

**DÉBORA DURSO CAETANO MADEIRA**

**DIVERSIDADE E SELEÇÃO DE ACESSOS DE MACAÚBA (*Acrocomia aculeata*)  
BASEADAS EM ATRIBUTOS DO ÓLEO E DE PRODUTIVIDADE**

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

Orientador: Sérgio Yoshimitsu Motoike

Coorientador: Marcos Deon de Vilela Resende

**VIÇOSA - MINAS GERAIS  
2021**

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

T

C128d  
2021

Madeira, Débora Durso Caetano, 1992-

Diversidade e seleção de acessos de macaúba (*Acrocomia  
aculeata*) baseadas em atributos do óleo e de produtividade /  
Débora Durso Caetano Madeira. – Viçosa, MG, 2021.

82 f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui anexos.

Orientador: Sérgio Yoshimitsu Motoike.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Inclui bibliografia.

1. Macaúba - Melhoramento genético. 2. Variação  
(Genética). I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de  
Agronomia. Programa de Pós-Graduação em Genética e  
Melhoramento. II. Título.

CDD 22. ed. 633.851

Bibliotecário(a) responsável: Renata de Fatima Alves CRB6/2578

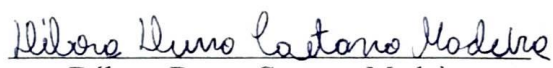
**DÉBORA DURSO CAETANO MADEIRA**

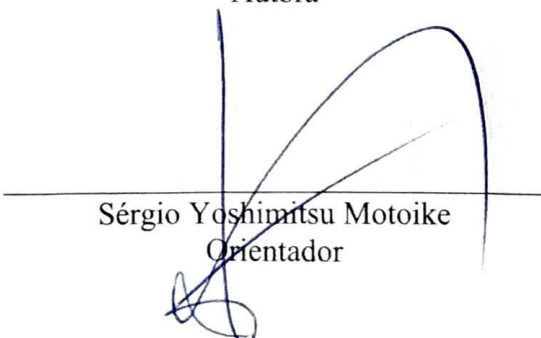
**DIVERSIDADE E SELEÇÃO DE ACESSOS DE MACAÚBA (*Acrocomia aculeata*)  
BASEADAS EM ATRIBUTOS DO ÓLEO E DE PRODUTIVIDADE**

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

APROVADA: 07 de julho de 2021.

Assentimento:

  
Débora Durso Caetano Madeira  
Autora

  
Sérgio Yoshimitsu Motoike  
Orientador

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, acima de tudo e de todos, pela maravilhosa graça a mim dispensada.

Ao meu esposo Rodrigo, meu grande incentivador, pelo amor e apoio.

Aos meus pais, Fernando e Denise, por todo suporte e amor incondicional.

À minha família, em especial meus irmãos Fernandinho, Lucas, Matheus e Hanna, por me incentivarem e me acompanharem de perto em todos os momentos.

Aos colegas da Rede Macaúba de Pesquisa (REMAPE), pela troca de experiências e auxílio no desenvolvimento desse trabalho.

À Igreja Presbiteriana de Viçosa, por me acolher como família em Viçosa.

Às amigas/irmãs de república, pelo privilégio de compartilhar a vida.

À Universidade Federal de Viçosa, pela oportunidade de realizar a pós-graduação.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos.

## RESUMO

MADEIRA, Débora Durso Caetano, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2021. **Diversidade e seleção de acessos de macaúba (*Acrocomia aculeata*) baseadas em atributos do óleo e de produtividade.** Orientador: Sérgio Yoshimitsu Motoike. Coorientador: Marcos Deon de Vilela Resende.

Nos últimos anos o número de iniciativas de pesquisa com macaúba tem crescido exponencialmente devido a seu grande potencial produtivo, que inclui dois tipos de óleo e uma série de coprodutos, que permitem sua aplicabilidade a diversos setores da economia. Entretanto, para que a espécie se estabeleça no agronegócio brasileiro, algumas linhas de pesquisa ainda precisam ser aprofundadas, com ênfase para o desenvolvimento de cultivares elite. Dessa forma, o objetivo desse trabalho foi avaliar a diversidade genética de acessos de macaúba de diferentes procedências brasileiras e selecionar genótipos superiores para caracteres de qualidade de óleo e de produtividade. Foram selecionados 197 genótipos de 50 acessos cultivados no Banco de Germoplasma de Macaúba da Universidade Federal de Viçosa. Eles foram oriundos de 3 populações (Pop1, 2 e 3) dos estados de Mato Grosso do Sul e São Paulo (Pop1), Pará e Pernambuco (Pop2) e Minas Gerais (Pop3). As variáveis avaliadas foram: perfil de ácidos graxos, teor de carotenoides, coloração do óleo, teor de óleo (avaliadas no óleo de polpa), biometria de frutos e produtividade. Observou-se grande variabilidade fenotípica para os caracteres avaliados. Eles também apresentaram herdabilidades médias e altas e altas acurácias de seleção, resultando em alto controle genético e confiabilidade no processo de seleção. O ácido oleico foi o que ocorreu em maior abundância, seguido do palmítico. O teor de carotenoides variou de 27 µg/g a mais de 2500 µg/g e apresentou alta correlação positiva com o caráter cor vermelha do óleo. Obteve-se ganho de seleção para todas as variáveis avaliadas. A Pop3 apresentou os melhores genótipos para produtividade, teor de óleo e aspectos biométricos do fruto e a Pop1 apresentou os genótipos com maior teor de carotenoides. As análises de diversidade demonstraram que os acessos tendem a se agrupar de acordo com sua origem geográfica e que existe maior proximidade genética entre as populações 2 e 3. Os resultados apresentados nesse trabalho servirão de subsídio para programas de melhoramento de macaúba que atendam a diferentes setores do mercado.

Palavras-chave: Variabilidade. Melhoramento genético. Parâmetros genéticos.

## ABSTRACT

MADEIRA, Débora Durso Caetano, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, July, 2021. **Diversity and selection of macauba (*Acrocomia aculeata*) accessions based on oil and yield attributes.** Adviser: Sérgio Yoshimitsu Motoike. Co-adviser: Marcos Deon de Vilela Resende.

In recent years, the number of research initiatives on macauba has grown exponentially due to its great production potential, which includes two types of oil and a series of co-products, which allow its applicability to various sectors of the economy. However, for the establishment of the species in Brazilian agribusiness, some research lines still need to be deepened, with emphasis on the development of elite cultivars. Thus, the objective of this work was to evaluate the genetic diversity of macauba accessions from different Brazilian origins and to select superior genotypes for traits of oil quality and productivity. A total of 197 genotypes from 50 accessions cultivated in the Macauba Germplasm Bank of the Universidade Federal de Viçosa were selected. They came from 3 populations (Pop1, 2 and 3) from the states of Mato Grosso do Sul and São Paulo (Pop1), Pará and Pernambuco (Pop2) and Minas Gerais (Pop3). The evaluated variables were: fatty acid profile, carotenoid content, oil color, oil content (evaluated in pulp oil), fruit biometry and productivity. Great phenotypic variability was observed for the evaluated traits. They also showed medium and high heritability and high selection accuracies, resulting in high genetic control and reliability in the selection process. Oleic acid was the most abundant, followed by palmitic acid. The carotenoids content ranged from 27 µg/g to more than 2500 µg/g and showed high positive correlation with the red color trait of the oil. Selection gain was obtained for all evaluated variables. Pop3 had the best genotypes for productivity, oil content and biometric aspects of the fruit and Pop1 had the genotypes with the highest carotenoids content. Diversity analysis showed that accessions tend to group according to their geographic origin and that there is greater genetic proximity between populations 2 and 3. The results presented in this work will serve as a subsidy for macauba breeding programs applicable to different market sectors.

Keywords: Variability. Genetic breeding. Genetic parameters.

## SUMÁRIO

|                                             |    |
|---------------------------------------------|----|
| INTRODUÇÃO GERAL .....                      | 8  |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....            | 10 |
| Artigo 1.....                               | 12 |
| RESUMO .....                                | 13 |
| PALAVRAS-CHAVE.....                         | 13 |
| INTRODUÇÃO.....                             | 14 |
| MATERIAL E MÉTODOS.....                     | 15 |
| Material vegetal e coleta de amostras ..... | 15 |
| Avaliações.....                             | 17 |
| Atributos do óleo de polpa .....            | 17 |
| Perfil de ácidos graxos .....               | 18 |
| Carotenoides totais .....                   | 18 |
| Análise colorimétrica do óleo .....         | 18 |
| Atributos de produtividade .....            | 19 |
| Teor de óleo.....                           | 19 |
| Biometria de frutos.....                    | 20 |
| Análises estatísticas .....                 | 20 |
| RESULTADOS .....                            | 20 |
| Atributos do óleo.....                      | 20 |
| Teor de óleo .....                          | 22 |
| Biometria de frutos .....                   | 23 |
| Correlação fenotípica .....                 | 24 |
| Diversidade genética.....                   | 27 |
| DISCUSSÃO .....                             | 32 |
| CONCLUSÃO.....                              | 37 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....            | 37 |
| Artigo 2.....                               | 41 |
| RESUMO .....                                | 42 |
| PALAVRAS-CHAVE.....                         | 42 |
| INTRODUÇÃO.....                             | 43 |
| MATERIAL E MÉTODOS.....                     | 44 |
| Material vegetal .....                      | 45 |
| Perfil de ácidos graxos .....               | 45 |

|                                                                                                 |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Carotenoides totais.....                                                                        | 46 |
| Teor de óleo .....                                                                              | 46 |
| Biometria de frutos .....                                                                       | 46 |
| Produtividade de frutos .....                                                                   | 47 |
| Análises genéticas e estatísticas.....                                                          | 47 |
| Variáveis perfil de ácidos graxos, carotenoides totais, teor de óleo e biometria de frutos..... | 47 |
| Variável produtividade de frutos.....                                                           | 48 |
| RESULTADOS .....                                                                                | 50 |
| Perfil de ácidos graxos, carotenoides totais, teor de óleo e biometria de frutos .....          | 50 |
| Produtividade de frutos .....                                                                   | 59 |
| Índice de seleção .....                                                                         | 61 |
| DISCUSSÃO .....                                                                                 | 62 |
| CONCLUSÃO.....                                                                                  | 66 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....                                                                | 67 |
| CONCLUSÃO GERAL .....                                                                           | 72 |
| ANEXO .....                                                                                     | 74 |
| MATERIAL SUPLEMENTAR – ARTIGO 1.....                                                            | 75 |
| MATERIAL SUPLEMENTAR – ARTIGO 2.....                                                            | 79 |



## INTRODUÇÃO GERAL

A macaúba, *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Martius, é uma palmeira arbórea amplamente distribuída nas regiões tropicais e subtropicais do continente americano, encontrada desde o México até a Argentina. No Brasil, essa palmeira nativa é encontrada nas cinco regiões do território, com maior densidade no sudeste e centro-oeste (Henderson et al., 1995). Caracterizada pela tolerância à alta irradiância e temperatura, ao fogo e à seca, a macaúba também coloniza áreas de pastagens ativas ou degradadas (Scariot et al., 1991; Lorenzi et al., 2010; Arkcoll, 1990; Motoike e Kuki, 2009; Pires et al., 2013). Ela pode ser integrada em diversos sistemas de produção, inclusive no modelo agrossilvipastoril (Ciconini et al., 2013). Sua inserção em pastagens produtivas ou abandonadas pode ajudar a reduzir o impacto da mudança no uso do solo ao conter a expansão de novas áreas agrícolas, protegendo florestas, sequestrando carbono (CO<sub>2</sub>), enriquecendo o solo com matéria orgânica e restaurando a cobertura vegetal de áreas degradadas (Lanes, 2014).

