2001). Expectativas não verificadas da produtividade do pinhão-mansó baseadas em observações de plantas isoladas, as quais não consideram a redução no crescimento da planta que ocorre em plantios adensados, fazem da caracterização do potencial produtivo desse cultivo relevante objeto de pesquisa. Contrariando a expectativa de que a produtividade aumenta com o crescimento das plantas, a produção de grãos observada no 4º ano foi menor do que a do 3º (Tabela 19).

Tabela 19. Médias da produção de grãos das famílias de meias-irmãs de *Jatropha curcas* L., avaliadas no 2º, 3º e 4º anos pós-plantio.

Famílias	2º ano	3º ano	4º ano
1	388,40 bB	763,00 cA	424,03 bB
2	476,60 aB	890,20 bA	495,97 aB
3	473,13 aB	813,06 cA	527,60 aB
4	411,87 bB	760,87 cA	486,03 aB
5	423,20 bB	817,93 cA	533,30 aB
6	499,70 aB	834,30 cA	460,40 bB
7	517,13 aB	1059,67 aA	563,93 aB
8	488,90 aB	837,13 cA	494,60 aB

Continua...

Tabela 19. Continuação.

Famílias	2º ano	3º ano	4º ano
9	335,03 bB	629,57 dA	372,57 bB
10	479,03 aB	901,07 bA	588,70 aB
11	473,23 aB	840,83 cA	467,67 bB
12	477,20 aB	984,20 aA	563,80 aB
13	405,27 bB	741,23 cA	359,10 bB
14	528,33 aB	925,00 bA	575,87 aB
15	422,63 bB	829,67 cA	499,40 aB
16	414,03 bB	660,80 dA	415,50 bB
Média	450,85	830,53	489,27

Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na linha constituem grupo estatisticamente homogêneo entre anos. Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na coluna constituem grupo estatisticamente homogêneo de famílias dentro de anos.

O severo ataque de cigarrinha-verde (*Empoasca* spp.) e o menor espaçamento entre plantas limitaram a produção do 4º ano. A cigarrinha-verde é praga-chave do pinhão-manso na Região Amazônica, com incidência entre os meses de março a junho. O amarelecimento e o encarquilhamento das folhas causados pelo ataque de cigarrinhas resultam na redução da eficiência fotossintética da planta com abortamento de flores e frutos (Paiva Neto et al., 2010). A colheita de junho de 2011 foi totalmente comprometida pelo ataque dessa praga, o que reduziu a produção do 4º ano.

A restrição no crescimento vegetativo observada nas plantas que tocaram suas copas no menor espaçamento, logo a partir do 2º ano, foi considerada também um importante fator limitante da produtividade. Avaliações dos componentes de produção do pinhão-manso indicam que a produção de grãos é influenciada principalmente pelo desenvolvimento de copa das plantas (Spinelli et al., 2010). Além da redução na produtividade, observou-se redução acentuada no crescimento das principais características vegetativas entre o 3º e o 4º ano de plantio (Figura 7).

