

Otimização e validação do método analítico gravimétrico e teor de óleo em uma população F₃ de mamoneira da UFRB

Edna Lobo Machado; Agenildo de Sousa Santos; Simone Alves Silva; André Dias de Azevedo Neto

Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Rua Rui Barbosa, nº 710, Centro. Cruz das Almas, BA. CEP 44380-000.
E-mails: ednalobo@ufrb.edu.br; agenildossantos@hotmail.com; simonealves22@gmail.com; andre@ufrb.edu.br

Resumo: O presente trabalho teve como objetivos otimizar e validar o método gravimétrico na determinação do teor de óleo de semente de mamona e avaliar o desempenho para teor de óleo nas sementes de uma População F₃, oriunda do cruzamento entre as cultivares BRS Nordeste e Sipeal 28. Vale ressaltar que a proposta desse trabalho ainda é inédita para a mamoneira. Para a otimização foram testadas de uma a seis extrações dos lipídios com o solvente hexano a frio e a interferência do tegumento das sementes na solubilização do óleo. A validação foi realizada por meio da comparação entre o método analítico gravimétrico e o método oficial de *soxthlet*. Os resultados mostram que a partir de quatro extrações pelo método analítico gravimétrico, não há diferença estatística significativa e que o tegumento das sementes interfere na solubilização do óleo pelo solvente. Não houve diferença significativa pelo teste F ($p < 0,01$) entre os métodos de *soxthlet* e o gravimétrico. Frente a estes resultados o método gravimétrico foi adotado para a quantificação do teor de óleo na população F₃. A quantificação do teor de óleo na semente foi submetida à análise de variância e comparação de médias pelo teste de *Scott Knot*. A população F₃ apresentou uma variação do teor de óleo na semente de 27% a 46%. O genótipo 91 foi superior para o caráter avaliado com 46% de teor de óleo na semente. O método gravimétrico é similar ao método de *Soxthlet* e pode ser utilizado no auxílio à seleção de plantas em programas de melhoramento genético, em que grande número de análises é necessário.

Palavras chave: *Ricinus communis*, L. Biodiesel, Melhoramento genético.

Performance evaluation of a segregating population (F₃) for castor seed oil content in the seeds through the analytical gravimetric method

Abstract: This study aimed to optimize and validate the gravimetric method in determining the content of castor seed oil and assess performance for oil content in the seeds of a Population F₃ from the cross between the cultivars BRS Northeastern and Sipeal 28. Vale emphasize that the purpose of this work is still unpublished for the castor bean.. Therefore, it was necessary to optimize the gravimetric method and its validation. Were tested for optimization of one to six extractions of lipids with cold hexane solvent and interference of the seed coat in solubilizing the oil. The validation was performed by comparing the analytical method and gravimetric method *soxthlet* officer. The results show that after four extractions with cold hexane solvent by gravimetric analytical method, no statistically significant differences and that the seed coat interferes with the solubilization of oil by the solvent. No significant difference by F test ($p < 0.01$) between *soxthlet* and gravimetric methods. Based on these results the gravimetric method was used to quantify the oil content in F₃ population. The quantification of the oil content in the seed was subjected to analysis of variance and mean comparison by *Scott Knot*. The population F₃ showed a variation in seed oil content from 27% to 46%. Genotype 91 was higher for the trait assessed with 46% oil content in the seed. The gravimetric method is similar to method *Soxthlet* and can be used to help in the selection of plants in breeding programs, where large number of analyzes is needed.

Key-words: *Ricinus communis*, L. Biofuel, Genetic breeding, Hexane.

Introdução

A *Ricinus communis* L. é uma oleaginosa que apresenta grande importância econômica sendo que cerca de 90% do seu óleo, extraído das sementes, é composto de um ácido graxo hidroxilado incomum: o ácido ricinoleico (SILVA et al., 1984). O ácido graxo ricinoleico apresenta propriedades químicas únicas, o que favorece a alta valorização do óleo da cultura da mamona.