É uma espécie monoica que produz inflorescências hermafroditas em espádice, as quais são protegidas por uma espata que pode chegar a dois metros de comprimento (Scariot et al. 1995). No Brasil o florescimento da macaúba ocorre de setembro a fevereiro, com pico entre os meses de novembro e dezembro (Lorenzi, 2006; Scariot et al., 1995). A frutificação ocorre ao longo do ano e os frutos amadurecem cerca de 14 meses após a fertilização (Montoya et al., 2016). Seus frutos são uma drupa globosa que se dispõe em cachos na planta. Quando maduros, são compostos de epicarpo fibroso e quebradiço, um mesocarpo fibroso e carnudo, endocarpo lignificado e espesso e uma endosperma (amêndoa) sólido (Lanes et al., 2015).

A macaúba é considerada uma espécie alógama com marcada protoginia, entretanto, a presença de várias inflorescências na mesma planta permite que ocorra autofecundação. Além disso, algumas circunstâncias, como o tamanho reduzido de populações, acabam promovendo cruzamentos entre indivíduos aparentados e fazem com que a macaúba produza progênes que compreendem vários graus de parentesco (Lanes et al., 2016).

A palmeira é tradicionalmente explorada por pequenos produtores rurais de forma extrativista, apresentando grande importância socioeconômica (Manfio et al., 2012). Ela tem despertado o interesse de pesquisadores das mais diversas áreas devido a seu grande potencial produtivo. Seus frutos, que são o principal produto de interesse econômico, podem ser utilizados para propósitos variados. Eles produzem dois tipos de óleo, armazenados na polpa e na amêndoa. O óleo da polpa apresenta intensa coloração alaranjada e é caracterizado pela presença de carotenoides e alta concentração de ácido oleico (Hiane et al., 2005; Ramos et al., 2007; Coimbra e Jorge, 2011), enquanto a amêndoa produz um óleo com aspecto transparente

e rico em ácido láurico (Hiane et al., 2005; Ciconini et al., 2013). Esses óleos podem ser utilizados em diferentes setores industriais, como de cosméticos, fármacos, alimentícios e biocombustíveis (Ciconini et al., 2013). Do processamento dos frutos para extração de óleo são gerados coprodutos de alto valor agregado, que facilitam a rentabilidade adicional de sua produção (Lanes et al., 2015). Alguns deles são os farelos fibro-proteicos de polpa e amêndoa, que podem ser utilizados na nutrição humana e animal e o endocarpo lignificado, que pode ser utilizado como carvão ou briquete para geração de energia (Ciconini et al., 2013; Pires et al., 2013; Lanes et al., 2015). O elevado potencial produtivo da macaúba, associado à sua ampla dispersão pela América tropical, coloca essa espécie em posição estratégica como principal alternativa ao dendê (*Elaeis guinensis*), que atualmente é a única palmeira produtora de óleo do mundo (Lanes et al., 2016).

A macaúba é uma espécie que apresenta grande heterogeneidade fenotípica, que inclui aquela relacionada à produtividade, ao perfil de ácidos graxos e a diferenças morfológicas nos frutos (Motoike et al., 2013; Conceição et al., 2015; Vianna et al., 2017; Costa et al., 2018). Essa variabilidade é reflexo das diferentes pressões seletivas que a espécie sofre devido às variadas características ambientais e condições edafoclimáticas associadas à sua ampla distribuição geográfica.

O número de produções científicas e de grupos de pesquisa voltados para estudos da macaúba têm crescido constantemente nos últimos anos. Entretanto algumas diretrizes ainda precisam ser aprofundadas a fim de garantir a consolidação da cadeia produtiva da espécie. Entre elas destacam-se a organização de bancos de germoplasma, geração de cultivares elite e valorização de coprodutos (Colombo et al., 2017). Nesse sentido, o Banco de Germoplasma de Macaúba (BAG-Macaúba) da Universidade Federal de Viçosa desempenha papel essencial ao suporte do programa de melhoramento de macaúba e na conservação da variabilidade genética da espécie. Ele possui mais de 300 acessos (progênie de polinização aberta) coletados em todo o território brasileiro, totalizando mais de 1500 plantas.

O estudo da diversidade genética entre indivíduos e populações com vista ao conhecimento da variabilidade genética é essencial em um programa de melhoramento, pois permite a estimação precisa da biodiversidade apresentada pela espécie, orientando assim a seleção de genitores e um melhor planejamento de cruzamentos que maximizem os ganhos genéticos e a eficiência no desenvolvimento de novos cultivares (Cruz et al., 2011; Farias Neto et al., 2013). Dessa forma, os principais objetivos desse trabalho foram avaliar a variabilidade fenotípica, a diversidade genética, estimar os parâmetros genéticos e selecionar genótipos

superiores de macaúba com base em caracteres de qualidade do óleo de polpa, e caracteres de produtividade.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARKCOLL, D. **New crops from Brazil**. In: Janick, J., Simon, E.J. (Eds.), *Advances in New Crops*. Timber Press, Portland, OR. 367–371, 1990.

CICONINI, G.; FAVARO, S. P.; ROSCOE, R.; MIRANDA, C. H. B.; TAPETI, C. F.; MIYAHIRA, M. A. M.; BEARARI, L.; GALVANI, F.; BORSATO, A. V.; COLNAGO, L. A.; NAKA, M. H. Biometry and oil contents of *Acrocomia aculeata* fruits from the Cerrados and Pantanal biomes in Mato Grosso do Sul, Brazil. **Industrial Crops and Products**, v. 45, p. 208–214. 2013.

COIMBRA, M.C.; JORGE, N. Proximate composition of guariroba (*Syagrus oleracea*), jerivá (*Syagrus romanzoffiana*) and macaúba (*Acrocomia aculeata*) palm fruits. **Food Research International**, v. 44, p. 2139-2142. 2011.

COLOMBO, C. A.; BERTON, L. H. C.; DIAZ, B. G.; FERRARI, R. A. Macauba: a promising tropical palm for the production of vegetable oil. **Oilseeds and fats, Crops and Lipids**, 2017

CONCEIÇÃO, L. D. H. C. S. DA; ANTONIASSI, R.; JUNQUEIRA, N. T. V.; BRAGA, M. F.; FARIA-MACHADO, A. F.; ROGÉRIO, J. B.; DUARTE, I. D.; BIZZO, H. R. Genetic diversity of macaúba from natural populations of Brazil. **BMC Research Notes**, v. 8, 406. 2015.

COSTA, A. M.; MOTOIKE, S. Y.; CORRÊA, T. R.; SILVA, T. C.; COSER, S. M.; DE RESENDE, M. D. V.; TEÓFILO, R. F. Genetic parameters and selection of macaw palm (*Acrocomia aculeata*) accessions: an alternative crop for biofuels. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 18, p. 259-266. 2018.

CRUZ, C. D.; FERREIRA, F. M.; PESSONI, L. A. **Biometria aplicada ao estudo da diversidade genética**. 1a ed. Visconde do Rio Branco-MG: Suprema, 2011. 620 p.

FARIAS NETO, J. T.; CLEMENT, C. R.; RESENDE, M. D. V. 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**, v. 32, n. 122- 126. 2013.

HENDERSON, A.; GALEANO G.; BERNAL, R. **Field Guide to the Palms of the Americas**. Princeton: Princeton University Press, 1995. p. 166-167.

HIANE, P. A.; RAMOS FILHO, M. M.; RAMOS, M. I. L.; MACEDO, M. L. R. Bocaiuva, *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd., pulp and kernel oils: Characterization and fatty acid composition. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 8, n. 256–259. 2005.

LANES, E.C.M.; MOTOIKE, S.Y.; KUKI, K.N.; NICK, C.; FREITAS, R.D.; JONES, F.A. Molecular characterization and population structure of the macaw palm, *Acrocomia aculeata* (Arecaceae), ex situ germplasm collection using microsatellites markers. **Journal of Heredity**, v. 106, p. 102–112. 2015.

LANES, E. C. M.; MOTOIKE, S. Y.; KUKI, K. N.; RESENDE, M. D. V.; CAIXETA, E. T. Mating system and genetic composition of the macaw palm (*Acrocomia aculeata*): implications

for breeding and genetic conservation programs. **Journal of Heredity**, v. 107, n. 6, p. 527-536. 2016.

LANES, E. C. M. **Variabilidade molecular e sistema de reprodução de macaúba (*Acrocomia aculeata*)**. 2014. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento) – Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2014.

LORENZI, G. M. A. C. **Acrocomia aculeata (Jacq.) Lodd. ex Mart. Arecaceae: bases para o extrativismo sustentável**. Tese (Doutorado em Agronomia) – Departamento de Fitotecnia e Fitossanitarismo, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2006.

LORENZI, H.; NOBLICK, L.; KAHN, F.; FERREIRA, E., **Flora Brasileira: Arecaceae (Palmeiras)**. Nova Odessa, SP: Instituto Plantarum, 2010. 384 p.

MANFIO, C. E.; MOTOIKE, S. Y.; RESENDE, M. D. V.; DOS SANTOS, C. E. M.; SATO, A. Y. Avaliação de progênies de macaúba na fase juvenil e estimativas de parâmetros genéticos e diversidade genética. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 32, 63–68. 2012

MONTOYA, S. G.; MOTOIKE, S. Y.; KUKI, K. N.; COUTO, A. D. Fruit development, growth, and stored reserves in macauba palm (*Acrocomia aculeata*), an alternative bioenergy crop. **Planta**, v. 244, p. 927 – 938. 2016.

MOTOIKE, S. Y.; CARVALHO, M.; PIMENTEL, L. D.; KUKI, K. N.; PAES, J. M. V.; DIAS, H. C. T.; SATO, A. Y. **A cultura da macaúba: implantação e manejo de cultivos racionais**. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2013. 61 p.

MOTOIKE, S. Y.; KUKI, K. N. The potential of macaw palm (*Acrocomia aculeata*) as source of biodiesel in Brazil. **IRECHE**, v. 1, p. 632–635. 2009.

PIRES, T.P.; SOUZA, E.S.; KUKI, K.N.; MOTOIKE, S.Y. Ecophysiological traits of the macaw palm: A contribution towards the domestication of a novel oil crop. **Industrial Crops and Products**, v. 44, p. 200–210. 2013.

RAMOS, M. I. L.; SIQUEIRA, E. M. A.; ISOMURA, C. C.; BARBOSA, A. M. J.; ARRUDA, S. F. Bocaiuva (*Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd) improved vitamin A status in rats. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 55, p. 3186–3190. 2007.