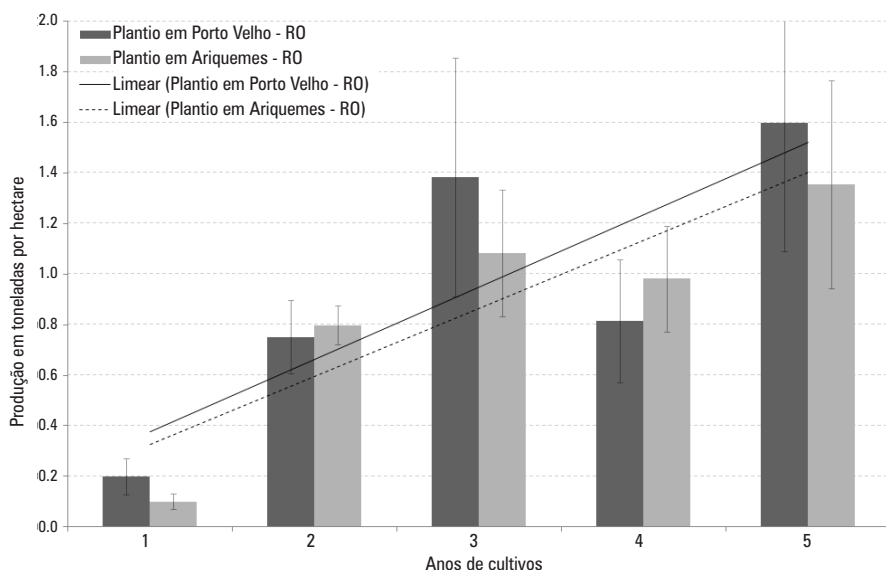


Figura 7. Médias da produção de grãos de plantios de *Jatropha curcas* L., avaliados no 2º, 3º e 4º anos pós-plantio nos municípios de Porto Velho e Ariquemes, RO.

Resposta semelhante foi observada por Borges et al. (2014) em plantio em espaçamento de 3 m x 2 m, em que a média de produção das plantas reduziu de 0,84 kg por planta para 0,55 kg por planta, dos 36 para os 48 meses de plantio. Müller et al. (2015) verificaram correlação entre diferentes espaçamentos e o crescimento de plantas aos 24 meses de plantio. O espaçamento de 3 m x 2 m apresentou os menores crescimentos em altura e diâmetro, e o número de ramos por planta tende a se reduzir com o aumento da densidade de plantio. Laviola et al. (2010) observaram que plantas avaliadas aos 10, 20 e 30 meses após plantio apresentaram menor crescimento no espaçamento 3 m x 1 m. De maneira geral, nesses trabalhos, os maiores espaçamentos testados resultaram em maiores diâmetros de copa, em razão da maior incidência de luz, que estimulou o crescimento lateral das plantas (Müller et al., 2015).

Além da melhoria das condições de plantio, o aumento da produtividade de grãos dessa oleaginosa depende da identificação de materiais genéticos superiores, com maior eficiência em produção de frutos. A avaliação do desempenho de famílias de meias-irmãs é importante por causa da possibilidade de se utilizar a semelhança entre parentes, mensurada pela variância genética aditiva, na seleção de plantas, aumentando a possibilidade

de obtenção de ganhos de seleção em características de menor herdabilidade, como a produção de grãos. As famílias 7, 10, 12 e 14 apresentaram o melhor desempenho médio.

Com o objetivo de verificar a existência de famílias de maior produtividade e estabilidade temporal de produção, utilizou-se a medida não paramétrica P_i de Linn & Binns, modificada por Carneiro (1998). Estimativas não paramétricas se distinguem pela facilidade de interpretação e por se fundamentarem em poucas pressuposições de análise. O método de Linn & Binns fundamenta-se na estimativa de P_i calculado pelo quadrado da diferença entre as famílias avaliadas e a máxima resposta nas medições avaliadas, ponderada por duas vezes o número de medições. Ao estratificar as medições, o método permite a avaliação do ordenamento das melhores famílias nos anos mais e menos favoráveis para a produção de grãos (Tabela 20). De maneira geral, observou-se consistência no ordenamento das famílias, e as famílias 7, 14, 12 e 10 apresentaram melhor desempenho e adaptabilidade em todos os anos de colheita.

Tabela 20. Estimativas dos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade temporal, obtidas pelo método de Linn & Binns, modificado por Carneiro (1998) para produção de grãos em *Jatropha curcas* L., no 2º, 3º e 4º anos de plantio.

