

ANNANDA MENDES COSTA

**PARÂMETROS GENÉTICOS, DIVERSIDADE GENÉTICA E SELEÇÃO DOS
ACESSOS DE MACAÚBA (*Acrocomia aculeata*)**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2016

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

T

C837p
2016
Costa, Annanda Mendes, 1991-
Parâmetros genéticos, diversidade genética e seleção dos acessos
de macaúba (*Acrocomia aculeata*) / Annanda Mendes Costa. - Viçosa,
MG, 2016.

vii, 19f. : il. ; 29 cm.

Orientador: Sérgio Yoshimitsu Motoike.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.
Referências bibliográficas: f.16-18.

1. *Acrocomia aculeata*. 5. Macaúba - Seleção de planta -
Melhoramento genético. I. Universidade Federal de Viçosa.
Departamento de Fitotecnia. Programa de Pós-graduação em Genética e
Melhoramento. II. Título.

CDD 22. ed. 633.85

ANNANDA MENDES COSTA

**PARÂMETROS GENÉTICOS, DIVERSIDADE GENÉTICA E SELEÇÃO DOS
ACESSOS DE MACAÚBA (*Acrocomia aculeata*)**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 16 de fevereiro de 2016.

Thais Roseli Corrêa

Marcos Deon Vilela de Resende
(Coorientador)

Sérgio Yoshimitsu Motoike
(Orientador)

*Aos meus pais Jaime e Fátima,
e a minha irmã Daniela*

Dedico

AGRADECIMENTOS

À Deus, que sempre me deu forças nos momentos mais difíceis dessa caminhada.

Aos meus pais, Jaime e Fátima, a minha irmã Daniela, meu sobrinho Gabriel, meu cunhado Danilo e minha avó Zelita (na minha memória), vocês sabem o quanto caminhei para chegar até aqui, obrigada por sempre confiarem em mim.

À Universidade Federal de Viçosa, em especial ao Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento, pela oportunidade de realizar um sonho e por todo crescimento profissional que obtive.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo suporte financeiro.

Ao meu orientador Sérgio Yoshimitsu Motoike, e coorientadores Marcos Deon Vilela de Resende e Reinaldo Francisco Teófilo, pelos ensinamentos proporcionados durante esses anos.

Agradeço imensamente aos meus amigos: Elimárcio Antônio, Thaís Cristina, Alcinei Azevedo, Marcos Deon e Thais Corrêa, por terem me ajudado com tão boa vontade, que Deus possa retribuir a vocês.

Agradeço com todo meu amor a Josiane Gonçalves, Marcos Eduardo e Júlia Rosa, por sempre estarem ao meu lado, vocês foram os anjos que Deus colocou na minha vida.

BIOGRAFIA

Annanda Mendes Costa, filha de Jaime Ferreira Costa e Maria de Fátima Mendes Costa, nasceu em 15 de junho de 1991, em Cachoeira de Pajeú, Minas Gerais-Brasil.

Cursou o ensino básico na Escola Estadual Barão do Rio Branco em Cachoeira de Pajeú-MG e o ensino médio na Escola Agrotécnica Federal de Salinas, Salinas-MG.

Em 2009 iniciou o curso de agronomia na Universidade Estadual de Montes Claros (UNIMONTES), *campus* de Janaúba, Minas Gerais.

Em 2014 ingressou no curso de mestrado no Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento na Universidade Federal de Viçosa

SUMÁRIO

RESUMO	vi
ABSTRACT	vii
1. INTRODUÇÃO	1
2. MATERIAL E MÉTODOS	3
2.1 <i>Banco ativo de germoplasma de macaúba</i>	3
2.2 <i>Avaliações das características físicas dos frutos, teor e produção de óleo</i>	3
2.3 <i>Análises estatísticas via REML/BLUP</i>	4
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	5
4. CONCLUSÕES	15
5. AGRADECIMENTOS	15
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	16
CONSIDERAÇÕES FINAIS	19

RESUMO

COSTA, Annanda Mendes, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, Fevereiro de 2016. **Parâmetros genéticos, diversidade genética e seleção dos acessos de macaúba (*Acrocomia aculeata*)**. Orientador: Sérgio Yoshimitsu Motoike. Coorientadores: Marcos Deon Vilela de Resende e Reinaldo Francisco Teófilo.

O Brasil é um país de clima tipicamente tropical e, por isso, apresenta uma considerável diversidade de espécies capaz de produzir óleo, como a macaúba (*Acrocomia aculeata*). Por ser uma cultura incipiente, têm-se poucos estudos genéticos relacionados à produção de óleo. Assim, o objetivo deste trabalho foi estimar os parâmetros relacionados ao controle genético dos caracteres físicos dos frutos, teor e produção de óleo, inferir sobre a diversidade genética, realizar o agrupamento e proceder à seleção dos acessos de macaúba. Frutos de 44 acessos de macaúba do banco ativo de germoplasma foram colhidos e levados ao laboratório de pós-colheita da Universidade Federal de Viçosa, para avaliação da: massa seca (g) da casca, polpa, endocarpo e amêndoa, teor de óleo e produção de óleo por planta. As estimativas das herdabilidades individuais no sentido restrito foram consideradas de média magnitude para todas as características avaliadas. O coeficiente de repetibilidade e a acurácia na seleção de famílias, para todas as características, foi de alta magnitude e a produção de óleo por planta apresentou o maior coeficiente de variação genética individual (77,16%). Dos 10 primeiros indivíduos selecionados pelo BLUP individual, houve uma contribuição de 5 acessos diferentes (8, 37, 49, 43, 26), sendo que os cinco melhores indivíduos para o caráter produção de óleo por planta, pertence à família do acesso 8, com destaque para o acesso 8 planta 7. O agrupamento genético dos 44 acessos, estabelecidos pelo método Tocher, baseado na distância euclidiana média, permitiu a formação de 11 grupos. O índice de média de *ranks* de Mulamba e Mock permitiu classificar os acessos em ordem favorável a seleção, considerando todas as características avaliadas, sendo que os acessos selecionados 43, 8, 37, 35 e 6 destacaram nas primeiras posições.