SCARIOT, A.; LLERAS, E.; HAY, J. D., Reproductive biology of the palm *Acrocomia aculeata* in Central Brazil. **Biotropica**, v. 23, p. 12–22. 1991.

SCARIOT, A. O.; LLERAS, E.; HAY, J. D. Flowering and fruiting phenology of the palm *Acrocomia aculeata*: patterns and consequences. **Biotropica** 27:168–173. 1995.

VIANNA, S. A.; BERTON, L. H. C.; POTT, A.; GUERREIRO, S. M. C.; COLOMBO, C. A. Biometric Characterization of Fruits and Morphoanatomy of the Mesocarp of *Acrocomia* Species (Arecaceae). **International Journal of Biology**, v. 9, n. 3. 2017.

## **Artigo 1**

**Caracterização fenotípica e diversidade genética de acessos de macaúba (*Acrocomia aculeata*) baseadas em atributos do óleo e na biometria de frutos**

Caracterização fenotípica e diversidade genética de acessos de macaúba (*Acrocomia aculeata*)  
baseadas em atributos do óleo e na biometria de frutos

## RESUMO

A macaúba é uma palmeira nativa do Brasil com ampla distribuição pelo território, habitando ambientes com diferentes características edafoclimáticas. Seus frutos apresentam grande potencial econômico pois produzem dois tipos de óleo, além de tortas fibro-proteicas de alto valor nutricional. A variabilidade apresentada pela espécie é uma característica importante para a seleção de genótipos superiores e sua inserção no mercado. Assim, esse trabalho teve como objetivo avaliar a variabilidade fenotípica e a diversidade genética de genótipos de diferentes procedências brasileiras. Foram avaliados o teor de óleo, composição de ácidos graxos, teor de carotenoides e coloração do óleo de polpa e a biometria de frutos de 50 acessos de macaúba. Os acessos foram divididos em três populações (Pop 1, 2 e 3) de acordo com os estados de origem: Pop1 (Mato Grosso do Sul e São Paulo), Pop2 (Pará e Pernambuco) e Pop3 (Minas Gerais). Os principais ácidos graxos encontrados foram o oleico, palmítico, linoleico, palmitoleico, esteárico e linolênico, em ordem de maior para menor abundância. O teor médio de carotenoides foi 226.50 µg/g, mas observou-se grande variação desse caráter entre os genótipos (27.09 a 2682.87 µg/g). O teor de carotenoides apresentou alta correlação positiva com a cor vermelha no óleo. A Pop1 apresentou os genótipos com menores frutos e maior teor de carotenoides. As Pop's 2 e 3 apresentaram frutos maiores e menor teor de carotenoides. O maior teor de óleo foi observado na Pop3, seguido pela Pop2 e Pop1. As análises de diversidade demonstraram que os acessos tendem a se agrupar de acordo com sua origem geográfica e que existe maior proximidade genética entre as populações 2 e 3. Nossos resultados revelam que a macaúba possui alta variabilidade para os caracteres avaliados e potencial de melhoramento visando a seleção de genótipos que atendam a diferentes demandas do mercado de óleos.

## PALAVRAS-CHAVE

Perfil de ácidos graxos; carotenoides; teor de óleo; variabilidade.

## INTRODUÇÃO

A macaúba, *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Martius, é uma palmeira arbórea onipresente nas regiões tropicais e subtropicais do continente americano, e que tem em seus frutos oleaginosos o principal produto de interesse agrícola. O óleo de polpa apresenta alto teor de ácido oleico, com características semelhantes ao azeite de oliva, enquanto que o óleo de amêndoa é rico em ácido láurico, que pode ser utilizado no setor fármaco-cosmético (Hiane et al., 2005; Bora e Rocha 2004; Ciconini et al., 2013; Berton et al., 2014). O óleo da polpa de macaúba também apresenta elevados teores de carotenoides, principalmente  $\beta$ -caroteno, que são biomoléculas com ação antioxidante, importantes na manutenção da saúde humana (Coimbra e Jorge, 2011; Ramos et al., 2008). Após a extração dos óleos da macaúba, as tortas residuais, com altos teores de fibras e proteínas, juntamente com a casca e o endocarpo, podem ser utilizadas por outros setores, como o de energia de base térmica e indústrias de alimentação humana e animal (Pires et al., 2013). Esta possibilidade de aproveitamento de todas as frações do fruto confere à macaúba uma valorização da cadeia produtiva e caráter sustentável à sua exploração como cultura agrícola.

No Brasil, essa palmeira é encontrada em todas as cinco regiões do território, com maior densidade nas áreas sudeste e centro-oeste (Henderson et al., 1995). Grandes populações oligárquicas são geralmente encontradas nas ecorregiões de cerrado, transição cerrado - caatinga, floresta estacional semidecidual e floresta tropical. Caracterizada pela tolerância à alta irradiância e temperatura, ao fogo e à seca, a macaúba também coloniza áreas de pastagens ativas ou degradadas (Scariot et al., 1991; 1995; Lorenzi et al., 2010; Arkcoll, 1990; Motoike e Kuki, 2009; Pires et al., 2013). Por ser uma espécie com ampla distribuição geográfica e, assim, submetida a diferentes condições edafoclimáticas, a macaúba apresenta grande heterogeneidade fenotípica, incluindo aquela relacionada à produtividade de óleo e ao perfil de ácidos graxos (Motoike et al., 2013; Conceição et al., 2015). Portanto, é provável que as diferentes características ambientais onde a macaúba prospera funcionem como pressão seletiva para o surgimento de diversidade genética na espécie.

O estudo da diversidade genética entre indivíduos e populações com vista ao conhecimento da variabilidade genotípica é essencial em um programa de melhoramento, pois permite a estimação precisa da biodiversidade apresentada pela espécie, orientando assim a seleção de genitores e um melhor planejamento de cruzamentos que maximizem os ganhos genéticos e a eficiência no desenvolvimento de novos cultivares (Cruz et al., 2011; Farias Neto et al., 2013). Nos últimos 10 anos, o número de iniciativas de pesquisa com macaúba tem crescido exponencialmente, aumentando o conhecimento acerca da diversidade genética de

caracteres morfológicos, biométricos, produtivos, fisiológicos e moleculares (Manfio, 2012; Lanes et al., 2015; Domiciano et al., 2015; Mengitsu et al., 2016; Coser et al., 2016). Contudo, estudos de diversidade genética relacionados a atributos qualitativos do óleo de macaúba ainda são incipientes.

Nesse estudo foi caracterizada a variabilidade fenotípica de caracteres associados à qualidade do óleo de polpa e de caracteres produtivos de acessos de macaúba de diferentes origens geográficas. Foram avaliados a composição de ácidos graxos, teor de carotenoides, coloração e teor de óleo na polpa e biometria de frutos. Além disso, foi estudada a diversidade genética entre os acessos visando avaliar se a variabilidade entre eles remonta às suas diferentes procedências. Acreditamos que esse seja o trabalho mais abrangente e informativo acerca da variabilidade fenotípica de atributos qualitativos do óleo de polpa de macaúba.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Material vegetal e coleta de amostras

O estudo foi desenvolvido com 197 plantas de 50 acessos genéticos cultivados no Banco de Germoplasma de Macaúba (BAG-Macaúba) da Universidade Federal de Viçosa, situado em Araponga (20° 39'S, 42° 31'W, 1040 m altitude), Minas Gerais. Para mais informações sobre a coleta das plantas e seu estabelecimento no BAG, ver Lanes et al. (2016). A seleção dos materiais genéticos utilizados nesse trabalho se baseou em dois critérios: 1) plantas historicamente mais produtivas que estivessem produzindo frutos no ano da avaliação e 2) procedência do material, prioritariamente de regiões ecogeográficas distintas. Os acessos foram considerados progênies de meios-irmãos originadas de cinco estados brasileiros: Minas Gerais (MG), São Paulo (SP), Mato Grosso do Sul (MS), Pará (PA) e Pernambuco (PE) (Tabela 1).

Tabela 1. Identificação das plantas de cada acesso do BAG-Macaúba e seus respectivos estados e populações (Pop) de origem

| Acesso | Planta               | Estado | Pop | Acesso | Planta                           | Estado | Pop |
|--------|----------------------|--------|-----|--------|----------------------------------|--------|-----|
| BGP4   | 4, 5                 | MG     | 3   | BGP80  | 1, 2                             | MG     | 3   |
| BGP6   | 1, 2, 5              | MG     | 3   | BGP81  | 1, 2, 3, 4                       | MG     | 3   |
| BGP7   | 1, 2, 4, 5, 6        | MG     | 3   | BGP83  | 1, 2                             | MG     | 3   |
| BGP8   | 1, 2, 4, 5, 6, 7, 9  | MG     | 3   | BGP88  | 1, 2, 4                          | MG     | 3   |
| BGP9   | 1, 3, 5, 6, 7, 8     | MG     | 3   | BGP132 | 2, 4, 9                          | MG     | 3   |
| BGP12  | 1, 2, 5, 7, 8, 9, 10 | MG     | 3   | BGP134 | 2, 3, 9, 18                      | MG     | 3   |
| BGP14  | 1                    | MG     | 3   | BGP136 | 1, 2, 5, 7, 8,<br>11, 15, 16, 18 | MG     | 3   |
| BGP15  | 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8  | MG     | 3   | BGP137 | 2, 3, 6, 7                       | MG     | 3   |



|       |                        |    |   |        |                     |    |   |
|-------|------------------------|----|---|--------|---------------------|----|---|
| BGP20 | 3, 4, 7                | MG | 3 | BGP35  | 1, 2                | SP | 1 |
| BGP26 | 1, 5, 6, 7, 8, 9, 10   | MG | 3 | BGP47  | 1, 3, 4             | SP | 1 |
| BGP33 | 1, 4, 5, 6, 7          | MG | 3 | BGP92  | 1, 2, 3, 4, 5       | MS | 1 |
| BGP36 | 1, 3, 5, 6, 8          | MG | 3 | BGP94  | 1                   | MS | 1 |
| BGP37 | 2, 7, 9                | MG | 3 | BGP100 | 1, 2                | MS | 1 |
| BGP38 | 3, 4, 5                | MG | 3 | BGP101 | 1, 2, 3             | MS | 1 |
| BGP43 | 3, 4, 6                | MG | 3 | BGP102 | 1, 2, 4             | MS | 1 |
| BGP48 | 1, 2, 3, 4             | MG | 3 | BGP104 | 1, 2, 3, 4          | MS | 1 |
| BGP50 | 3, 5, 6, 8, 10         | MG | 3 | BGP105 | 2, 3, 4             | MS | 1 |
| BGP52 | 1, 2, 3, 4             | MG | 3 | BGP106 | 1, 2, 3             | MS | 1 |
| BGP53 | 2, 3, 4, 6             | MG | 3 | BGP114 | 1, 2                | MS | 1 |
| BGP64 | 1, 7, 8, 9             | MG | 3 | BGP119 | 1, 2, 3, 4          | MS | 1 |
| BGP65 | 1, 2, 4, 5, 6, 8, 9    | MG | 3 | BGP120 | 2, 3                | MS | 1 |
| BGP67 | 9                      | MG | 3 | BGP82  | 1, 4, 5, 6, 7, 8, 9 | PE | 2 |
| BGP69 | 1, 2, 3, 5, 6, 7       | MG | 3 | BGP99  | 1, 3                | PA | 2 |
| BGP70 | 1, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 | MG | 3 | BGP133 | 1, 2, 3             | PA | 2 |
| BGP74 | 1, 6, 8, 9, 10         | MG | 3 |        |                     |    |   |
| BGP75 | 1, 2                   | MG | 3 |        |                     |    |   |

Os acessos foram subdivididos em três populações baseado nas coordenadas geográficas (latitude e longitude) de suas matrizes. As populações foram obtidas aplicando o algoritmo K-means (Hartigan e Wong, 1979) no software R (R Core Team, 2015). A população 1 (Pop1) foi composta por 13 acessos dos estados de Mato Grosso do Sul e São Paulo. A população 2 (Pop2) foi composta por 3 acessos dos estados do Pará e Pernambuco, e a população 3 (Pop3) foi composta por 34 acessos do estado de Minas Gerais (Tabela 1 e Figura 1).