Família	Média	P_i geral	Família	P_i (+)	Família	P_i (-)
7	713,6	123,1	7	0,0	14	41,2
12	675,1	1.488,3	12	2.847,6	7	184,7
14	676,4	3.050,0	14	9.067,6	10	607,6
10	656,3	4.597,4	10	12.577,0	12	808,7
2	620,9	6.665,8	2	14.359,5	3	1.695,1
8	606,9	9.988,5	11	23.944,0	8	2.602,4
11	593,9	10.928,9	8	24.760,5	2	2.819,0
3	604,6	11.265,3	6	25.395,1	5	3.530,5
6	598,1	11.345,2	15	26.450,0	6	4.320,2
15	583,9	12.007,8	5	29.217,5	11	4.421,3
5	591,5	12.092,9	3	30.405,8	15	4.786,7
4	552,9	18.897,7	1	44.005,6	4	6.026,2
1	525,1	22.451,3	4	44.640,7	16	10.765,7
13	501,9	28.210,2	13	50.699,9	1	11.674,1
16	496,8	33.692,9	16	79.547,3	13	16.965,4
9	445,7	44.844,1	9	92.493,0	9	21.019,6

Fundamentado nas avaliações ao longo dos anos, acredita-se que o pinhão-mansinho tenha potencial para alcançar maiores produtividades com a seleção de plantas e adaptação das práticas de manejo. Abdelgadir et al. (2010) relataram resultados promissores com o uso de reguladores de crescimento em *J. curcas*. Ghosh et al. (2010) observaram aumento no rendimento de grãos dessa cultura por meio da aplicação de paclobutrazol aos 24 meses após o plantio.

Considerações finais

Segundo Karl Popper e Thomas Kuhn, reconhecidos pensadores e filósofos da teoria científica, a ciência não evolui de maneira linear e progressiva, mas por saltos em que grandes avanços são obtidos após períodos de estagnação. Após grande produção científica, constatada com o grande número de trabalhos desenvolvidos nos últimos anos, as pesquisas visando à produção de óleo a partir do pinhão-mansinho passam por um momento de mudança de foco e de estratégia, uma vez que grandes desafios ainda devem ser resolvidos para aumentar a viabilidade ambiental, econômica e social desse cultivo.

Altamente adaptada a climas áridos, o pinhão-mansinho apresenta uma série de características que favorecem sua sobrevivência e sua perpetuação em regiões marginais para os cultivos tradicionais. Sua capacidade de retenção de água, sua fisiologia caducifolia e sua produção perene favorecem a produção de frutos durante quase todos os meses do ano, aumentando a possibilidade de deixar descendentes em épocas que as outras plantas não estão em sua fase reprodutiva. Seu longo ciclo de vida e sua capacidade de se propagar vegetativamente e de se autopolinizar propiciam sua multiplicação mesmo em regiões mais isoladas. Na natureza, a produção de ésteres de forbol em suas sementes é considerada uma defesa eficiente que diminui a herbivoria de aves e de animais.

Sob outra ótica, no entanto, constatou-se que as mesmas características que favorecem a adaptação do pinhão-mansinho na natureza limitam o cultivo dessa espécie em diferentes aspectos. A desuniformidade de produção e a presença de ésteres de forbol nas sementes oneram os custos de produção desse cultivo, o que resulta em altos custos de colheita e de detoxificação da torta dessa oleaginosa. O longo ciclo de vida dessa oleaginosa perene faz da seleção de plantas um processo demorado e laborioso. A propagação vegetativa de poucos acessos em regiões isoladas do território nacional resultou em menor variabilidade genética dessa cultura. E, mesmo considerando a introdução de novos

acessos, a baixa variabilidade genética para algumas características fundamentais para o cultivo e a associação negativa entre os componentes de produção, tais como a uniformidade de maturação dos frutos, que não apresentou variabilidade genética, e o menor vigor apresentado pelos acessos menos tóxicos, tem limitado os ganhos obtidos com a seleção de plantas.

No entanto, não é possível deixar de reconhecer a importância do banco de germoplasma do pinhão-manso com acessos provenientes de diferentes regiões do mundo e dos resultados de pesquisa obtidos, os quais, se estivessem disponíveis há 4 ou 5 anos, iriam melhor direcionar os investimentos realizados nesse cultivo. Desde questões básicas de um sistema de produção, tais como produção de mudas, adubação, espaçamento e pragas e doenças, a questões mais aplicadas, como o uso de reguladores de crescimento, a produtividade ao longo do tempo e ganhos com a seleção, mereceram a dedicação de equipes de diferentes centros de pesquisa nesses últimos anos.