ABSTRACT

COSTA, Annanda Mendes, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2016. **Genetic parameters, genetic diversity and selection of macaw palm accessions (*Acrocomia aculeata*)**. Advisor: Sergio Yoshimitsu Motoike. Co-advisors: Marcos Deon Vilela de Resende and Reinaldo Francisco Teófilo.

Brazil is a typical tropical climate country and, therefore, presents a considerable diversity for species capable of producing oil, such as macaw palm (*Acrocomia aculeata*). Few genetic studies related to oil production for this species are available, since it is an incipient crop. Thus, the main of this study was estimating genetic parameters related to genetic control of physical traits in fruits, quantifying content and oil production, inferring genetic diversity by cluster analysis and selecting macaw palm accessions. Fruits from 44 macaw palm accessions of the active germplasm bank were collected and transferred to postharvest laboratory in Universidade Federal de Viçosa, evaluating the following traits: dry mass (g) of the exocarp, mesocarp, endocarp and kernel, and oil content and production per plant. Estimated individual narrow sense heritability were classified as moderate magnitude for all traits. Coefficient of repeatability and accuracy for progenies selection were considered high magnitude for all traits and plant oil production presented the highest individual genetic variation coefficient (77.16%). Five distinct accessions (8, 37, 49, 43, 26) contributed among the first ten selected by the individual BLUP, however, the top five individuals for oil production belongs to accession 8 family, standing out the individual 7 from accession 8. The genetic cluster for the 44 accessions, performed by Tocher method based on average Euclidian distance, resulted in 11 groups formation. Mulamba and Mock average rank index allowed classifying accessions to favorable selection sequence, considering all traits evaluated, and the following accessions 43, 8, 37, 35 and 6 stand out in the top positions.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é um país de clima tipicamente tropical, e por isso apresenta uma considerável diversidade de espécies capaz de produzir óleo, como a macaúba [*Acrocomia aculeata* (Jacq. Lodd. Ex. Mart.) (Arecales: Arecaceae)], uma planta nativa do cerrado, com ocorrência na sua maior parte de forma natural, em quase todo território nacional, tendo sua exploração comercial ainda diminuta (COSTA *et al.*, 2014).

Nos últimos anos, o que tem mais chamado a atenção nessa cultura, é a elevada produção de óleo extraído dos seus frutos, que possui uma produtividade estimada de óleo situada entre 1.500 a 5.000 kg ha⁻¹, o que a torna uma cultura com grande potencial para ser destinada a produção de biodiesel (TEIXEIRA, 2005).

De acordo Domiciano *et al.* (2015) a cultura da macaúba encontra-se em processo de domesticação, e a maioria das pesquisas que envolve a espécie, tem como objetivo o melhoramento genético. A Universidade Federal de Viçosa vem desenvolvendo pesquisas na área de melhoramento genético da macaúba, com a implantação de um banco ativo de germoplasma, a fim de melhorar o desempenho produtivo da espécie. Segundo Nugroho *et al.* (2014), o melhoramento genético tem sido umas das tecnologias que mais tem colaborado para o incremento real na produção de óleo.

Por ser uma cultura incipiente, têm-se poucos estudos genéticos relacionados à produção de óleo. Manfio *et al.* (2012) e Domiciano *et al.* (2015) realizaram estudos sobre o controle genético de características morfológicas e fisiológicas. Portanto, há uma necessidade de se conhecer a estrutura genética das populações da macaúba, principalmente em se tratando do principal produto de interesse econômico da cultura, o óleo extraído dos frutos, a fim de dar suporte ao melhoramento da espécie.

Os bancos ativos de germoplasma são fundamentais em um programa de melhoramento, pois além de conservar a diversidade, constituem fonte de material genético para o melhoramento. A caracterização dos acessos conservados permite estimar parâmetros genéticos de interesse, e assim proceder à seleção de genótipos superiores. Segundo Farias Neto *et al.* (2013) o melhoramento genético depende da correta escolha dos melhores indivíduos que serão utilizados como genitores, sendo a estimação de parâmetros genéticos a base indispensável para o sucesso do programa.

Para realização de tais estudos genéticos foi utilizada a metodologia REML/BLUP, baseada na estimação de componentes de variância via máxima verossimilhança residual (REML) e predição de valores genéticos e a seleção via melhor predição linear não viesada (BLUP). Esta metodologia é a mais adequada principalmente por se tratar de uma cultura perene como a macaúba, a qual origina dados desbalanceados nos experimentos de campo.

Segundo Carvalho *et al.* (2003), é importante conhecer a divergência genética entre um grupo de genitores, principalmente em um programa de melhoramento, assim é possível prever combinações híbridas de maior heterozigose e de maior efeito heterótico. Assim, o estudo da diversidade genética através de métodos preditivos se baseia em diferenças morfológicas e fisiológicas, levando em consideração as características avaliadas. Além disso, tem a vantagem de dispensar a obtenção de combinações híbridas entre os genitores, e poderá dar suporte à estratégia de seleção para a melhoria na produção de óleo na macaúba.

No entanto, além de serem divergentes, é desejável proceder o cruzamento entre materiais que apresentem bom desempenho para garantir o sucesso das progênes (NASCIMENTO *et al.*, 2014). Para selecionar genótipos considerando uma combinação de características desejáveis, pode-se utilizar um índice de seleção que permite avaliar um agregado genotípico (FREITAS *et al.*, 2013). Um exemplo de índice de seleção é o índice de média de *ranks* de Mulamba e Mock (1978), muito utilizado quando se deseja a seleção simultânea de caracteres.