O óleo da mamoneira é utilizado na fabricação de lubrificantes, cosméticos, aplicações médicas e de especialidades químicas. A mamona tem sido proposta, também, como uma potencial fonte de biodiesel (SILVA et al., 2006).

A cultura da mamona é um importante recurso nos países tropicais em desenvolvimento por conter alto teor de óleo em suas sementes e pela facilidade com que podem ser cultivadas em ambientes desfavoráveis.

A semente da mamoneira apresenta um teor de óleo que pode variar entre 35% a 55%, com padrão comercial de 44% (VIERIRA et al., 1997). Os principais problemas para a exploração racional da mamoneira para produção de biodiesel na região Nordeste estão relacionados ao potencial produtivo e a inadequada disponibilidade de cultivares, principalmente quanto ao elevado teor de óleo e tolerantes a pragas e doenças. Ou seja, não há sementes que atendam às necessidades dos agricultores e dos processadores da matéria prima produzida (PALMIERI e MAIA, 2007; BAHIA et al., 2008).

Para atender a demanda mundial na produção de óleo de mamoneira, faz-se mister o melhoramento genético desta cultura a fim de se obter cultivares mais produtivas com maior teor de óleo na semente, adaptadas às regiões de baixas altitudes com relação às cultivares atualmente comercializadas.

Uma avaliação importante num programa de melhoramento genético da mamoneira é a quantificação do teor de óleo da semente, sendo um dos critérios de seleção de genótipos superiores. Portanto, a metodologia empregada na quantificação do teor de óleo na semente deve atender às necessidades do melhorista. Isso porque, ao tratar-se de uma população segregante, com grande número de

indivíduos, a metodologia a ser empregada deve ser eficiente, rápida, barata e não agressiva ao meio ambiente.

No método de gravimetria, as sementes são maceradas e submetidas à extração de óleo por meio de um volume menor do solvente hexano (5%) e a extração é a frio. Esse método constitui-se em uma alternativa ao método químico de extração a quente por meio de extrator *Soxhlet*. O hexano é usado no processo por ser o mais seletivo dentre os solventes, por possuir estreita faixa de ebulição e, além disso, por ser imiscível com a água, o que evita a formação de misturas azeotrópicas.

Levando-se em consideração não apenas a necessidade de agilidade na geração de resultados, redução de riscos operacionais e custos e minimização do impacto ambiental, mas, sobretudo, a confiabilidade dos resultados gerados em análises laboratoriais, este trabalho objetivou a otimização e a validação da técnica de gravimétrica na determinação do teor de óleo de sementes de mamona, por comparação com o método químico de *Soxhlet*. No tocante ao caráter teor de óleo nas sementes, objetivou, também, a avaliação do desempenho fisiológico de uma população F_3 proveniente do cruzamento entre as cultivares BRS Nordestina e Sipeal 28. Vale salientar que - quanto ao caráter quantidade de óleo na semente, no Recôncavo Baiano - são ainda inéditas a quantificação do teor de óleo em sementes de mamoneira por meio do método gravimétrico e a avaliação do desempenho fisiológico de uma população F_3 originada de hibridações controladas.

Material e métodos

O trabalho foi desenvolvido na Cidade de Cruz das Almas, Bahia, nas coordenadas geográficas 40°39'S e 39°06'23"W, a 220 m de altitude. Foram instalados experimentos em condições de telado e campo para a obtenção da população segregante F_3 , obtida de cruzamentos controlados entre as cultivares BRS Nordestina Sipeal 28. O espaçamento utilizado entre fileiras foi de 3 m e de 1 m entre plantas, totalizando 31

plantas em delineamento em blocos ao acaso com quatro repetições. A área experimental foi preparada por meio de aração, gradagem, marcação das parcelas e a adubação efetuada com base no resultado da análise de solo.