Os frutos dos cachos maduros foram colhidos e encaminhados ao Laboratório de Pós-Colheita do Departamento de Agronomia da UFV, onde foram limpos e sub-amostrados para análises quantitativas e qualitativas.

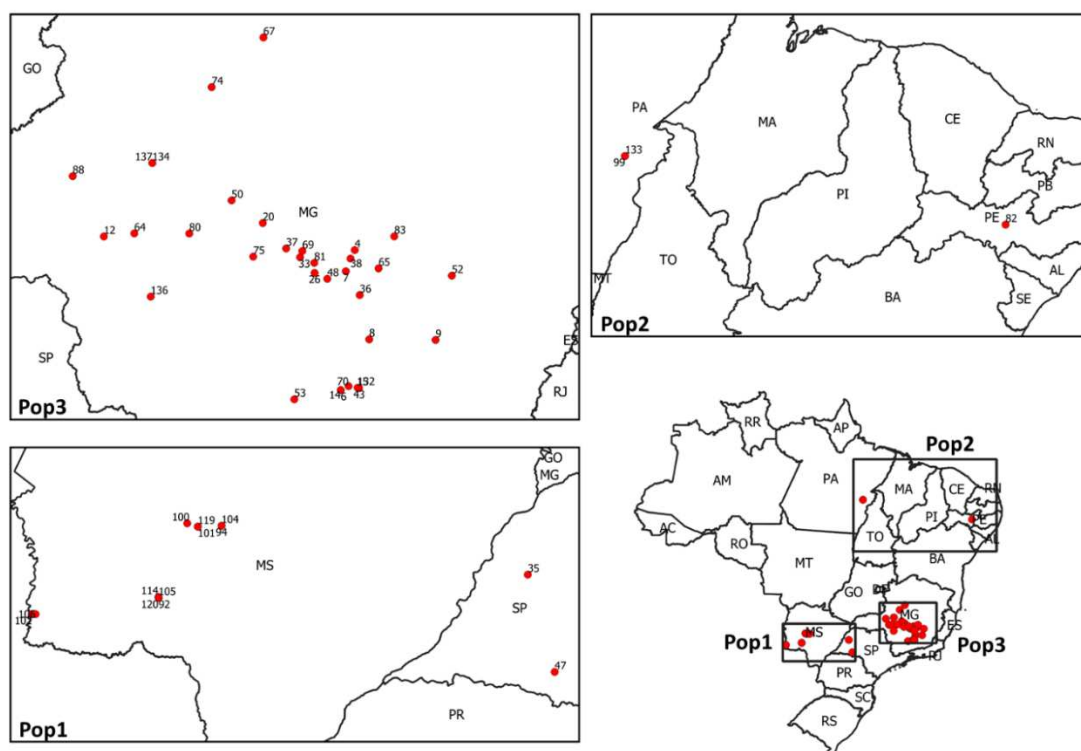


Figura 1. Identificação geográfica das 50 matrizes que originaram as progênes utilizadas no estudo e as respectivas populações a que pertencem.

### Avaliações

As variáveis avaliadas foram divididas em dois grupos: 1) atributos do óleo da polpa: perfil de ácidos graxos, teor de carotenoides e coloração; 2) atributos de produtividade: teor de óleo da polpa e biometria dos frutos.

Os frutos para as análises do óleo e teor de óleo na polpa foram armazenados por 10 dias a  $\sim 23^{\circ}\text{C}$  em ambiente com circulação de ar para permitir o acúmulo de óleo pós-colheita na polpa (Goulart, 2014), e, posteriormente, congelados a  $-20^{\circ}\text{C}$ . Já os frutos para análise biométrica foram congelados imediatamente a  $-20^{\circ}\text{C}$  até serem analisados.

### Atributos do óleo da polpa

Para obtenção do óleo os frutos foram despulpados e a polpa mantida em estufa de secagem a  $65^{\circ}\text{C}$  por 16h. Em seguida, o óleo das amostras foi extraído pelo processo de prensagem a frio e armazenado a  $-20^{\circ}\text{C}$  até a análise.

### *Perfil de ácidos graxos*

O perfil de ácidos graxos do óleo da polpa foi analisado por cromatografia gasosa, de acordo com a metodologia descrita por Lieb et al. (2017), utilizando um cromatógrafo SHIMADZU, modelo 2010, equipado com injetor automático, detector de ionização de chama e coluna capilar SP-2560, com filme de 0,14 µm de espessura, 75 m de comprimento e 0,18 mm de diâmetro interno. Os ácidos graxos foram identificados pela comparação de seus tempos de retenção com os padrões analíticos (SUPELCO, composto por uma mistura de 37 ésteres metílicos de ácidos graxos). A quantificação foi feita comparando a área do pico de cada ácido graxo com a área total de todos os ácidos graxos analisados e apresentada em porcentagem.

### *Carotenoides totais*

A quantificação de carotenoides totais no óleo da polpa foi feita segundo método proposto por Rodriguez-Amaya (2001). Foram pesados 0,15 g de óleo em balão volumétrico de 10 mL e em seguida o óleo foi solubilizados em éter de petróleo. A solução foi transferida para uma cubeta de vidro e lida em espectrofotômetro UVmini-1240 (Shimadzu, Japão) no comprimento de onda de 450 nm. Foi considerado o coeficiente de absorvidade de 2592 e os resultados foram expressos como equivalentes ao β-caroteno. A concentração total (Ct) de carotenoides (µg de carotenoides por g de óleo) foi calculada conforme a equação 1:

$$Ct \left( \frac{\mu g}{g} \right) = \frac{Abs \times Vol \times 10^4}{A_{1cm}^{1\%} \times m} \quad (\text{Equação 1})$$

onde Abs é a absorbância a 450nm, Vol é o volume final da amostra (10 mL),  $A_{1cm}^{1\%}$  é o coeficiente de absorção do β-caroteno em éter de petróleo (2592) e m é o peso da amostra (g).

### *Análise colorimétrica do óleo*

A coloração do óleo da polpa foi determinada em Colorímetro Colorquest XE (Hunter Lab, Reston, VA) com leitura direta dos valores das coordenadas L\*, a\* e b\*, do modelo de cor CIE L\*a\*b\*(Figura 2a). Nesse modelo a coordenada colorimétrica L\* (luminosidade) varia de 0 (preta) a 100 (branca). Quanto mais próximo de zero são os valores, mais escura é a amostra, e quanto mais próximo de 100, mais clara. O parâmetro a\* representa a presença das cores verde e vermelha quando seus valores são negativos e positivos, respectivamente, enquanto o parâmetro b\* representa a presença das cores azul e amarelo quando seus valores são negativos e positivos, respectivamente. Os parâmetros tonalidade (hue) e saturação (chroma), do modelo

de cor CIE  $L^*C^*h^*$  (Figura 2b), foram calculados a partir dos valores de  $a^*$  e  $b^*$ , conforme as equações 2 e 3, respectivamente:

$$hue = \arctan\left(\frac{b^*}{a^*}\right) \quad (\text{Equação 2})$$

$$chroma = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad (\text{Equação 3})$$

No modelo CIE  $L^*C^*h^*$ ,  $L^*$  representa luminosidade, assim como no modelo CIE  $L^*a^*b^*$ . O parâmetro  $C^*$  representa Chroma, e é a distância de um ponto em relação ao centro do círculo, que é o ponto 0. Sua medida indica a saturação da cor, ou seja, a intensidade da cor em relação ao branco. O parâmetro  $h^*$  representa o ângulo hue de tonalidade e é medido em graus. Sua medição começa no eixo  $+a^*$ , dessa forma o ângulo  $0^\circ$  corresponde a  $+a^*$  ou vermelho puro, o  $90^\circ$  ao  $+b^*$  ou amarelo puro, o  $180^\circ$  ao  $-a^*$  ou verde puro e o  $270^\circ$  ao  $-b^*$  ou azul puro. Para efetuar a leitura foi empregada uma cubeta com capacidade de 10 mL.

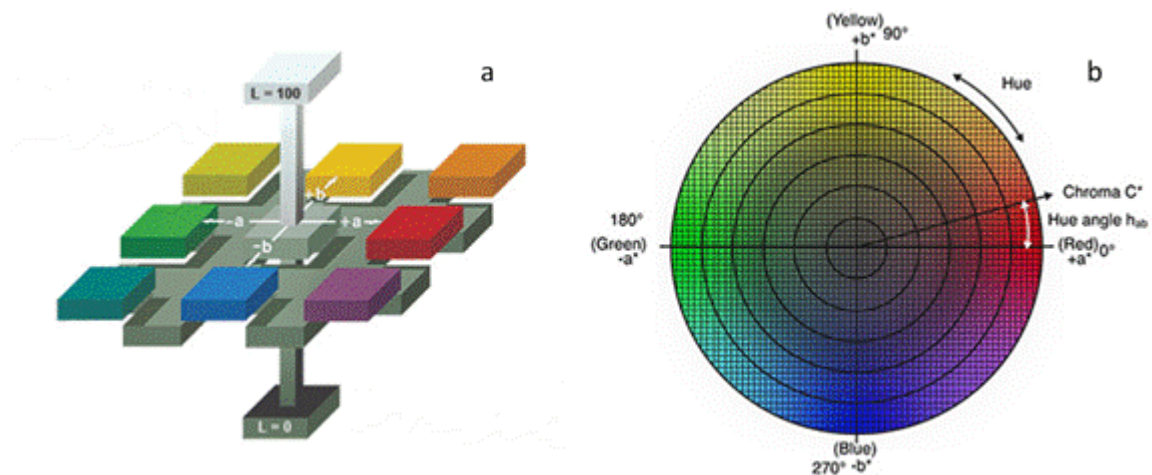


Figura 2. Modelos de cor CIE  $L^*a^*b^*$  (a) e CIE  $L^*C^*h^*$  (b). Fontes: a - Modificado de HunterLab; b – Konica Minolta.