O índice de média de *ranks* de Mulamba e Mock (1978) hierarquiza os genótipos, inicialmente, para cada característica, por meio da atribuição de valores absolutos menores àqueles de melhor desempenho. Por fim, os valores atribuídos a cada característica são somados, obtendo-se a média dos “*ranks*”, que assinala a classificação dos genótipos.

Assim, o objetivo deste trabalho foi estimar os parâmetros relacionados ao controle genético dos caracteres físicos dos frutos, teor e produção de óleo, inferir sobre a diversidade genética, realizar o agrupamento e proceder à seleção dos acessos de macaúba.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Banco ativo de germoplasma de macaúba

Para realização do estudo, os frutos foram colhidos no Banco Ativo de Germoplasma de Macaúba (BAG – Macaúba) da Universidade Federal de Viçosa, situado no município de Araponga - MG.

O BAG - Macaúba tem registro nº 084/2013 – SECEX/CGEN e possui 253 acessos, coletados em diversos locais do Brasil, e é considerado o maior banco de germoplasma de macaúba registrado no mundo.

Os frutos utilizados nesse estudo, foram colhidos na Gleba 1 do BAG - Macaúba, onde estão localizados os 54 acessos, estruturado em famílias de meio-irmãos. Os acessos foram estabelecidos no campo em fevereiro de 2009, os quais foram coletados nos estados de Minas Gerais e São Paulo.

Para realização deste estudo, foram utilizados os 44 acessos que produziram frutos, do BAG – Macaúba.

Tabela 1 – Identificação da procedência dos acessos do Banco Ativo de Germoplasma de Macaúba.

Acessos	Local
1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 11, 13, 14, 15, 16, 17, 20, 21, 22, 25, 26, 27, 29, 30 31, 32, 33, 36, 37, 38, 40, 43, 44, 45, 48, 49, 50, 52, 53	Minas Gerais
23, 41	Sem identificação
35, 39, 42, 47	São Paulo

2.2 Avaliações das características físicas dos frutos, teor e produção de óleo

Os frutos depois de colhidos foram levados ao laboratório de pós-colheita da Universidade Federal de Viçosa, onde permaneceram armazenados em temperatura ambiente por 30 dias, para acúmulo de óleo pós-colheita (GOULART, 2014). Após esse período, os mesmos foram congelados em refrigerador para paralisar o metabolismo e conservação dos frutos.

Para realização das avaliações, as partes dos frutos foram separadas em casca, polpa, endocarpo e amêndoa, e secas em estufa a 105°C/24 horas e em seguida foram

pesadas individualmente em balança de precisão a massa seca (g) da: casca, polpa, endocarpo e amêndoa. Foi utilizado nessa avaliação 5 frutos por planta.

A avaliação do teor de óleo da polpa (%) foi realizada através de espectrometria de infravermelho próximo - NIR (Varian ® FT-IR 660), sendo os espectros obtidos no mesocarpo de cada fruto. Para essa análise foi utilizado 3 frutos por planta.

Para obtenção da produção de óleo por planta (Kg), foi feito o produto: número de frutos x massa seca da polpa x teor de óleo.

2.3 Análises estatísticas via REML/BLUP

Para estimativas de componentes de variância e parâmetros genéticos, empregou-se a metodologia de modelos mistos, procedimento REML (Máxima Verossimilhança Restrita) /BLUP (Melhor Predição Linear Não Viesada) (RESENDE, 2007).

O modelo associado ao BAG – Macaúba, considerando a avaliação de plantas individuais pertencentes aos vários acessos foi:

$y = Xu + Za + e$, em que:

y , u , a , e : vetores de dados, de efeitos fixos (média geral), de efeitos genéticos aditivos (aleatórios) e de erros aleatórios, respectivamente.

X e Z : matrizes de incidência para u e a , respectivamente.

As equações de modelo misto são:

$$\begin{bmatrix} X'X & X'Z \\ Z'X & Z'Z + A^{-1}((1 - h^2)/h^2) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{u} \\ \hat{a} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X'y \\ Z'y \end{bmatrix}$$

Os estimadores dos componentes de variância via algoritmo EM são:

$$\hat{\sigma}_e^2 = [y'y - \hat{b}'X'y - \hat{a}'Z'y]/[N - r(X)]$$

$$\hat{\sigma}_a^2 = [\hat{a}'A^{-1}\hat{a} + \sigma_e^2 \text{tr}C^{22}]/N_a$$

Em que:

$r(X)$: posto ou número de colunas linearmente independentes de X .

C^{22} provém de C^{-1} e é da forma:

$$\begin{pmatrix} C^{11} & C^{12} \\ C^{21} & C^{22} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X'X & X'Z \\ Z'X & Z'Z + A^{-1}\sigma_e^2/\sigma_a^2 \end{pmatrix}^{-1}$$

C : matriz dos coeficientes dos modelos mistos.

N_a : número de elementos aleatórios (indivíduos).

A : matriz de parentesco genético aditivo.

tr : operador traço matricial, dado pela soma dos elementos da diagonal da matriz.

N : número total de dados.

Para estimar a matriz de correlação genotípica, foi empregado à metodologia recomendada por Resende (2007), utilizando-se dos valores genéticos aditivos das famílias para todas as características.

No estudo da diversidade genética, aplicou-se uma análise multivariada para agrupamento, considerando a distância euclidiana média como medida de dissimilaridade, e na delimitação dos grupos, o método Tocher.

Acessos superiores foram identificados pelo índice de *rank* médio, adaptado de Mulamba e Mock (1978).

Foi utilizado o software SELEGEN-REML/BLUP (RESENDE, 2007) para realização das análises estatísticas.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As estimativas das herdabilidades individuais no sentido restrito encontradas nesse estudo variaram entre 22% a 46% para todas as características avaliadas, e são classificadas como de média magnitude, como mostra a Tabela 2, o que presume um considerável controle genético destas características. De acordo a classificação proposta por Resende (2002), valores de herdabilidade entre 0,15 e 0,50 são considerados moderados, para espécies perenes.