Referências

- ABDELGADIR, H. A.; JÄGER, A. K.; JOHNSON, S. D.; VAN STADEN, J. Influence of plant growth regulators on flowering, fruiting, seed oil content, and oil quality of *Jatropha curcas*. **South African Journal of Botany**, v. 76, n. 3, p. 440-446, Aug. 2010. DOI: 10.1016/j.sajb.2010.02.088.
- ARRUDA, F. P.; BELTRÃO, N. E. M.; ANDRADE, A. P.; PEREIRA, W. E.; SEVERINO, L. S. Cultivo de pinhão manso (*Jatropha curcas*) como alternativa para o semi-árido nordestino. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**, v. 8-1, p. 789-799, 2004.
- BASHA, S. D.; FRANCIS, G.; MAKAR, H. P. S.; BECKER, K.; SUJATHA, M. A comparative study of biochemical traits and molecular markers for assessment of genetic relationships between *Jatropha curcas* L. germplasm from different countries. **Plant Science**, v. 176, n. 6, p. 812-823, June 2009. DOI: 10.1016/j.plantsci.2009.03.008.
- BORGES, C. V.; FERREIRA, F. M.; ROCHA, R. B.; SANTOS, A. R. dos; LAVIOLA, B. G. Capacidade produtiva e progresso genético de pinhão-manso. **Ciência Rural**, v. 44, n. 1, p. 64-70, jan. 2014. DOI: 10.1590/S0103-84782014000100011.
- BRITTAINE, R.; LUTALADIO, N. **Jatropha**: a smallholder bioenergy crop: the potential for pro-poor development. Rome: Food and Organization of the United Nations, 2010. 96 p. (Integrated crop management, v. 8).
- CARNEIRO, P. C. S. **Novas metodologias de análise da adaptabilidade e estabilidade de comportamento**. 1998. 168 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa, MG: Ed. da UFV, 2001. 390 p.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa, MG: Ed. da UFV, 2004. v. 1, 480 p.

DIAS, D. C. F. S.; CARVALHO, M.; MANFIO, C. E.; SANTOS, A. S.; SOUZA, L. C. A.; OLIVIERA, T. S.; PRETTI, L. A. **Cultivo de Pinhão Manso (*Jatropha curcas* L.) para produção de óleo combustível**. Viçosa, MG: Ed. da UFV, 2007a. 40 p.

DIAS, L. A. S.; LEME, L. P.; LAVIOLA, B. G.; PALLINI, A.; PEREIRA, O. L.; DIAS, D. C. F. S.; CARVALHO, M.; MANFIO, C. E.; SANTOS, A. S.; SOUZA, L. C. A.; OLIVEIRA, T. S.; PRETTI, L. A. **Cultivo de pinhão manso (*Jatropha curcas* L.)**: para produção de óleo combustível. Viçosa: Ed. da UFV, 2007b. 40 p.

DRUMOND, M. A.; SANTOS, C. A. F.; OLIVEIRA, V. R. de; MARTINS, J. C.; ANJOS, J. B. dos; EVANGELISTA, M. R. V. Desempenho agrônômico de genótipos de pinhão manso no semiárido pernambucano. **Ciência Rural**, v. 40, n. 1, p. 44-47, jan./fev. 2010. DOI: 10.1590/S0103-84782009005000229.

FALCONER, D. S.; MACKAY, T. F. C. **Introduction to quantitative genetics**. Edinburgh: Longman Group Limited, 1996. 463 p.

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, Feb 2005. DOI: 10.1111/j.1477-8947.2005.00109.x.

FREITAS, R. G.; MISSIO, R. F.; MATOS, F. S.; RESENDE, M. D. V.; DIAS, L. A. S. Genetic evaluation of *Jatropha curcas*: an important oilseed for biodiesel production. **Genetics and Molecular Research**, v. 10, n. 3, p. 1490-1498, 2011. DOI: 10.4238/vol10-3gmr1146.