### Atributos de produtividade

#### Teor de óleo

O teor de óleo da polpa (g de óleo por g de matéria seca em porcentagem) foi quantificado na polpa de três frutos por planta através de espectrometria de infravermelho próximo (NIR) baseado no modelo de mínimos quadrados parciais (PLS). Os espectros foram coletados usando um analisador Antaris II FT-NIR (Thermo Fisher Scientific, EUA). O modelo

NIR-PLS tem a vantagem de ser um método de baixo custo, mais rápido e confiável do que os métodos tradicionais (Pasquini, 2018).

### *Biometria de frutos*

A caracterização biométrica foi realizada em três frutos por planta, a fim de garantir um coeficiente de determinação acima de 90% (Manfio et al., 2011). As variáveis avaliadas foram: diâmetro transversal e longitudinal do fruto (DT e DL, respectivamente) em centímetros; matéria seca (MS) do fruto e seus componentes - casca, polpa, endocarpo e amêndoa - em gramas. Os diâmetros foram medidos com paquímetro digital e o peso da matéria seca aferido em balança de precisão, após o material ser mantido em estufa de secagem até atingir valor constante.

### **Análises estatísticas**

O delineamento experimental empregado foi o inteiramente ao acaso. Cada acesso foi considerado um tratamento e o número de plantas variou de 1 a 8 por acesso, de acordo com a disponibilidade de plantas produtivas para os acessos selecionados do BAG-Macaúba.

A média das populações para cada variável foi comparada pelo teste t a 5% de probabilidade. Foram realizadas análises de diversidade genética utilizando procedimentos estatísticos multivariados. Para a análise de agrupamento foi utilizada a distância de Mahalanobis como medida de dissimilaridade e para a delimitação de grupos utilizou-se o método de otimização de Tocher e o método hierárquico UPGMA (Unweighted Pair-Group Average). A contribuição relativa dos caracteres para a diversidade foi realizada pelo critério de Singh (1981) baseado na distância de Mahalanobis. Foi realizada também análise de correlação de Pearson entre todas as variáveis avaliadas. As análises estatísticas foram realizadas utilizando-se o software Genes (Cruz, 2013).

## **RESULTADOS**

### **Atributos do óleo**

Os principais ácidos graxos encontrados no óleo da polpa de macaúba foram, em ordem decrescente, os ácidos oleico (C18:1), palmítico (C16:0), linoleico (C18:2), palmitoleico (C16:1), esteárico (C18:0), e linolênico (C18:3). O teor médio de ácidos graxos observado para cada acesso é apresentado na Tabela suplementar 1. Observou-se grande amplitude de variação nos teores de ácidos graxos baseado nos menores e maiores valores observados (Tabela 2), indicando grande variabilidade fenotípica entre os genótipos avaliados. O ácido oleico seguido

do palmítico foram os mais abundantes, baseado na média geral (Tabela 2). Os ácidos graxos monoinsaturados (AGMI – C16:1 e C18:1) formaram a maior parte do perfil, equivalente a 65.28% baseado na média geral, seguido pelos ácidos graxos saturados (AGS – C16:0 e C18:0) e pelos ácidos graxos poli-insaturados (AGPI – C18:2 e C18:3) correspondendo a 20.24% e 14.27% do total, respectivamente. As principais diferenças nos ácidos graxos ocorreram entre a Pop1 e a Pop3. A Pop 1 apresentou maior teor de AGMI e menor teor de AGS e AGPI e a Pop3 apresentou maior teor de AGS e AGPI e menor teor de AGMI.

Tabela 2. Teor dos principais ácidos graxos, de ácidos graxos saturados (AGS), monoinsaturados (AGMI), poli-insaturados (AGPI), parâmetros de cor e teor de carotenoides do óleo da polpa de macaúba. Média geral, menor e maior valores observados e média das populações 1, 2 e 3 (Pop1, Pop2 e Pop3, respectivamente) calculados a partir de 197 plantas.

|                            | Média Geral | Menor | Maior   | Pop1     | Pop2     | Pop3     |
|----------------------------|-------------|-------|---------|----------|----------|----------|
| <b>Ácidos graxos (%)</b>   |             |       |         |          |          |          |
| Palmítico (C16:0)          | 18.64       | 0.41  | 37.18   | 13.30 b  | 17.84 ab | 20.04 a  |
| Palmitoleico (C16:1)       | 4.26        | 0.44  | 17.73   | 3.52 a   | 3.17 a   | 4.54 a   |
| Esteárico (C18:0)          | 1.61        | 0.50  | 8.03    | 2.06 a   | 1.82 a   | 1.48 a   |
| Oleico (C18:1)             | 61.02       | 34.71 | 86.23   | 68.58 a  | 63.02 ab | 58.96 b  |
| Linoleico (C18:2)          | 13.20       | 1.01  | 26.45   | 10.12 b  | 12.91 ab | 13.99 a  |
| Linolênico (C18:3)         | 1.08        | 0.54  | 4.81    | 1.44 a   | 1.00 b   | 0.99 b   |
| AGS                        | 20.24       | 2.58  | 38.04   | 15.36 b  | 19.66 ab | 21.51 a  |
| AGMI                       | 65.28       | 43.16 | 91.53   | 72.10 a  | 66.19 ab | 63.50 b  |
| AGPI                       | 14.27       | 2.38  | 31.23   | 11.56 b  | 13.91 ab | 14.98 a  |
| <b>Parâmetros de cor</b>   |             |       |         |          |          |          |
| L*                         | 46.24       | 29.33 | 68.75   | 44.67 a  | 37.22 b  | 47.21 a  |
| a*                         | 16.35       | 1.29  | 39.22   | 30.16 a  | 7.35 c   | 14.40 b  |
| b*                         | 35.00       | 6.92  | 69.88   | 32.37 a  | 20.03 b  | 36.61 a  |
| Chroma                     | 39.84       | 8.38  | 70.06   | 45.07 a  | 21.91 b  | 40.18 a  |
| Hue                        | 62.74       | 25.90 | 88.92   | 45.61 b  | 66.80 a  | 65.67 a  |
| <b>Carotenoides (µg/g)</b> | 226.50      | 27.09 | 2682.87 | 622.36 a | 149.78 b | 133.76 b |

\*Médias seguidas pela mesma letra na horizontal não diferem estatisticamente entre si pelo teste t a 5% de probabilidade

A coloração do óleo da polpa da macaúba foi bem diversa entre os diferentes genótipos, variando de vermelho a verde e diversos tons de amarelo e laranja, com base no aspecto visual (Figura 3). O valor médio dos parâmetros de cor para cada acesso é apresentado na Tabela suplementar 1. As diferentes colorações observadas refletem na grande amplitude apresentada para os valores dos parâmetros de cor (Tabela 2). Apesar dessa variação, destaca-se que todos os valores dos parâmetros a\* e b\* foram positivos, indicando que as cores dos óleos se

encontram em vários pontos entre o vermelho e o amarelo, conforme o modelo CIE  $L^*a^*b^*$  (Figura 2a). O mesmo pode ser concluído pelo parâmetro Hue, que variou de 25.90 a 88.92, indicando que as cores de todos os óleos estão no primeiro quadrante de cores do modelo CIE  $L^*C^*h^*$  (Figura 2b), entre o vermelho puro e o amarelo puro.

A média dos parâmetros de cor por população demonstram aspectos que foram observados visualmente nos diferentes óleos. A Pop1 apresentou o maior valor para o parâmetro  $a^*$  e menor valor para o parâmetro hue, indicando que o óleo das plantas dessa população é mais vermelho que o das outras. Já a Pop2 apresentou o menor valor para os parâmetros  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$ . O conjunto desses parâmetros acabou ocasionando óleos com aspecto visual esverdeado. As plantas da Pop3 apresentaram, de maneira geral, maior intensidade de amarelo ( $b^*$ ) que de vermelho ( $a^*$ ), gerando óleos com vários tons entre o amarelo e laranja.

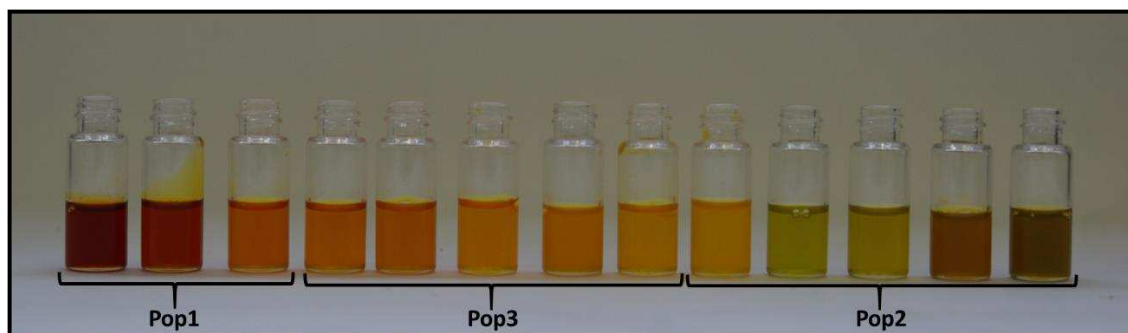


Figura 3. Diversidade ilustrativa de cores de óleo de polpa de macaúba de genótipos de diferentes procedências do Brasil e suas populações de origem.

O teor de carotenoides observado nas plantas estudadas foi bem diversificado, variando de 27.09 a 2682.87  $\mu\text{g}$  de carotenoides por g de óleo (Tabela 2). A grande amplitude de variação se deve ao alto teor do pigmento nas plantas da Pop1, que apresentou média maior que as demais. Dentre as plantas da Pop1 destacam-se os acessos de Mato Grosso do Sul, com média muito superior aos de São Paulo, da mesma população (Tabela suplementar 1).

### Teor de óleo

O teor de óleo na polpa da macaúba foi bem variável entre os acessos (Tabela suplementar 2). A planta com maior teor de óleo apresentou valor cerca de seis vezes superior à planta com menor teor, demonstrando a grande amplitude de variação desse caráter (Tabela 3). Observou-se também variação entre a média das populações. A Pop3 apresentou a maior média e as Pops1 e 2 não diferiram estatisticamente entre si.