Otimização do método gravimétrico

A fim de otimizar o método de gravimetria para a quantificação do teor de óleo em sementes de mamoneira, um total de cinco sementes de mamona com tegumento e cinco sem tegumento, das cultivares BRS Nordestina e Sipeal 28, foi macerado. O tegumento foi retirado manualmente com o auxílio de um estilete. O tegumento é um tecido externo e impermeável que reveste a semente, protegendo o endosperma e o embrião. Em tubos do tipo falcon, previamente pesados, foram adicionados cerca de 500 mg do macerado e 5,0 mL do solvente hexano. Em seguida, esses tubos foram fechados e mantidos sob agitação constante, com o auxílio de uma mesa agitadora (Mesa Agitadora Orbital 7,5-kg 110-V 500-rpm), com movimentos orbitais a 50 rpm. Decorrido 1 h, as amostras foram centrifugadas a $3.000 \times g$, por 5 min, à temperatura ambiente e o sobrenadante, no qual os lipídios da amostra apresentavam-se dissolvidos, foi descartado.

Para garantir a total solubilização e extração dos lipídios nas sementes, bem como a homogeneização entre as repetições, realizaram-se testes com diferentes números e duração de extrações com o hexano. Os testes foram os seguintes: uma a seis extrações com o solvente, sob agitação constante, sendo que a primeira extração teve duração de uma hora e as demais tiveram duração de 30 minutos. Todos os ensaios foram realizados em triplicata. Ao término do processo, os tubos contendo o precipitado final (sementes delipidadas) foram deixados à temperatura ambiente por 24 h, para que se processassem a completa volatilização da mistura extratora. Só então, foram pesados até a obtenção de massas constantes.

Os valores correspondentes aos teores de óleo nas sementes foram obtidos por meio da diferença entre as massas iniciais e finais dos tubos e foram expressos em porcentagem. Os resultados foram analisados por meio da análise de variância (ANOVA) a 1% de probabilidade. Após, realizou-se a comparação entre médias pelo teste Turkey (para o teste com e sem tegumento na semente) e análise de regressão (para o número adequado de extração com a

utilização do solvente hexano) utilizando o programa SISVAR (FERREIRA, 2008).

Validação do método gravimétrico

Para a validação do método gravimétrico, realizou-se a quantificação do teor de óleo nas sementes das cultivares BRS Nordestina, Sipeal 28 e de um genótipo da população F_3 por meio do método gravimétrico e do método químico com o extrator *Soxhlet* de acordo com AOAC (2000), ambos com o solvente hexano. Os resultados foram submetidos a ANOVA a 1% de probabilidade utilizando o programa SISVAR (FERREIRA, 2008).

O método de extração do tipo extrator *Soxhlet* (SOXHLET, 1879), usando hexano como solvente, é o método oficial de determinação do teor de óleo, de acordo com a IUPAC, *International Union of Pure and Applied Chemistry*. Para a quantificação com o método de extração do tipo extrator *Soxhlet*, utilizou-se 10 g de extrato de cada amostra. As amostras foram colocadas no extrator *Soxhlet*, por 6 h. O volume utilizado de hexano em cada extração foi de 500 mL, sendo realizadas três repetições para cada amostra. Decorrido o tempo de 6 horas no extrator, as amostras foram retiradas e secas à temperatura ambiente por aproximadamente 24 h e pesadas novamente. O teor de óleo foi determinado pela diferença de peso antes e depois da extração com hexano.

Quantificação do teor de óleo das sementes da população F_3

Para a análise de teor de óleo das sementes, foram utilizados os 31 genótipos da população F_3 (oriunda da hibridação controlada entre as cultivares BRS Nordestina e Sipeal 28). Esta população é considerada uma população em avanço dentro do programa de melhoramento genético da mamoneira. Após o beneficiamento, as sementes da população F_3 foram usadas para a quantificação do teor de óleo.

A quantificação do teor de óleo nas sementes da população F_3 e parentais de *R. communis*, foi realizada por meio do método gravimétrico. Os parâmetros adotados foram: sementes sem tegumento, quatro extrações com o solvente hexano e três repetições por planta. Os resultados foram analisados por meio da análise de variância (ANOVA) e comparação entre médias pelo teste de *Scott Knott* (SCOTT e KNOTT, 1974) a 1% de probabilidade utilizando o programa SISVAR (FERREIRA, 2008).