Tabela 2 - Estimativa de parâmetros genéticos para as características: massa seca da casca (MSC), massa seca da polpa (MSP), massa seca do endocarpo (MSE) e massa seca da amêndoa (MSA), teor de óleo (TO), e produção de óleo por planta (POP), avaliadas em 44 acessos do banco ativo de germoplasma de macaúba, UFV, Viçosa – MG.

Parâmetros genéticos	MSC (g)	MSP(g)	MSE(g)	MSA(g)	TO(%)	POP (Kg)
Vg	0.64	1.61	1.06	0.05	2.14	0.24
Vperm	1.43	4.07	1.94	0.19	3.56	–
Ve	0.27	0.92	0.66	0.10	2.67	1.06
Vf	2.34	6.60	3.66	0.34	8.37	1.30
h2a	0.43	0.39	0.46	0.22	0.40	0.30
Repetibilidade	0.88	0.86	0.82	0.70	0.68	–
Acurácia	0.88	0.86	0.89	0.8	0.89	0.8
h ² m	0.77	0.74	0.79	0.64	0.79	0.64
CVg (%)	15.42	19.77	13.47	13.67	2.61	44.55
Ganho Família (%)	11.94	14.62	10.67	8.75	2.06	28.51
Vg individual	1.92	4.82	3.17	0.14	6.43	0.73
CVg individual (%)	26.71	34.25	23.33	23.67	4.51	77.16
Ganho individual (%)	11.56	13.19	10.66	5.20	1.83	22.82
Ganho BLUP (%)	23.50	27.82	21.33	13.95	3.89	51.33
Média	5.18	6.41	7.63	1.59	56.17	1.11

Vg: variância genética entre famílias, cujos componentes da variância genética aditiva e variância genética de dominância dependem da taxa de autofecundação; Vperm= variância devido aos efeitos permanentes; Ve: variância residual.; Vf: variância fenotípica individual.; h2a = h2: herdabilidade individual no sentido restrito.; Repetibilidade individual; Acurácia da seleção de famílias; h2m : Herdabilidade da média de famílias (acurácia²); CVg (%) : Coeficiente de variação genética entre famílias; Ganho Família (%) : Ganho com a seleção de famílias ; Vg: variância genética entre indivíduos ; CVg individual (%) : Coeficiente de variação genética entre indivíduos ; Ganho individual (%) : Ganho com a seleção de indivíduos dentro de famílias
Ganho BLUP (%) : Ganho com a seleção de indivíduos na população.; Média geral do experimento.

De acordo Mistro (2013), em espécies de reprodução sexuada, sob seleção e posterior recombinação, a herdabilidade no sentido restrito deve ser utilizada, pois considera apenas a variância genética aditiva. Resende (2002) afirma que para a maioria dos caracteres quantitativos de importância econômica, os valores de herdabilidade individual situam-se em torno de 20%, o que está de acordo os resultados encontrados neste estudo, principalmente para o caractere produção de óleo, onde foi verificada uma herdabilidade individual no sentido restrito de 30%.

Valores de herdabilidade variando de 22 a 36% para caracteres de produtividade na cultura do dendê, foi encontrado por Soh *et al.*, (2003). Também Soh (1994) encontrou herdabilidades individual no sentido restrito de 15% para produção de óleo, em palma de óleo. Já Manfio *et al.*, (2012) relataram coeficientes herdabilidade individual no sentido restrito de 87% para crescimento de planta, e 48% para número

de folhas emitidas por planta em progênies de macaúba. Berton (2013) demonstrou em seu trabalho com plantas jovens de macaúba, valores de herdabilidade no sentido restrito variando de 75,40% a 84,20%, para caracteres vegetativos. É escasso estudos que demonstrem estimativas de herdabilidade em palmáceas, principalmente para caracteres relacionados à produção de óleo.

A acurácia na seleção de famílias, para todas as características, foi de alta magnitude, segundo a classificação proposta por Resende (2002), conferindo segurança nos valores genéticos estimados, e maior confiabilidade na seleção. A proximidade entre os valores genéticos aditivos preditos e os valores genéticos verdadeiros dos indivíduos pode ser avaliada com base na acurácia (RESENDE, 2002). Nas fases iniciais e intermediárias de um programa de melhoramento é preferível que se tenha valores de acurácia em torno de 70% ou superior (RESENDE, 2007), portanto os valores de acurácia possibilitam uma maior credibilidade para a prática de seleção dos acessos de macaúba.

A produção de óleo por planta apresentou o maior coeficiente de variação genética individual (77,16%), isso significa elevada variação genética, indicando que a população tem grande potencial para a seleção e obtenção de ganho genético. O coeficiente de variação genética expressa à magnitude da variação genética em relação à média do caráter, assim é possível constatar e quantificar a variabilidade genética presente (FARIAS NETO *et al.*, 2013).

Em plantas perenes, como é o caso da macaúba, o parâmetro coeficiente de repetibilidade é extremamente importante, pois permite a determinação do número de medições necessárias para avaliar com precisão, os valores genéticos aditivos, genotípicos ou fenotípicos permanentes dos indivíduos (PIRES *et al.*, 2011). O coeficiente de repetibilidade para todas as características avaliadas são consideradas de alta magnitude, indicando confiabilidade nas avaliações realizadas. Segundo Resende (2002), valores maiores que 0,60 são considerados elevados para este parâmetro.

Manfio *et al.* (2011) avaliando as características biométricas dos frutos de macaúba, observou coeficiente de repetibilidade variando entre 0,68 e 0,99, tais resultados corroboram com os observados nesse trabalho, que variou entre 0,68 a 0,88, considerando apenas 5 características avaliadas. Já Rocha *et al.* (2012) verificou um valor inferior de repetibilidade individual (0,425) em *Jatropha curcas* L. para o caractere teor de óleo.