Tabela 3. Teor de óleo de polpa e biometria de frutos de macaúba com medição de diâmetro transversal (DT) e longitudinal (DL) do fruto e massa seca (MS) de fruto, casca, polpa, endocarpo e amêndoa. Média geral, menor e maior valores observados e média das populações 1, 2 e 3 (Pop1, Pop2 e Pop3, respectivamente) calculados a partir de 197 plantas.

|                            | <b>Média Geral</b> | <b>Menor</b> | <b>Maior</b> | <b>Pop1</b> | <b>Pop2</b> | <b>Pop3</b> |
|----------------------------|--------------------|--------------|--------------|-------------|-------------|-------------|
| <b>Teor de óleo (%)</b>    | 44.15              | 10.63        | 71.31        | 27.62 b     | 35.83 b     | 48.96 a     |
| <b>Biometria de frutos</b> |                    |              |              |             |             |             |
| DT                         | 4.28               | 2.87         | 5.62         | 3.58 b      | 4.43 a      | 4.44 a      |
| DL                         | 4.32               | 2.30         | 5.93         | 3.74 b      | 4.43 a      | 4.46 a      |
| MS fruto                   | 24.2               | 7.80         | 49.70        | 14.26 b     | 25.45 a     | 26.58 a     |
| MS casca                   | 5.22               | 0.90         | 13.60        | 2.70 b      | 5.46 a      | 5.83 a      |
| MS polpa                   | 9.17               | 1.70         | 25.60        | 5.08 b      | 10.01 a     | 10.12 a     |
| MS endocarpo               | 8.2                | 3.00         | 17.10        | 5.35 b      | 8.08 a      | 8.92 a      |
| MS amêndoa                 | 1.64               | 0.50         | 4.90         | 1.13 b      | 1.9 a       | 1.75 a      |

\*Médias seguidas pela mesma letra na horizontal não diferem estatisticamente entre si pelo teste t a 5% de probabilidade

### **Biometria de frutos**

Os frutos de genótipos diferentes apresentaram grande variabilidade de tamanho, peso, cor da casca, cor da polpa, espessura do endocarpo e espessura de polpa, com base no aspecto visual (Figura 4). Essa variabilidade também foi observada com base na média dos acessos (Tabela suplementar 2) e nos menores e maiores valores apresentados pelos caracteres de biometria de frutos avaliados (Tabela 3). A Pop1 apresentou valor inferior que as Pops 2 e 3 para todos os parâmetros de biometria de frutos, enquanto essas duas populações não diferiram estatisticamente entre si.





Figura 4. Diversidade ilustrativa da biometria de frutos de macaúba de genótipos de diferentes procedências do Brasil. O número ao lado de cada fruto indica sua população de origem.

### Correlação fenotípica

As correlações fenotípicas são apresentadas na tabela 4. Elas foram identificadas como baixas (0 a 0.39), médias (0.4 a 0.69) e altas (0.7 a 1). Entre os ácidos graxos destacam-se as altas correlações positivas entre ácido palmítico e AGS (0.98), ácido oleico e AGMI (0.95) e ácido linoleico e AGPI (1.00). Essas correlações elevadas surgem, pois, os ácidos palmítico, oleico e linoleico são os que ocorrem em maior proporção entre AGS, AGMI e AGPI, respectivamente. Destacam-se também as altas correlações negativas entre AGS e AGMI (-0.88) e entre AGMI e AGPI (-0.79), indicando que o aumento simultâneo dessas variáveis correlacionadas é uma tarefa difícil, visto que ao aumentar uma, a outra tende a diminuir.

Entre os parâmetros de cor, observa-se alta correlação entre  $L^*$  e  $b^*$  (0.99),  $L^*$  e Chroma (0.87) e  $b^*$  e Chroma, indicando que quanto maior a luminosidade, mais amarela e saturada é a cor da amostra. A alta correlação negativa entre  $a^*$  e hue (-0.85) está relacionada com as propriedades de cada modelo, uma vez que a intensidade de vermelho está associada a maiores

valores de  $a^*$  no moledo CIE  $L^*a^*b^*$  e menores valores de hue no modelo CIE  $L^*C^*h^*$ . De acordo com a correlação entre o teor de carotenoides e os parâmetros  $a^*$  (0.84) e hue (-0.86), pode-se constatar que os óleos mais vermelhos apresentam maior teor de carotenoides. Destaca-se ainda as correlações médias e altas entre biometria de frutos e os parâmetros de cor  $a^*$  e hue, sendo essas correlações negativas em relação a  $a^*$  e positivas em relação a hue. Esses valores sugerem que as plantas que possuem óleo de polpa mais vermelho também têm frutos menores (geralmente pertencentes à Pop1). Assim sendo, as plantas com maior teor de carotenoides no óleo - que são aqueles de coloração avermelhada - possuem frutos menores, de acordo com as correlações negativas entre teor de carotenoides e variáveis biométricas de frutos. O teor de carotenoides e a maior intensidade de vermelho no óleo também estão correlacionados com o teor de óleo das plantas. A alta correlação negativa entre teor de óleo e teor de carotenoides (-0.74) e a correlação média entre teor de óleo e  $a^*$  (-0.61) indicam que quanto maior o teor de carotenoides (e maior intensidade de vermelho), menor o teor de óleo. Por outro lado, quanto maior a intensidade de amarelo, maior o teor de óleo, como indica a correlação média positiva entre teor de óleo e hue (0.64).

As correlações entre as variáveis de biometria de frutos foram todas positivas e, de forma geral, de alta intensidade entre si (tabela 4). Com relação ao teor de óleo, todas as variáveis de biometria de frutos tiveram correlação média e positiva, indicando que frutos maiores tendem a ter maior teor de óleo. Em resumo, a análise de correlação demonstrou que, de forma geral, as plantas com frutos maiores (maior DT e DL) também apresentam maior massa seca para todas as partes do fruto, maior teor de óleo, menor teor de carotenoides e menor intensidade de vermelho no óleo. Por outro lado, as plantas com frutos menores apresentam menor massa seca para o fruto e suas partes, menor teor de óleo, maior teor de carotenoides e, conseqüentemente, maior intensidade de vermelho no óleo.

Tabela 4. Correlação de Pearson entre variáveis de perfil de ácidos graxos, coloração de óleo, teor de carotenoides (carot), biometria de frutos e teor de óleo observado em 50 acessos de macaúba

|                 | C16:1 | C18:0 | C18:1   | C18:2   | C18:3 | AGS     | AGMI    | AGPI    | L*    | a*      | b*     | Chroma  | Hue     | Carot   | DT      | DL      | MS<br>fruto | MS<br>casca | MS<br>polpa | MS<br>endoc | MS<br>amên | TO      |
|-----------------|-------|-------|---------|---------|-------|---------|---------|---------|-------|---------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|---------|
| <b>C16:0</b>    | 0.16  | -0.27 | -0.90** | 0.47**  | -0.13 | 0.98**  | -0.89** | 0.45**  | -0.25 | -0.41** | -0.25  | -0.45** | 0.26    | -0.24   | 0.34*   | 0.27    | 0.32*       | 0.29*       | 0.24        | 0.39**      | 0.31*      | 0.23    |
| <b>C16:1</b>    |       | -0.05 | -0.32*  | -0.15   | -0.07 | 0.16    | -0.02   | -0.15   | -0.05 | 0.06    | -0.06  | -0.05   | -0.04   | -0.03   | 0.09    | 0.05    | 0.12        | 0.07        | 0.13        | 0.11        | 0.04       | -0.11   |
| <b>C18:0</b>    |       |       | 0.23    | -0.34*  | -0.10 | -0.07   | 0.23    | -0.34*  | -0.01 | 0.19    | -0.01  | 0.06    | -0.07   | 0.13    | -0.11   | -0.12   | -0.10       | -0.10       | -0.14       | -0.03       | 0.09       | -0.07   |
| <b>C18:1</b>    |       |       |         | -0.71** | -0.05 | -0.88** | 0.95**  | -0.70** | 0.18  | 0.30*   | 0.18   | 0.33*   | -0.20   | 0.18    | -0.37** | -0.29*  | -0.32*      | -0.31*      | -0.21       | -0.44**     | -0.33*     | -0.23   |
| <b>C18:2</b>    |       |       |         |         | 0.27  | 0.41**  | -0.80** | 1.00**  | 0.03  | -0.21   | 0.05   | -0.06   | 0.18    | -0.14   | 0.33*   | 0.27    | 0.24        | 0.28*       | 0.11        | 0.36*       | 0.25       | 0.32*   |
| <b>C18:3</b>    |       |       |         |         |       | -0.15   | -0.08   | 0.32*   | -0.18 | 0.55**  | -0.19  | 0.09    | -0.53** | 0.60**  | -0.41** | -0.36** | -0.43**     | -0.41**     | -0.43**     | -0.36**     | -0.42**    | -0.66** |
| <b>AGS</b>      |       |       |         |         |       |         | -0.88** | 0.40**  | -0.26 | -0.39** | -0.26  | -0.46** | 0.25    | -0.22   | 0.33*   | 0.25    | 0.31*       | 0.29*       | 0.22        | 0.40**      | 0.34*      | 0.23    |
| <b>AGMI</b>     |       |       |         |         |       |         |         | -0.79** | 0.18  | 0.34*   | 0.17   | 0.34*   | -0.23   | 0.18    | -0.36** | -0.29*  | -0.30*      | -0.31*      | -0.18       | -0.42**     | -0.33*     | -0.28*  |
| <b>AGPI</b>     |       |       |         |         |       |         |         |         | 0.02  | -0.17   | 0.03   | -0.05   | 0.14    | -0.11   | 0.30*   | 0.25    | 0.21        | 0.25        | 0.08        | 0.33*       | 0.23       | 0.28*   |
| <b>L*</b>       |       |       |         |         |       |         |         |         |       | -0.03   | 0.99** | 0.87**  | 0.47**  | -0.26   | 0.23    | 0.20    | 0.24        | 0.23        | 0.25        | 0.21        | 0.14       | 0.36*   |
| <b>a*</b>       |       |       |         |         |       |         |         |         |       |         | -0.02  | 0.44**  | -0.85** | 0.84**  | -0.70** | -0.59** | -0.71**     | -0.73**     | -0.66**     | -0.65**     | -0.58**    | -0.61** |
| <b>b*</b>       |       |       |         |         |       |         |         |         |       |         |        | 0.88**  | 0.47**  | -0.28*  | 0.23    | 0.20    | 0.25        | 0.24        | 0.25        | 0.22        | 0.16       | 0.38**  |
| <b>Chroma</b>   |       |       |         |         |       |         |         |         |       |         |        |         | 0.03    | 0.16    | -0.12   | -0.08   | -0.11       | -0.13       | -0.08       | -0.11       | -0.14      | 0.05    |
| <b>Hue</b>      |       |       |         |         |       |         |         |         |       |         |        |         |         | -0.86** | 0.71**  | 0.59**  | 0.74**      | 0.73**      | 0.69**      | 0.66**      | 0.61**     | 0.64**  |
| <b>Carot</b>    |       |       |         |         |       |         |         |         |       |         |        |         |         |         | -0.69** | -0.53** | -0.68**     | -0.71**     | -0.62**     | -0.63**     | -0.57**    | -0.74** |
| <b>DT</b>       |       |       |         |         |       |         |         |         |       |         |        |         |         |         |         | 0.93**  | 0.97**      | 0.92**      | 0.90**      | 0.93**      | 0.78**     | 0.67**  |
| <b>DL</b>       |       |       |         |         |       |         |         |         |       |         |        |         |         |         |         |         | 0.92**      | 0.86**      | 0.90**      | 0.83**      | 0.62**     | 0.62**  |
| <b>MS fruto</b> |       |       |         |         |       |         |         |         |       |         |        |         |         |         |         |         |             | 0.94**      | 0.96**      | 0.93**      | 0.75**     | 0.64**  |
| <b>MS casca</b> |       |       |         |         |       |         |         |         |       |         |        |         |         |         |         |         |             |             | 0.87**      | 0.85**      | 0.64**     | 0.67**  |
| <b>MS polpa</b> |       |       |         |         |       |         |         |         |       |         |        |         |         |         |         |         |             |             |             | 0.80**      | 0.63**     | 0.56**  |
| <b>MS endoc</b> |       |       |         |         |       |         |         |         |       |         |        |         |         |         |         |         |             |             |             |             | 0.83**     | 0.63**  |
| <b>MS amên</b>  |       |       |         |         |       |         |         |         |       |         |        |         |         |         |         |         |             |             |             |             |            | 0.54**  |

\*\*, \*: Significativo a 1% e 5% de probabilidade pelo teste t

## Diversidade genética

Para as análises multivariadas baseadas nas características do óleo foram utilizadas as variáveis: teor dos ácidos palmítico, palmitoleico, esteárico, oleico, linoleico, linolênico e teor de carotenoides. O dendograma gerado pelo método UPGMA baseado na distância de Mahalanobis apresentou a formação de 3 grupos com os 50 acessos avaliados (Figura 5). O primeiro grupo foi formado por 32 acessos, sendo 29 da Pop3, 2 da Pop2 e 1 da Pop1. O segundo grupo foi formado por 14 acessos, sendo 8 da Pop1, 1 da Pop2 e 5 da Pop3. O terceiro grupo foi formado por 4 acessos, todos pertencentes à Pop1.