Resultados e discussão

Para os tratamentos de quantificação de teor de óleo nas sementes com e sem tegumento o teste F foi significativo ($p < 0,01$). O coeficiente de variação foi de 0,51 indicando a boa precisão do experimento. Provavelmente, a presença de tegumento na semente interfere na solubilização eficiente dos lipídios por meio do solvente (Tabela 1). Sendo assim, faz-se necessária a retirada do tegumento da semente de mamoneira para uma

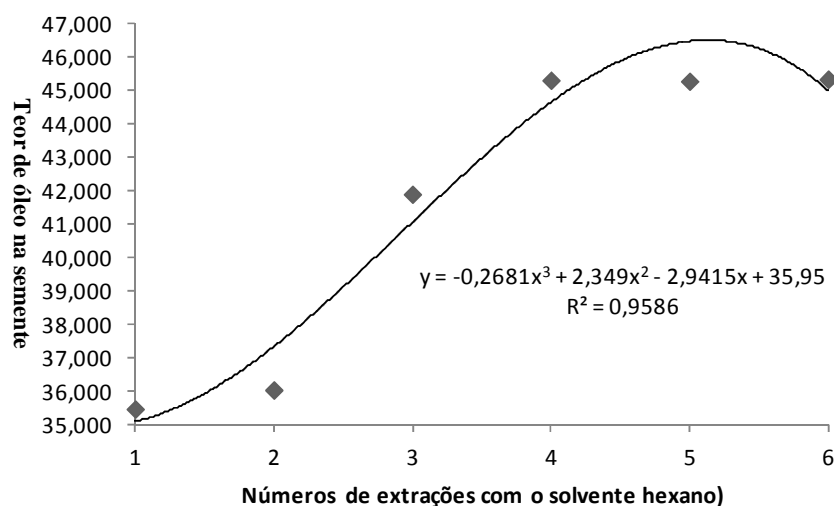
maior eficiência na quantificação do teor de óleo. Na determinação do número adequado de extrações, com o solvente hexano, o teste F foi significativo ($p < 0,01$). O coeficiente de variação de 4,59 mostra a boa precisão dos experimentos. A linha de tendência referentes a figura 1 aponta que entre - quatro, cinco e seis extrações - não há diferença estatística significativa, sugerindo que quatro extrações são suficientes, economizando tempo e recurso e sendo menos ofensivo ao meio ambiente, uma vez que utiliza menos solvente.

Tabela 1 - Teste de extração de óleo em sementes de *Ricinus communis* L. com e sem tegumento utilizando o método de gravimetria. Cruz das Almas, 2011.

Tratamentos	Médias
Sem tegumento	48,903 a
Com tegumento	45,343 b

*Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Turkey a 1% de probabilidade

Figura 1 - Número de extrações realizadas com hexano a frio por gravimetria para a quantificação do teor de óleo de mamona. Cruz das Almas, 2011.



A equação de regressão polinomial de quarto grau mostrou melhor ajuste para o teste, apresentando coeficientes de determinação R^2 de, aproximadamente, 0,96.

Os métodos analíticos de gravimetria e *Soxhlet* não diferiram estatisticamente entre si pelo teste F ($p < 0,01$). A tabela 2 mostra o teste de médias entre os dois tratamentos. O

coeficiente de variação foi de 2,75, indicando boa precisão dos experimentos, requisito intrínseco para a oficialização de um método analítico. Dessa forma, devido aos fatos de o método analítico de gravimetria ser mais rápido e aplicável a um grande número de amostras por vez, inclusive com redução de custo e tempo, e por utilizar um volume menor de solvente quando comparado ao método extrator de *Soxhlet*, pode

ser utilizado na análise de várias amostras, como a situação em estudo. Mendham et al. (2002) afirmam que, para escolher a técnica analítica adequada à escala laboratorial, é necessário considerar as seguintes variáveis: o tempo de

execução do ensaio, o volume de testes que serão realizados, a natureza da amostra, o tamanho da alíquota para o teste e as quantidades de solventes.