As estimativas observadas com o acréscimo do número de medições, permitiu determinar o número mínimo de frutos necessário para se alcançar informações confiáveis e precisas à respeito do indivíduo (Tabela 3). Para avaliações das características massa seca da casca, polpa e endocarpo, um fruto é suficiente, pois condiciona coeficientes de determinação de 88%, 86% e 82% e acurácias seletivas de 94%, 93% e 90%, respectivamente.

Para o teor de óleo e massa seca da amêndoa, o ideal é que se amostre 3 frutos, afim de se obter uma maior eficiência, que passa de 1,00 para 1,13, com acurácia de 93% e 86% de determinação para teor de óleo, e para massa seca da amêndoa a eficiência aumenta de 1,00 para 1,12, e conduz a 94% e 87% de acurácia e determinação, respectivamente.

Uma das finalidades do coeficiente de repetibilidade é justamente a possibilidade de determinar quantas observações fenotípicas devem ser realizadas em cada indivíduo, a fim de que a seleção dos genótipos seja otimizada, reduzindo o custo e a mão de obra (CRUZ *et al.*, 2012). Manfio *et al.* (2011) também encontrou um número mínimo de avaliações entre 1 a 4 frutos, para avaliação das características biométricas de frutos macaúba. O aumento do número de medições, quando a repetibilidade é alta, condicionará pouco acréscimo na precisão, se comparado a uma única observação avaliada em um indivíduo (CRUZ *et al.*, 2012).

Tabela 3 – Número de frutos necessários para se obter valores de coeficiente de determinação (R²), acurácia (Acur) e eficiência (Ef).

Medições	Teor de óleo			M.S.Casca			M.S.Polpa			M.S.Endocarpo			M.S.Amêndoa		
	R ²	Acur	Ef	R ²	Acur	Ef	R ²	Acur	Ef	R ²	Acur	Ef	R ²	Acur	Ef
1	0.68	0.82	1.00	0.88	0.94	1.00	0.86	0.93	1.00	0.82	0.90	1.00	0.70	0.84	1.00
2	0.81	0.90	1.09	0.94	0.97	1.03	0.92	0.96	1.04	0.90	0.95	1.05	0.82	0.91	1.08
3	0.86	0.93	1.13	0.96	0.98	1.04	0.95	0.97	1.05	0.93	0.96	1.07	0.87	0.94	1.12
4	0.89	0.95	1.15	0.97	0.98	1.05	0.96	0.98	1.06	0.95	0.97	1.08	0.90	0.95	1.14
5	0.91	0.96	1.16	0.97	0.99	1.05	0.97	0.98	1.06	0.96	0.98	1.08	0.92	0.96	1.15
6	0.93	0.96	1.17	0.98	0.99	1.05	0.97	0.99	1.07	0.96	0.98	1.09	0.93	0.97	1.16
7	0.94	0.97	1.18	0.98	0.99	1.05	0.98	0.99	1.07	0.97	0.98	1.09	0.94	0.97	1.16
8	0.94	0.97	1.18	0.98	0.99	1.06	0.98	0.99	1.07	0.97	0.99	1.09	0.95	0.97	1.17
9	0.95	0.97	1.18	0.99	0.99	1.06	0.98	0.99	1.07	0.98	0.99	1.09	0.95	0.98	1.17
10	0.95	0.98	1.19	0.99	0.99	1.06	0.98	0.99	1.07	0.98	0.99	1.09	0.96	0.98	1.17

As maiores correlações genóticas (Tabela 4) foram observadas com as variáveis MSE e MSC (0.65), seguida do MSE e MSA (0.62), e POP e MSP (0.62). Portanto, a seleção para MSP condiciona alterações positivas na POP.

As características não significativas ou com baixa estimativa de correlação, evidenciam a independência entre as características, como observado para todas as estimativas que correlaciona o teor de óleo com os demais caracteres. O mesmo foi notado com a correlação genótica da produção de óleo com a massa seca da casca, que apesar de significativa, é considerada uma baixa correlação.

A correlação genética entre caracteres denota o grau de associação genética entre os mesmo (PIRES *et al.*, 2011), e possibilita ao melhorista a seleção indireta, quando um caráter apresenta correlação positiva e significativa com outro caráter de interesse de fácil avaliação (NASCIMENTO *et al.*, 2014).

Tabela 4 - Matriz de correlação genótica para as características: massa seca da casca (MSC), massa seca da polpa (MSP), massa seca do endocarpo (MSE) e massa seca da amêndoa (MSA), teor de óleo (TO), e produção de óleo por planta (POP), avaliadas em 44 acessos do banco ativo de germoplasma de macaúba da UFV.

Caracteres	MSC(g)	MSP(g)	MSE(g)	MSA(g)	TO(%)	POP(Kg)
MSC(g)	1	0.5761**	0.6540**	0.4198**	0.0015 ^{ns}	0.3503*
MSP(g)		1	0.6023**	0.4768**	-0.0321 ^{ns}	0.6215**
MSE(g)			1	0.6247**	-0.0492 ^{ns}	0.2762 ^{ns}
MSA(g)				1	0.2429 ^{ns}	0.4433**
TO(%)					1	0.1810 ^{ns}
POP(Kg)						1

A Tabela 5 mostra os valores fenotípicos (f), os efeitos aditivos (a), valores genéticos aditivos (u + a), ganhos genéticos preditos e a nova média da população referente à recombinação dos melhores indivíduos selecionados pelo BLUP, para o caráter produção de óleo por planta, o de maior interesse econômico.

Nota-se que dos 10 primeiros indivíduos selecionados (Tabela 5), há contribuição de 5 acessos diferentes (8, 37, 49, 43, 26), sendo que os cinco melhores indivíduos para o caráter produção de óleo por planta, pertencente à família do acesso 8.