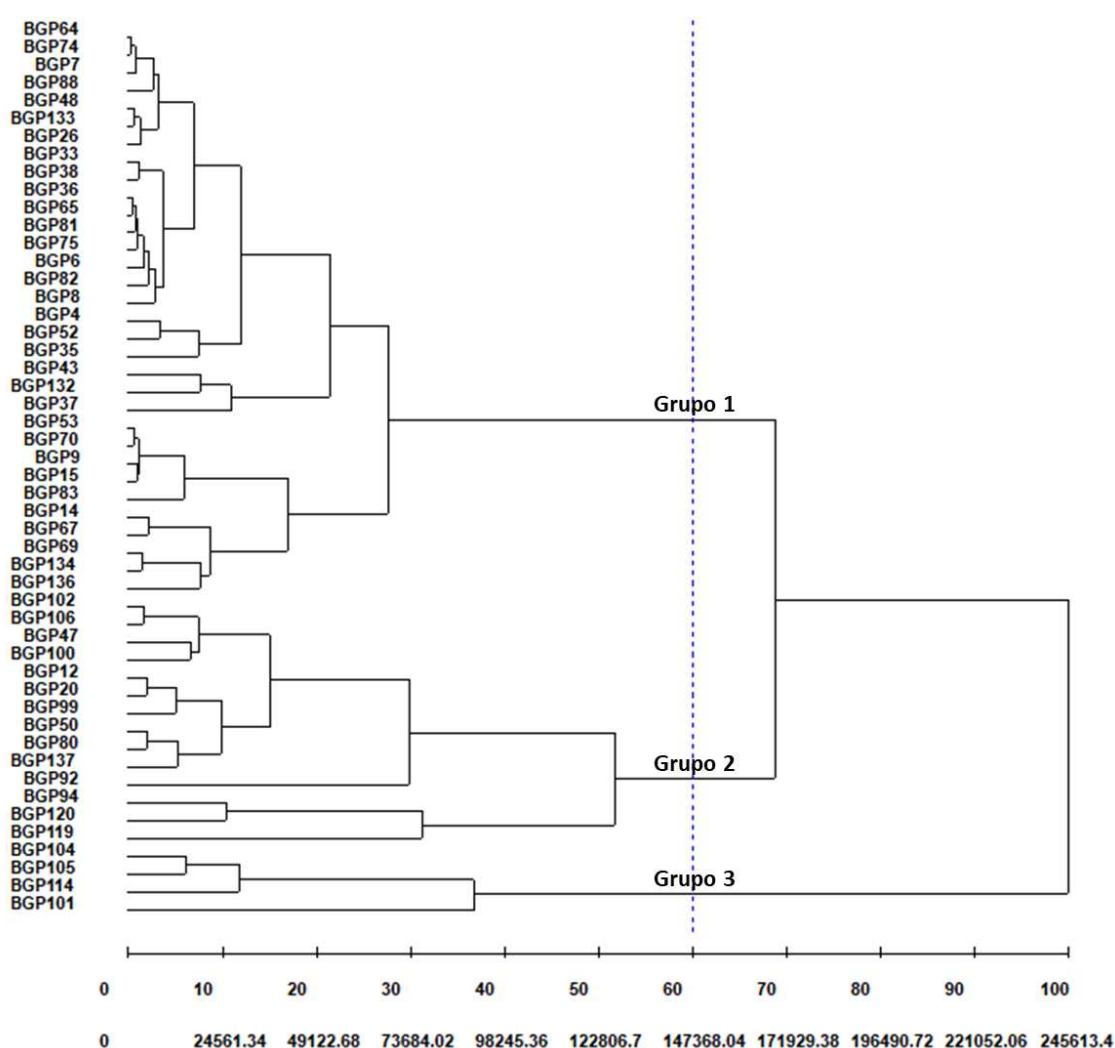


Figura 5. Dendrograma de 50 acessos de macaúba, gerado pelo método UPGMA baseado na distância de Mahalanobis, utilizando as variáveis teor de ácido palmítico, palmitoleico, esteárico, oleico, linoleico, linolênico e teor de carotenoides. A distância entre os acessos foi calculada com base na média de cada acesso para cada variável utilizada.

No agrupamento pelo método de otimização de Tocher os acessos foram separados em oito grupos (Tabela 5). O grupo 1 foi formado por 31 acessos, sendo 27 da Pop3, 3 acessos da Pop2 e 1 acesso da Pop1. O grupo 2 foi formado por 5 acessos da Pop1 e 2 acessos da Pop3. O grupo 3 foi formado por 4 acessos da Pop3 e 2 da Pop1. Os grupos 4, 5, 7 e 8 foram formados por acessos exclusivamente da Pop1 e o grupo 6 por 1 acesso da Pop3.

De maneira geral, nas duas metodologias utilizadas, os acessos tenderam a se agrupar de acordo com a sua origem geográfica, entretanto, devido à alta variabilidade apresentada pelos dados, alguns acessos apresentaram maior similaridade com progênies de origem geográfica distinta.

Tabela 5. Agrupamento de 50 acessos de macaúba pelo método de otimização de Tocher baseado na distância de Mahalanobis utilizando as variáveis teor de ácido palmítico, palmitoleico, esteárico, oleico, linoleico, linolênico e teor de carotenoides

| Grupo | Acessos                                                                                                                                                                                       |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1     | BGP64 BGP74 BGP7 BGP26 BGP133 BGP48 BGP75 BGP8 BGP65 BGP36<br>BGP81 BGP82 BGP6 BGP38 BGP33 BGP88 BGP4 BGP52 BGP37 BGP69 BGP15<br>BGP43 BGP134 BGP9 BGP53 BGP70 BGP35 BGP12 BGP99 BGP137 BGP20 |
| 2     | BGP102 BGP106 BGP100 BGP47 BGP80 BGP50 BGP120                                                                                                                                                 |
| 3     | BGP14 BGP67 BGP136 BGP114 BGP83 BGP104                                                                                                                                                        |
| 4     | BGP101 BGP105                                                                                                                                                                                 |
| 5     | BGP92                                                                                                                                                                                         |
| 6     | BGP132                                                                                                                                                                                        |
| 7     | BGP119                                                                                                                                                                                        |
| 8     | BGP94                                                                                                                                                                                         |

A contribuição relativa dos caracteres para a diversidade é apresentada na Tabela 6. A variável mais importante para a diferenciação dos acessos foi o ácido oleico, que contribuiu com 76.40% para a dissimilaridade total. A segunda variável mais importante foi o ácido palmitoleico, com contribuição relativa de 17.90% para a dissimilaridade total.

Tabela 6. Contribuição relativa dos caracteres teor de ácido palmítico, palmitoleico, esteárico, oleico, linoleico, linolênico e teor de carotenoides para a diversidade genética entre acessos de macaúba, baseado na estatística Singh (1981)

| <b>Variável</b>            | <b>Sj</b>    | <b>Contribuição relativa (%)</b> |
|----------------------------|--------------|----------------------------------|
| Ácido palmítico (C16:0)    | 0            | 0                                |
| Ácido palmitoleico (C16:1) | 49840066.55  | 17.90                            |
| Ácido esteárico (C18:0)    | 13269596.01  | 4.77                             |
| Ácido oleico (C18:1)       | 212682013.89 | 76.40                            |
| Ácido linoleico (C18:2)    | 0            | 0                                |
| Ácido linolênico (C18:3)   | 0            | 0                                |
| Carotenoides               | 2604645.21   | 0.94                             |

Valores de Sj negativos foram considerados nulos

As análises multivariadas baseadas nas características biométricas dos frutos e no teor de óleo também tenderam a agrupar os acessos de acordo com sua origem geográfica. O dendograma gerado pelo método UPGMA apresentou a formação de 3 grupos com os 50 acessos avaliados (Figura 6). O grupo 1 foi formado por 17 acessos, em sua maioria pertencentes à Pop1. Foram 12 acessos da Pop1, 1 da Pop2 e 4 da Pop3. O grupo 2 foi formado por 29 acessos, sendo 28 acessos da Pop3 e 1 da Pop1. O grupo 3 foi formado por 4 acessos, sendo 2 da Pop2 e 2 da Pop3.