Tabela 2 - Médias do teor de óleo na semente dos genótipos BRS Nordestina, Sipeal 28 e NS29 obtidas a partir dos métodos de gravimetria e Soxhlet.

Genótipos	Soxhlet	Gravimetria
BRS Nordestina	51,2a	50,95a
Sipeal 28	45,8a	46,96a
NS29	42,5a	42,283a

*Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Turkey a 1% de probabilidade.

Apesar do extrator de Soxhlet ser o método oficial de determinação do teor de óleo, de acordo com a IUPAC, *International Union of Pure and Applied Chemistry*, em se tratando de uma população segregante composta por um número grande de indivíduos, o método se torna muito demorado, caro e prejudicial ao meio ambiente, uma vez que utiliza um grande volume de solvente. Assim sendo, o método analítico de gravimetria mostrou-se ser uma alternativa para a quantificação de teor de óleo em mamoneira. A análise gravimétrica ou gravimetria é um método analítico quantitativo cujo processo envolve a separação e a pesagem de um elemento, ou de um composto do elemento na forma mais pura possível. O peso do elemento ou composto pode ser calculado a partir das diferenças entre o peso inicial e o peso final das amostras.

Estudos de quantificação do teor de óleo na semente de populações segregantes de *R. communis* desenvolvidas por um programa de melhoramento específico para regiões de baixa altitude, ainda são inéditos. A altitude pode influenciar o desenvolvimento de uma cultura por diversos fatores, tais como: nebulosidade, umidade e pressão de oxigênio; mas principalmente pela temperatura a qual tende a crescer à medida que a altitude diminui. A temperatura tem grande impacto sobre a fotossíntese e respiração da planta, pois

influencia diversas reações bioquímicas ligadas a esses dois processos fisiológicos (TAIZ e ZEIGER, 1998).

As sementes da população F₃ e seus parentais: BRS Nordestina e Sipeal 28 tiveram seus teores de óleo avaliados por meio do método analítico de gravimetria. Os resultados foram significativos pelo teste F ($p < 0,01$) com coeficiente de variação (CV) igual a 5,28 mostrando que há variabilidade para o caráter avaliado.

O teor de óleo nas sementes da população F₃ variou de 27,02 a 46,15% com formação de 6 grupos: Grupo I (a cultivar BRS Nordestina); Grupo II (a cultivar Sipeal 28); Grupo III (os genótipos NS23, NS21, NS22, NS26, NS27, NS24, NS28, NS31, NS29, NS3, NS25 e NS1); Grupo IV (NS4, NS7, NS2, NS6, NS9, NS5, NS10 e NS8); Grupo V (NS32, NS14, NS13, NS20, NS11) e Grupo VI (NS 19, NS18, NS12, NS16, NS17 e NS 15) (Tabela 3). Os resultados têm indicativo de variabilidade genética para o caráter estudado dentro da referida população. Moreira et al. (2008) verificaram alta variabilidade, com variação entre 37,8 e 51,55%, ao analisarem 78 genótipos de mamona do banco ativo de germoplasma - BAG da Embrapa Clima Temperado em Pelotas, RS, para os caracteres peso de 100 sementes e teor de óleo.

Tabela 3 - Teor de óleo avaliado nas sementes da população F₃ e nas cultivares BRS Nordestina e Sipeal 28 utilizando o método gravimétrico. Cruz das Almas, 2011.

Genótipos	Teor de óleo	Genótipos	Teor de óleo
BRS Nordestina	50,950 a	NS6	38,733 d
Sipeal 28	46,963 b	NS9	38,117 d
NS23	46,156 b	NS5	38,020 d
NS21	45,173 c	NS10	37,923 d
NS22	43,930 c	NS8	37,520 d
NS26	43,893 c	NS32	35,863 e
NS27	43,690 c	NS14	33,467 e
NS24	43,446 c	NS13	33,383 e
NS28	43,253 c	NS20	33,073 e
NS31	42,620 c	NS11	32,643 e
NS29	42,283 c	NS19	30,543 f
NS3	42,116 c	NS18	29,953 f
NS25	41,883 c	NS12	28,467 f
NS1	41,810 c	NS16	27,837 f
NS4	40,433 d	NS17	27,307 f
NS7	40,283d	NS15	27,023 f
NS2	39,253 d		

*Medias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de *Scott Knott* a 1% de probabilidade.