Destacou-se em primeiro lugar o acesso 8 planta 7, onde foi observado um valor fenotípico (f) de 8,43 Kg,e o valor genético aditivo 3,14.

Tabela 5 – Valores fenotípicos (f), efeitos aditivos (a), valores genéticos aditivos (u + a), ganhos genéticos preditos e nova média com a seleção dos 30 melhores indivíduos dos acessos do banco ativo de germoplasma de macaúba - UFV, para o caráter produção de óleo por planta (Kg).

Ordem	Acesso	Planta	f	a	u+a	Ganho	Nova Média
1	8	7	8.4333	2.0306	3.1371	2.0306	3.1371
2	8	5	4.3329	1.4818	2.5883	1.7562	2.8627
3	8	4	3.3417	1.3491	2.4556	1.6205	2.7270
4	8	1	1.3678	1.0849	2.1914	1.4866	2.5931
5	8	2	1.2233	1.0656	2.1720	1.4024	2.5089
6	37	3	4.5259	1.0113	2.1178	1.3372	2.4437
7	8	8	0.4860	0.9669	2.0734	1.2843	2.3908
8	49	3	3.9273	0.8343	1.9407	1.2281	2.3345
9	43	1	3.6842	0.7603	1.8667	1.1761	2.2826
10	26	7	3.0424	0.7449	1.8514	1.1330	2.2394
11	26	5	2.7324	0.7035	1.8099	1.0939	2.2004
12	26	10	2.5016	0.6726	1.7790	1.0588	2.1653
13	43	2	2.7541	0.6358	1.7422	1.0263	2.1327
14	26	6	2.1163	0.6210	1.7275	0.9973	2.1038
15	47	2	3.0222	0.5620	1.6685	0.9683	2.0748
16	26	9	1.5482	0.5449	1.6514	0.9418	2.0483
17	43	6	1.6552	0.4887	1.5951	0.9152	2.0217
18	36	2	3.4323	0.4809	1.5874	0.8911	1.9975
19	47	6	2.2580	0.4597	1.5662	0.8684	1.9748
20	43	4	1.2311	0.4319	1.5384	0.8465	1.9530
21	26	3	0.5032	0.4051	1.5115	0.8255	1.9320
22	36	9	2.6611	0.3777	1.4841	0.8052	1.9116
23	38	3	3.4644	0.3757	1.4821	0.7865	1.8930
24	47	1	1.6234	0.3748	1.4813	0.7693	1.8758
25	50	5	2.7592	0.3655	1.4720	0.7532	1.8596
26	43	3	0.6901	0.3595	1.4660	0.7380	1.8445
27	47	3	1.2368	0.3231	1.4295	0.7227	1.8291
28	50	3	2.3023	0.3043	1.4108	0.7077	1.8142
29	27	1	2.3523	0.2759	1.3824	0.6928	1.7993
30	36	1	1.8839	0.2736	1.3801	0.6789	1.7853

f: valor fenotípico individual ou medição de campo;

a: efeito genético aditivo predito;

u + a: valor genético aditivo predito;

A seleção dos 30 melhores indivíduos para estabelecimento de um pomar de sementes conduzirá a um ganho genético de 0.67 Kg sobre a média geral (1.11 Kg) e a média da população melhorada em uma próxima geração de plantio será de 1.78 Kg,

proporcionando um ganho genético de 61%. Dessa forma, ficou evidenciado um grande potencial do melhoramento da população de macaúba avaliada.

A constatação da presença de variabilidade genética em uma população permite a prática de seleção, com objetivo de reunir alelos favoráveis à característica em que se deseja melhorar (REIS *et al.*, 2004). A seleção de genitores para cruzamento deve se basear no valor genético aditivo e também na dissimilaridade entre eles. Isso possibilitará a obtenção de novas populações com média alta e ampla variabilidade genética, que será utilizada em um novo ciclo de seleção.

Na Tabela 6, devido à existência de variabilidade genética entre os acessos, houve a formação de onze grupos distintos de famílias, pelo agrupamento de Tocher, com base na distância euclidiana média. O primeiro e maior grupo incluiu 25 acessos. Os intermediários, segundo, terceiro, quarto, quinto e sexto grupo, foram constituídos de 5, 3, 2, 2 e 2 acessos, respectivamente. E os menores grupos, do sétimo ao décimo primeiro, foram formados com apenas 1 acesso.

Tabela 6 – Agrupamento genético dos 44 acessos, estabelecidos pelo método Tocher, baseado na distância euclidiana média.

Grupo	Acessos
1	2 3 5 7 9 11 14 16 17 21 23 25 29 30 31 33 36 38 39 41 42 44 45 48 52
2	1 4 20 32 40
3	47 49 50
4	6 43
5	8 37
6	15 22
7	26
8	27
9	35
10	13
11	53

Segundo Resende (2007), para aumentar a probabilidade de obtenção de alta capacidade específica de combinação ou heterose, deve-se proceder o cruzamento entre indivíduos selecionados de excelentes famílias, classificados em diferentes grupos. Deste modo, com o cruzamento entre os acessos de macaúba de melhor desempenho e divergentes, podem originar na próxima geração, indivíduos superiores aos seus genitores, e identificar quais são os melhores materiais que se complementem.

Conceição *et al.* (2015) ao estudar a divergência genética em populações naturais de macaúba, observou a formação de cinco grupos distintos para características envolvendo os aspectos físicos dos frutos e teor de óleo. No entanto, pouco se tem relatos na literatura sobre a divergência genética de macaúba baseada em características relacionadas ao fruto e ao óleo.

Manfio *et al.* (2012) ao avaliar a divergência genética de 51 progênies de macaúba, considerou características morfológicas relacionadas ao crescimento e vigor da espécie, e obteve a formação de sete grupos, utilizando o método de Tocher, baseado na distância euclidiana média. Domiciano *et al.* (2015) também estimou a diversidade genética das progênies de macaúba através de informações morfológicas e fisiológicas e notou dissimilaridade entre os acessos, com a formação de 3 grupos distintos. Portanto essa diversidade genética presente na macaúba subsidia o programa de melhoramento genético, com perspectiva de obtenção de sucesso na seleção de genitores.