GHOSH, A.; CHIKARA, J.; CHAUDHARY, D. R.; PRAKASH, A. R.; BORICHA, G.; ZALA, A. Paclobutrazol arrests vegetative growth and unveils unexpressed yield potential of *Jatropha curcas*. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 29, n. 3, p. 307-315, Sept. 2010. DOI: 10.1007/s00344-010-9137-0.

GINWAL, H. S.; PHARTYAL, S. S.; RAWAT, P. S.; SRIVASTAVA, R. L. Seed source variation in morphology, germination and seedling growth of *Jatropha curcas* (L.), in Central India. **Silvae Genetica**, v. 54, n. 1-6, p. 76-80, 2005. DOI: 10.1515/sg-2005-0012.

GOMES, J. M.; PAIVA, H. N. de. **Viveiros florestais: propagação sexuada**. Viçosa, MG: Ed. da UFV, 2004. 116 p. (Série didática).

HELLER, J. **Physic nut (*Jatropha curcas*)**: promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. Rome: Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research, 1996. 66 p.

- JONGSCHAAP, R. E. E.; BLESGRAAF, R. A. R.; BOGAARD, T. A.; VAN LOO, E. N.; SAVENIJE, H. H. G. The water footprint of bioenergy from *Jatropha curcas* L. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 106, n. 35, p. E92-E92, Sept. 2009. DOI: 10.1073/pnas.0907272106.
- JUHÁSZ, A. C. P.; PIMENTA, S.; SOARES, B. O.; MORAIS, D. de L. B.; RABELLO, H. de O. Biologia floral e polinização artificial de pinhão-mansão no norte de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 9, p. 1073-1077, set. 2009. DOI: 10.1590/S0100-204X2009000900001.
- KAUSHIK, N.; KUMAR, K.; KUMAR, S.; KAUSHIK, N.; ROY, S. Genetic variability and divergence studies in seed traits and oil content of *Jatropha* (*Jatropha curcas* L.) accessions. **Biomass and Bioenergy**, v. 31, n. 7, p. 497-502, 2007. DOI: 10.1016/j.biombioe.2007.01.021.
- LAVIOLA, B. G.; ALVES, A. A.; GURGEL, F. D.; ROSADO, T. B.; COSTA, R. D.; ROCHA, R. B. Estimate of genetic parameters and predicted gains with early selection of physic nut families. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 36, n. 2, p. 163-170, Mar./Apr. 2012. DOI: 10.1590/S1413-70542012000200004.
- LAVIOLA, B. G.; ROCHA, R. B.; KOBAYASHI, A. K.; ROSADO, T. B.; BHERING, L. L. Genetic improvement of *Jatropha* for biodiesel production. **Ceiba**, v. 51, n. 1, p. 1-10, 2010. DOI: 10.5377/ceiba.v51i1.640.
- MISHRA, D. K. Selection of candidate plus phenotypes of *Jatropha curcas* L. using method of paired comparisons. **Biomass & Bioenergy**, v. 33, n. 3, p. 542-545, Mar. 2009. DOI: 10.1016/j.biombioe.2008.08.004.
- MONTGOMERY, D. C.; PECK, E. A. **Introduction to linear regression analysis**. New York: John Wiley & Sons, 1981. 504 p.
- MÜLLER, M. D.; BRIGHENTI, A. M.; PACIULLO, D. S. C.; MARTINS, C. E.; ROCHA, W. S. D. da; OLIVEIRA, M. H. S. de. Produção de plantas de pinhão manso em diferentes espaçamentos e tipos de consórcio. **Ciência Rural**, 2015. DOI: 10.1590/0103-8478cr20131624.
- NAKAGAWA, J. Testes de vigor baseados no desempenho das plântulas. In: KRZYŻANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA NETO, J. B. (Ed.). **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: Abrates, 1999. p. 21-24.
- NEVES, C. S. V. J.; MEDINA, C. C.; AZEVEDO, M. C. B.; HIGA, A. R.; SIMON, A. Efeitos de substratos e recipientes utilizados na produção das mudas sobre a arquitetura do sistema radicular de árvores de acácia-negra. **Revista Árvore**, v. 29, n. 6, p. 897-905, 2005. DOI: 10.1590/S0100-67622005000600008.
- NORMAIS climatológicas (1961-1990). Brasília, DF: Departamento Nacional de Meteorologia, 1992. 84 p.