Os resultados de teor de óleo nas sementes, obtidos para as cultivares BRS Nordestina (50,95%) e Sipeal 28 (46,96%), são semelhantes à faixa de valores encontrada por

Cerqueira (2008). Cerqueira (2008) avaliou o teor de óleo em cinco cultivares de mamoneira, EBDA MPA17, Sipeal 28, BRS 188 Paraguaçu, BRS Nordestina e Mirante 10, cultivadas no município de Cruz das Almas – BA via extrator de *Soxhlet*, com emprego do solvente hexano e

obteve valores de teor de óleo de 47,33% e 50,33% para as cultivares Sipeal 28 e BRS Nordestina, respectivamente.

O teste de comparação de médias, apresentado na tabela 3, aponta o genótipo NS23 com teor de óleo de 46,154% como estatisticamente superior aos demais genótipos para o caráter teor de óleo nas sementes. No entanto, o teor de óleo encontrado na população F₃ do cruzamento entre as cultivares BRS Nordestina X Sipeal 28 foi inferior aos valores obtidos para os seus parentais (aproximadamente 51% e 47% para BRS Nordestina e Sipeal 28, respectivamente), embora o genótipo NS23 não tenha apresentado diferença estatística em relação ao seu parental Sipeal 28. Essa baixa amplitude de base genética nesta população confirma a necessidade de hibridações envolvendo parentais divergentes para o caráter de interesse, proporcionando recombinações e surgimento de indivíduos superiores na população.

Desta forma, o baixo desempenho fisiológico para teor de óleo na semente desta população pode ser em função da capacidade específica de combinação (CEC) dos parentais e da ausência de divergência genética para o caráter. De acordo com Sprague e Tatum (1942), o termo capacidade específica de combinação é utilizado para designar os casos em que certas combinações híbridas são superiores ou inferiores em relação ao esperado quanto ao desempenho médio dos dois parentais. Falconer (1981), no entanto, definiu CEC como sendo o desvio do desempenho médio de uma combinação particular em relação à média dos parentais envolvidos no cruzamento. Assim, baixas estimativas positivas ou negativas de $\hat{\sigma}_{ij}$ significam que o comportamento de determinado híbrido é função da capacidade geral de combinação (CGC) de seus parentais; enquanto valores absolutos altos de $\hat{\sigma}_{ij}$ indicam que algumas combinações são relativamente melhores e outras piores, com base na CGC dos parentais (SPRAGUE e TATUM, 1942; CRUZ et al., 2004). Entretanto, os efeitos da CEC enfatizam a importância de interações não-aditivas resultantes da complementação gênica entre os parentais (BASTOS et al., 2003). É válido ressaltar, porém, que dois parentais de elevada CGC nem sempre proporcionam a formação da melhor combinação do dialelo (CRUZ e VENCOVSKY, 1989). Os parentais

podem não apresentar entre si um apreciável grau de complementação gênica em relação às frequências dos alelos nos locos que apresentam dominância (VENCOVSKY e BARRIGA, 1992).

Conclusões

O método gravimétrico é similar ao método de Soxhlet com a vantagem do reduzido gasto com o solvente hexano. A utilização de métodos, como o método analítico de gravimetria, é de suma importância no auxílio à seleção de plantas em programas de melhoramento genético, em que grande número de análises é necessário. Existe variabilidade no caráter teor de óleo na semente entre os genótipos da população F₃ de mamoneira mesmo com restrita base genética nos parentais.