Através do índice de Mulamba e Mock (1978), considerando a média dos *ranks* para as características avaliadas, os acessos foram classificados em ordem favorável a seleção (Tabela 7), sendo que o menor valor do *rank* médio indica uma combinação mais favorável entre os caracteres avaliados, e o maior valor uma combinação desfavorável. Os acessos selecionados 43, 8, 37, 35 e 6 ocuparam as primeiras posições na média de *ranks*. Isso significa que esses acessos possuem os melhores desempenhos em relação às características físicas dos frutos combinado com o rendimento de óleo, portanto, são os mais indicados para a seleção.

Tabela 7 - Classificação dos 20 melhores acessos de acordo o *rank* médio, baseado no índice de Mulamba e Mock (1978), em relação às características avaliadas: massa seca da casca (MSC, g), massa seca da polpa (MSP, g), massa seca do endocarpo (MSE, g) e massa seca da amêndoa (MSA, g), teor de óleo (TO, %), e produção de óleo por planta (POP, Kg).

Ordem	Acesso	Rank- MSC	Rank - MSP	Rank - MSE	Rank - MSA	Rank - TO	Rank - POP	Rank- Médio
1	43	18	2	0	4	22	5	10.20
2	8	42	4	0	1	8	1	11.20
3	37	43	5	0	2	6	2	11.60
4	35	16	27	0	14	1	12	14.00
5	6	31	6	0	3	21	13	14.80
6	25	23	12	0	8	16	23	16.40
7	36	26	24	0	12	14	7	16.60
8	15	36	3	0	26	3	16	16.80
9	31	6	15	0	10	17	40	17.60
10	52	33	13	0	16	9	17	17.60
11	53	2	42	0	5	4	35	17.60
12	47	5	18	0	30	30	6	17.80
13	49	21	14	0	39	13	4	18.20
14	50	1	26	0	41	18	8	18.80
15	17	20	19	0	18	5	36	19.60
16	38	27	23	0	32	2	14	19.60
17	16	12	16	0	35	27	9	19.80
18	27	8	7	0	37	42	10	20.80
19	29	35	21	0	20	10	21	21.40
20	1	15	30	0	7	36	20	21.60

Através da observância dos resultados anteriormente relatados, sobre a divergência dos acessos do banco de germoplasma, e levando em consideração os melhores genótipos de acordo o *rank* médio, baseado no índice de Mulamba e Mock (1978), pode fundamentar-se enfim, a escolha dos melhores genitores a serem cruzados em um programa de melhoramento, visando à melhoria da produção de óleo.

Este trabalho é o primeiro estudo genético realizado no banco ativo de germoplasma de macaúba da Universidade Federal de Viçosa, considerando as características de produção de óleo, sendo importante para o processo de domesticação e integração da macaúba no setor econômico, principalmente no que se diz respeito ao melhoramento da espécie.

4. CONCLUSÕES

Os acessos do banco ativo de germoplasma de macaúba apresentam variabilidade genética e uma herdabilidade considerável para as características avaliadas, o que significa possibilidades de obter sucesso no programa de melhoramento da macaúba para a produção de óleo.

A avaliação das características estudadas neste trabalho podem ser realizadas com 3 frutos por indivíduo, sem perder a eficiência da seleção.

Houve uma boa correlação positiva entre a massa seca da polpa e produção de óleo por planta, assim a seleção indireta de frutos com maior massa seca da polpa proporcionará um aumento na produção de óleo por planta.

Os melhores indivíduos para o caráter produção de óleo por planta foram selecionados, sendo que os 10 melhores plantas pertencem a 5 acessos diferentes (8, 37, 49, 43, 26), selecionados pelo BLUP individual.

O agrupamento genético dos 44 acessos, estabelecidos pelo método Tocher, baseado na distância euclidiana média, permitiu a formação de 11 grupos, o que demonstra a presença de diversidade genética na população e subsidia o programa de melhoramento genético, com perspectiva de obtenção de sucesso na seleção de genitores.

O índice de média de *ranks* de Mulamba e Mock permitiu classificar os acessos em ordem favorável a seleção, considerando todas as características avaliadas, sendo que os acessos selecionados 43, 8, 37, 35 e 6 destacaram nas primeiras posições.

5. AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo suporte financeiro.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BERTON, L. H. C. **Avaliação de populações naturais, estimativas de parâmetros genéticos e seleção de genótipos elite de macaúba (*Acrocomia aculeata*)**. 2013.154 p. Tese (Doutorado em Agricultura Tropical e Subtropical) – Instituto Agronômico de Campinas, Campinas – SP.

CARVALHO, L. P. de; LANZA, M. A.; FALLIERI, J.; SANTOS, J. W. dos. Análise da diversidade genética entre acessos de banco ativo de germoplasma de algodão. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 38, n. 10, p. 1149-1155, 2003.

CONCEIÇÃO, L. D. H. C. S. da; ANTONIASSI, R.; JUNQUEIRA, N. T. V.; BRAGA, M. F.; FARIA-MACHADO, A. F. de; ROGÉRIO, J. B.; DUARTE, I. D.; BIZZO, H. R. Genetic diversity of macauba from natural populations of Brazil. **BMC Res Notes**, v.8, n.406,p.1-9 , 2015.

COSTA, E.; MARTINS, R. F.; FARIA, T. A. C.; JORGE, M. H. A.; LEAL, P. A. M. Seedlings of *Acrocomia aculeata* in diferent substrates and protected environments. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.34, n.3, p.395-404, 2014.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos Biométricos Aplicados ao Melhoramento Genético**, Viçosa: Editora UFV, 2012. 514p.