PAIVA NETO, V. B. de; BRENHA, J. A. M.; FREITAS, F. B. de; ZUFFO, M. C. R.; ALVAREZ, R. de C. F. Aspectos da biologia reprodutiva de *Jatropha curcas* L. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 34, n. 3, p. 558-563, May/June 2010. DOI: 10.1590/S1413-70542010000300005.

PECINA-QUINTERO, V.; ANAYA-LÓPEZ, J. L.; COLMENERO, A. Z.; GARCÍA, N. M.; NÚÑEZ COLÍN, C. A.; SOLIS BONILLA, J. L.; AGUILAR-RANGEL, M. R.; GILL LANGARICA, H. R.; MÉJIA BUSTAMANTE, D. J. Molecular characterisation of *Jatropha curcas* L. genetic resources from Chiapas, México through AFLP markers. **Biomass and Bioenergy**, v. 35, n. 5, p. 1897-1905, 2011. DOI: 10.1016/j.biombioe.2011.01.027.

RAO, M. R. G.; RAMESH, S.; RAO, A. M.; GANGAPPA, E. Genetic diversity in *Jatropha* (*Jatropha curcas* L.). **Research on Crops**, v. 10, n. 2, p. 420-425, Aug 2009.

RESENDE, M. D. V. de. **Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Colombo: Embrapa Florestas, 2002. 975 p.

RESENDE, M. D. V. de; DUARTE, J. B. Precisão e controle de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 37, n. 3, p. 182-194, set. 2007.

ROCHA, R. B.; RAMALHO, A. R.; TEIXEIRA, A. L.; LAVIOLA, B. G.; SILVA, F. C. G. da; MILITÃO, J. S. L. T. Eficiência da seleção para incremento do teor de óleo do pinhão-mansão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 1, p. 44-50, jan. 2012. DOI: 10.1590/S0100-204X2012000100007.

ROSADO, T. B.; LAVIOLA, B. G.; FARIA, D. A.; PAPPAS, M. R.; BHERING, L. L.; QUIRINO, B.; GRATAPAGLIA, D. 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, Nov./Dec. 2010. DOI: 10.2135/cropsci2010.02.0112.

SCOTT, A. J.; KNOTT, M. A. Cluster analyses method for grouping means in the analyses of variance. **Biometrics**, v. 30, n. 3, p. 507-512, 1974. DOI: 10.2307/2529204.

SEVERINO, L. S.; LIMA, R. de L. S. de; BELTRÃO, N. E. de M. **Avaliação de mudas de pinhão-mansão em recipientes de diferentes volumes**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2007. (Embrapa Algodão. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 81).

SPINELLI, V. M.; DIAS, L. A. S.; ROCHA, R. B.; RESENDE, M. D. V. Estimates of genetic parameters with selection within and between half-sib families of *Jatropha curcas* L. **Industrial Crops and Products**, v. 69, p. 355-361, July 2015. DOI: 10.1016/j.indcrop.2015.02.024.

SPINELLI, V. M.; ROCHA, R. B.; RAMALHO, A. R.; MARCOLAN, A. L.; VIEIRA JÚNIOR, J. R.; FERNANDES, C. de F.; MILITÃO, J. S. L. T.; DIAS, L. A. dos S. Componentes primários e secundários do rendimento de óleo de pinhão-mansão. **Ciência Rural**, v. 40, n. 8, p. 1752-1758, ago. 2010. DOI: 10.1590/S0103-84782010005000129.

WRIGHT, S. The method of path coefficients. **Annals of Mathematical Statistics**, v. 5, n. 3, p. 161-215, 1934. DOI: 10.1214/aoms/1177732676.

ZENEBON, O.; PASCUET, N. S.; TIGLEA, P. (Coord.). Procedimentos e determinações gerais. In: ZENEBON, O.; PASCUET, N. S.; TIGLEA, P. (Coord.). **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008. v. 4, p. 83-158.