Referências

- Association of Official Analytical Chemists (AOAC); **Official methods of analysis**, 13th ed., Arlington, 2000.
- BAHIA, H.F, SILVA S. A., FERNANDEZ L. G., LEDO C. A. DA S. E MOREIRA R. F. C. Divergência genética entre cinco cultivares de mamoneira. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.43, n.3, 2008, p.357-362.
- BASTOS, I.T.; BARBOSA, M.H.P.; CRUZ, C.D.; BURNQUIST, W.L.; BRESSIANI, J.; SILVA, F.L. da. Análise dialélica em clones de cana-de-açúcar. **Bragantia**, Campinas, v.62, n. 2, 2003 p. 199-206.
- CERQUEIRA, S.L. **variabilidade genética e teor de óleo em mamoneira visando ao melhoramento para região de baixa altitude**. 2008. 57 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, Ba.
- CRUZ, C.D., REGAZZI, A.J.; CARNEIRO P.C.S. Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético. **Viçosa: UFV**, cap. 7, 2004, p.223-375.

CRUZ, C.D.; VENCOVSKY, R. Comparação de alguns métodos de análise dialética.

IUPAC: Standard Methods for Analysis of Oils, Fats and Derivatives. **Blackwell Scientific Publications**, 7th ed., 1987, IUPAC Method 2.301, Report of IUPAC Working Group WG 2/87; 1987.

Revista Brasileira de Genética, Ribeirão Preto v. 12, n. 2, p. 425-438, 1989.

FALCONER, D.S. Introdução à genética quantitativa. Trad. SILVA, M.A.; SILVA, J.C., Viçosa, MG: UFV, **Impr. Univ.** 1981, p.279.

FERREIRA, D. F. SISVAR: um programa para análises e ensino de estatística. **Revista Symposium (Lavras)**, v. 6, p. 36-41, 2008

MENDHAM, J.; DENNEY, R.C.; BARNES, J.D.; THOMAS, VOGEL, M. **Análise química quantitativa**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2002, p.462.

MOREIRA, L.L.; ÁVILA, T.T. de; LEMÕES, J.S. CASAGRANDE, J.G. SILVA, S.D. dos A. Variabilidade de acessos de mamona para peso e teor de óleo das sementes. In: III Congresso Brasileiro de Mamona, **Anais**. Salvador, BA, 2008.

PALMIERI, D.A. ; MAIA, L.C. . Marcadores microssatélites para estudos genéticos em mamona (*Ricinus communis* L.) e pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.). In: Congresso Internacional de Agroenergia e Biocombustíveis, **Anais**. Teresina, PI.. 2007.

SILVA, R.L.C da; SHOGIRO T.J.; SAVI, A.; LEAL,N.R. Variability for oil and fatty acid composition in castor bean varieties. **J. Am. Oil Chem. Soc.** 61, 841–1843, 1984.

SILVA, N.D.E.L da; MACIEL, M.R.; BATISTELLA, C.B.; MACIEL FILHO, R. Optimization of biodiesel production from castor oil. **Appl. Biochem. Biotechnol.** 2006, p.130, 405–414.

SCOTT, A. J.; KNOTT, M. A **Cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance**. **Biometrics**, Washington, v. 30, Sept. 1974, p. 507 - 512.

SOXHLET, F.: Die gewichtsanalytische Bestimmung des Milchfettes. **Polytechnisches J. (Dingler's)**, v.232,1879 , p. 461–465.

SPRAGUE, G.F.; TATUM, L.A. General vs. specific combining ability in single crosses of corn. **Journal of the American Society of Agronomy**, v. 34, n. 10, 1942, p. 923-932.

VENCOSVSKY, R.; BARRIGA, P. Genética biométrica no fitomelhoramento. Ribeirão Preto, **Revista Brasileira de Genética**, 1992, p. 486.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant physiology**. 2 ed. Sunderland: Sinauer Associates, 1998, 792 p.

VIEIRA, R. M.; LIMA, E. F.; BATISTA, F. A. S. Diagnóstico e perspectivas da mamoneira no Brasil. In: Reunião temática matérias-primas oleaginosas no Brasil, 1997, Campina Grande. **Anais**. Campina Grande: EMBRAPA-CNPAA/MAA/ABIOVE, 1997, p.139-150.

Recebido em: 09/10/2012

Aceito em: 09/ 04/2014