DOMICIANO, G. P.; ALVES, A. A.; LAVIOLA, B. G.; CONCEIÇÃO, L. D. H. C. S. da. Parâmetros genéticos e diversidade em progênies de Macaúba com base em características morfológicas e fisiológicas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.45, n.9, p.1599-1605, 2015.

FARIAS NETO, J. T. de; CLEMENT, C. R.; RESENDE, M. D. V. de. Estimativas de parâmetros genéticos e ganho de seleção para produção de frutos em progênies de polinização aberta de pupunheira no Estado do Pará, Brasil. **Bragantia**, Campinas, v. 72, n. 2, p.122-126, 2013.

FREITAS, I. L de. J.; AMARAL JUNIOR, A. T. do; VIANA, A. P.; PENA, G. F.; CABRAL, P. da S.; VITTORAZZI, C.; SILVA, T. R. da C. Ganho genético avaliado com índices de seleção e com REML/Blup em milho-pipoca. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.48, n.11, p.1464-1471, 2013.

GOULART, S. de M. **Amadurecimento pós-colheita de frutos de macaúba e qualidade do óleo para a produção de biodiesel**. 2014. 66p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG.

MANFIO, C. E.; MOTOIKE, S. Y.; RESENDE, M. D. V. de; SANTOS, C. E. M. dos; SATO, A. Y. Avaliação de progênies de macaúba na fase juvenil e estimativas de parâmetros genéticos e diversidade genética. **Pesquisa florestal brasileira**, Colombo, v.32, n.69, p.63-68, 2012.

MANFIO, C. E.; MOTOIKE, S. Y.; SANTOS, C. E. M. dos; PIMENTEL, L. D.; QUEIROZ, V. de.; SATO, A. Y. Repetibilidade em características biométricas do fruto de macaúba. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.41, n.1, p.70-76, 2011.

MISTRO, J. C. **Estimativas de parâmetros genéticos visando o melhoramento do café robusta (*Coffeacaneophora* Pierre ex A. Froehner)**. 2013.152p. Tese (Doutorado em Ciências) Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba-SP.

MULAMBA, N. N.; MOCK, J. J. Improvement of yield potential of the Eto Blanco maize (*Zea mays* L.) population by breending for plant traits. **Egyptian Journal of Genetics and Cytology**, Alexandria, n. 7, p.40-51, 1978.

NASCIMENTO, W. M. O. do; GURGEL, F. de L.; BHERING, L. L.; RIBEIRO, O. D. Pré-melhoramento do camucamuzeiro: estudo de parâmetros genéticos e dissimilaridade. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 61, n.4, p. 538-543, 2014.

NUGROHO, Y. A.; SUMERTAJAYA, I. M.; WIENDI, N. M. A.;TORUAN-MATHIUS, N. Estimation of genetic parameters for in vitro culture traits and selection best progenies for Tenera oil palm tissue culture. **Energy Procedia**, v.47, p. 316–322, 2014.

PIRES, I. E.; RESENDE, M. D. V. de; SILVA, R. L. da; JUNIOR, M. F. R. de R. **Genética Florestal**.Viçosa: Arka,2011.318p.

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

RESENDE, M. D. V. **Matemática e Estatística na Análise de Experimentos e no melhoramento genético**. Colombo: Embrapa Florestas, 2007. 535 p.

REIS, E. F. dos; REIS, M. S.; CRUZ, C. D.; SEDIYAMA, T. Comparação de procedimentos de seleção para produção de grãos em populações de soja. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.34, n.3, p.685-692, 2004.

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**, Brasília, v.47, n.1, p.44-50, 2012.

SOH, A.C. Ranking parents by best linear unbiased prediction (BLUP) of breeding values in oil palm. **Euphytica**, v.76, p.13-21, 1994.

SOH, A.C. ; GAN, H.H.; WONG, G.; HOR, T.Y.; TAN C.C. Estimates of within family genetic variability for clonal selection in oil palm. **Euphytica**, v.133, p.147-163, 2003.

TEIXEIRA, L.C. Potencialidades de oleaginosas para produção de biodiesel. **Revista Informe Agropecuário**, v.26, n.229. p.18- 27, 2005.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos neste trabalho são de grande importância para o programa de melhoramento da macaúba, pois elucidam e subsidiam informações imprescindíveis para o melhoramento da espécie. Foram estes:

Os acessos do banco ativo de germoplasma de macaúba apresentam variabilidade genética e uma herdabilidade considerável para as características avaliadas, o que significa possibilidades de obter sucesso no programa de melhoramento da macaúba para a produção de óleo.

A avaliação das características estudadas neste trabalho podem ser realizadas com 3 frutos, sem perder a eficiência da seleção.

Houve uma boa correlação positiva entre a massa seca da polpa e produção de óleo por planta, assim a seleção indireta de frutos com maior massa seca da polpa proporcionará um aumento na produção de óleo por planta.

Os melhores indivíduos para o caráter produção de óleo por planta foram selecionados, sendo que os 10 melhores plantas pertencem a 5 acessos diferentes (8, 37, 49, 43, 26), selecionados pelo BLUP individual.

O agrupamento genético dos 44 acessos, estabelecidos pelo método Tocher, baseado na distância euclidiana média, permitiu a formação de 11 grupos, o que demonstra a presença de diversidade genética na população e subsidia o programa de melhoramento genético, com perspectiva de obtenção de sucesso na seleção de genitores.

O índice de média de *ranks* de Mulamba e Mock permitiu classificar os acessos em ordem favorável a seleção, considerando todas as características avaliadas, sendo que os acessos selecionados 43, 8, 37, 35 e 6 destacaram nas primeiras posições.

Assim, considerando o objetivo em selecionar materiais genéticos elites para produção de óleo, o melhoramento genético da macaúba vislumbra passos longos e produtivos, sendo importante a realização de estudos que contribua cada vez mais para o melhoramento.