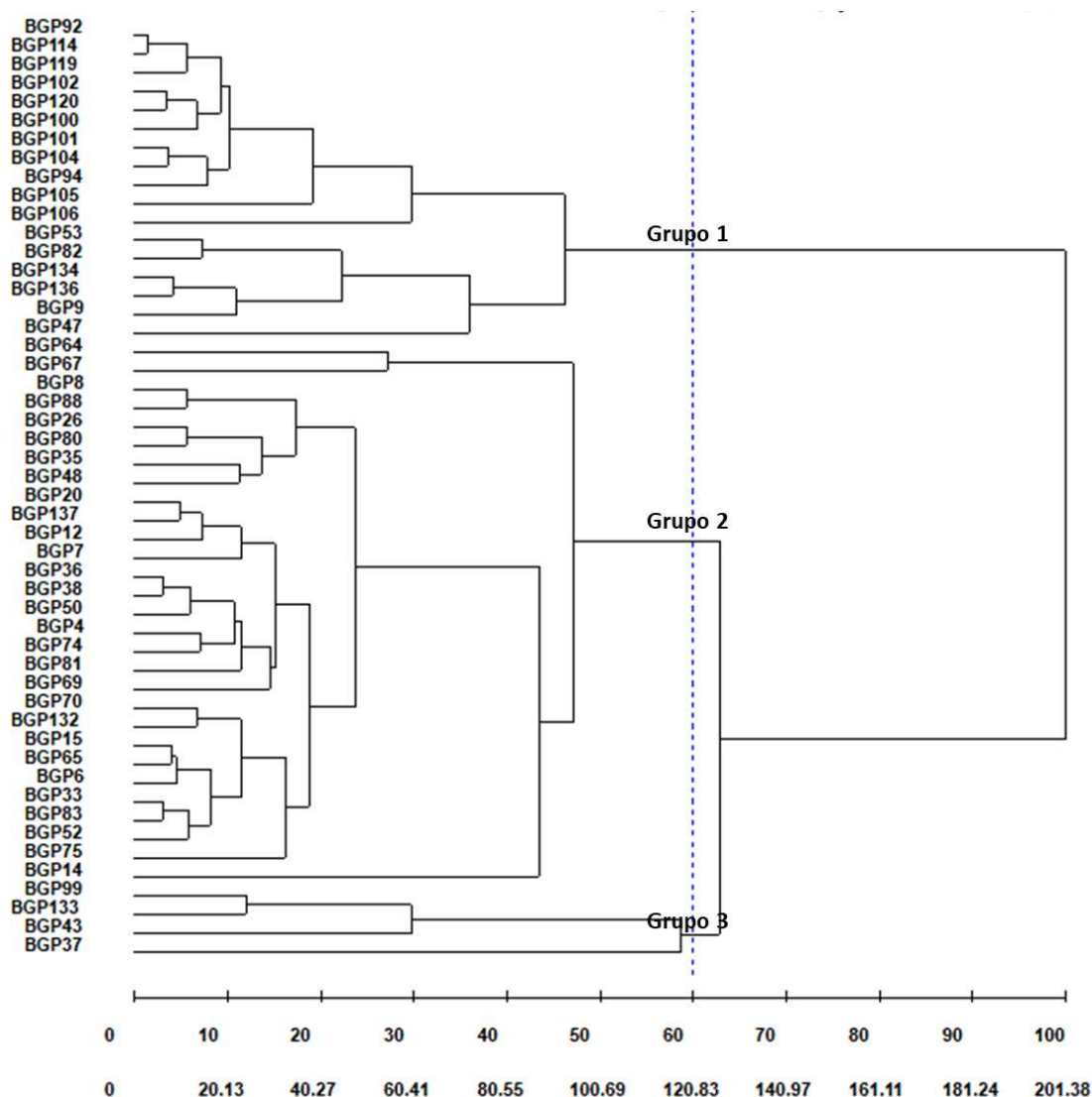


Figura 6. Dendrograma de 50 acessos de macaúba, gerado pelo método UPGMA baseado na distância de Mahalanobis, utilizando as variáveis de biometria de fruto (diâmetro transversal e longitudinal do fruto, massa seca de fruto, casca, polpa, endocarpo e amêndoa) e teor de óleo na polpa. A distância entre os acessos foi calculada com base na média de cada acesso para cada variável utilizada.

No agrupamento pelo método de otimização de Tocher observou-se a formação de 12 grupos (Tabela 7). O grupo 1 foi formado por 10 acessos, todos pertencentes à Pop1. O grupo 2 foi formado por 21 acessos, todos pertencentes à Pop3. O grupo 3 foi formado por 5 acessos, sendo 4 da Pop3 e 1 da Pop2. O grupo 4 foi formado por 4 acessos, sendo 3 da Pop3 e 1 da Pop1. O grupo 5 foi formado por 2 acessos da Pop2. O grupo 6 foi formado por 2 acessos, sendo 1 da Pop1 e 1 da Pop3. Os grupos 7, 9, 10, 11 e 12 foram formados por acessos da Pop3 e o grupo 8, por 1 acesso da Pop1.

Tabela 7. Agrupamento de 50 acessos de macaúba pelo método de otimização de Tocher baseado na distância de Mahalanobis utilizando as variáveis de biometria de fruto (diâmetro transversal e longitudinal do fruto, massa seca de fruto, casca, polpa, endocarpo e amêndoa) e teor de óleo na polpa.

| <b>Grupo</b> | <b>Acessos</b>                                                                                                                  |
|--------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1            | BGP92 BGP114 BGP119 BGP102 BGP104 BGP120 BGP100 BGP94 BGP101 BGP105                                                             |
| 2            | BGP36 BGP38 BGP15 BGP50 BGP74 BGP20 BGP6 BGP7 BGP137 BGP4 BGP81<br>BGP65 BGP33 BGP52 BGP83 BGP132 BGP48 BGP70 BGP69 BGP12 BGP88 |
| 3            | BGP134 BGP136 BGP9 BGP82 BGP53                                                                                                  |
| 4            | BGP26 BGP80 BGP35 BGP8                                                                                                          |
| 5            | BGP99 BGP133                                                                                                                    |
| 6            | BGP47 BGP75                                                                                                                     |
| 7            | BGP14                                                                                                                           |
| 8            | BGP106                                                                                                                          |
| 9            | BGP67                                                                                                                           |
| 10           | BGP43                                                                                                                           |
| 11           | BGP64                                                                                                                           |
| 12           | BGP37                                                                                                                           |

A contribuição relativa dos caracteres de biometria de frutos e teor de óleo para a diversidade é apresentada na Tabela 8. A variável mais importante para a diferenciação dos acessos foi o teor de óleo, que contribuiu com 41.85% para a dissimilaridade total. A segunda variável mais importante foi a matéria seca do fruto, com contribuição relativa de 20.76% para a dissimilaridade total.

Tabela 8. Contribuição relativa dos caracteres diâmetro (diâm.) transversal e longitudinal do fruto, massa seca (MS) de fruto, casca, polpa, endocarpo, amêndoa e teor de óleo para a diversidade genética entre acessos de macaúba, baseado na estatística Singh (1981)

| <b>Variável</b>    | <b>Sj</b> | <b>Contribuição relativa (%)</b> |
|--------------------|-----------|----------------------------------|
| Diâm. transversal  | 15550.94  | 9.84                             |
| Diâm. longitudinal | 16621.37  | 10.52                            |
| MS fruto           | 32796.07  | 20.76                            |
| MS casca           | 13229.33  | 8.38                             |
| MS polpa           | 12633.05  | 8.00                             |
| MS endocarpo       | 0.00      | 0.00                             |
| MS amêndoa         | 1025.45   | 0.65                             |
| Teor de óleo       | 66104.63  | 41.85                            |

Valores de Sj negativos foram considerados nulos



Foi realizada análise de agrupamento para avaliar a similaridade entre as três populações estudadas baseado nas características do óleo (perfil de ácidos graxos, coloração do óleo e teor de carotenoides) e nas características de biometria de frutos e teor de óleo (Figura 7a e 7b, respectivamente). Para os dois conjuntos de variáveis ocorreu a formação de um grupo com as populações 2 e 3 e outro grupo com a população 1, indicando que existe maior similaridade genética entre as plantas das populações 2 e 3.

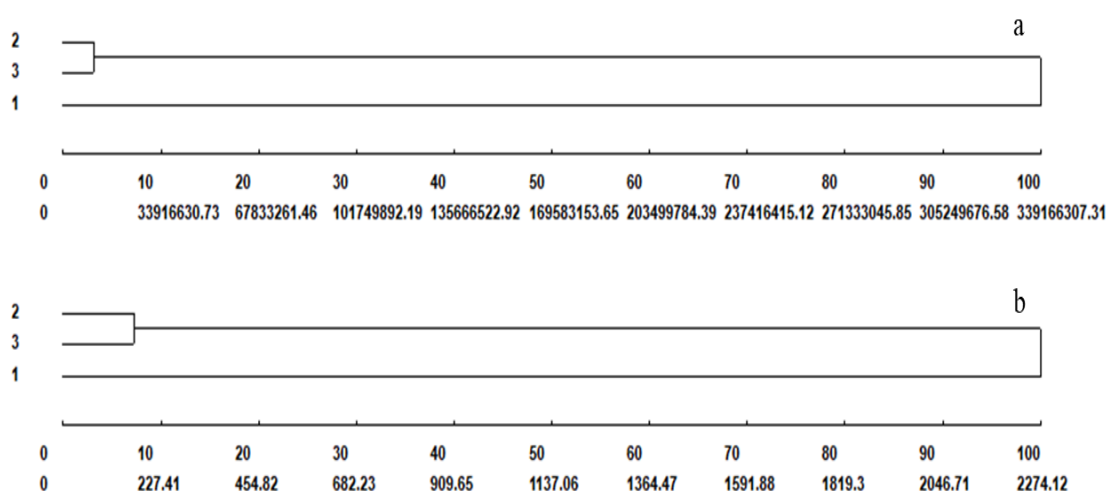


Figura 7. Dendrogramas de 3 populações de macaúba, gerados pelo método UPGMA baseado na distância de Mahalanobis, utilizando (a) as variáveis teor de ácido palmítico, palmitoleico, esteárico, oleico, linoleico, linolênico e teor de carotenoides e (b) as variáveis de biometria de fruto (diâmetro transversal e longitudinal do fruto, massa seca de fruto, casca, polpa, endocarpo e amêndoa) e teor de óleo na polpa.

## DISCUSSÃO

Os resultados encontrados nesse trabalho revelam a presença de grande variabilidade genética para os caracteres de qualidade e teor de óleo de polpa e biometria de frutos de macaúba. Essa variabilidade reflete a alta diversidade genética existente entre os acessos, que ocorre possivelmente devido à grande representatividade dos materiais avaliados, oriundos de diferentes regiões ecogeográficas (Lanes et al., 2015). A macaúba apresenta alta capacidade de sobreviver a ambientes heterogêneos (Ciconini et al., 2013), assim, a alta variabilidade dos dados reflete as diferentes estratégias de adaptação em resposta aos ambientes contrastantes (Lanes et al., 2015). Além disso, a ocorrência de variabilidade é condição essencial para o

estabelecimento de um programa de melhoramento genético (Manfio et al., 2012), indicando ser possível a seleção de genótipos promissores.

A composição de ácidos graxos presente nos óleos vegetais está diretamente relacionada com suas características físico-químicas e sua aplicabilidade aos diversos setores industriais. Os principais ácidos graxos encontrados no óleo de polpa de macaúba foram o oleico (C18:1), seguido pelo palmítico (C16:0) e o linoleico (C18:2) com base na média geral. Essa composição está de acordo com os demais relatos da literatura para valores médios dos principais ácidos graxos (Hiane et al., 1990; Coimbra, Jorge, 2011b; Nunes et al., 2015; Barreto et al., 2016; Favaro et al., 2017). Entretanto, até onde sabemos, não existem registros na literatura da existência de genótipos com a amplitude de variação de ácidos graxos como a encontrada nesse trabalho (Tabela 2). Tamanha variabilidade cria um leque de possibilidades de aplicações do óleo de polpa de macaúba e de seleção de genótipos superiores.

A resistência à oxidação é um fator importante dos óleos vegetais, que está relacionada à sua qualidade nutricional. A suscetibilidade de certos óleos à oxidação pode limitar seu uso na indústria de alimentos, cosméticos e fármacos, reduzindo seu valor comercial (Coimbra e Jorge, 2011b; Barreto et al., 2016). O alto teor de ácidos graxos monoinsaturados (AGMI) no óleo da polpa de macaúba é uma característica importante que o torna desejável tanto para a indústria de alimentos quanto de biocombustíveis, pois ele aumenta a estabilidade oxidativa do óleo, além de combinar qualidade nutricional e operabilidade a baixas temperaturas (Colombo et al., 2017; Nunes et al., 2015).

A predominância de altos níveis de ácido oleico e palmítico no óleo da macaúba é um fator importante para o processo de fracionamento e amplia seus usos, uma vez que permite a produção de dois produtos industriais principais: a oleína, fração líquida, rica em ácidos graxos monoinsaturados, e a estearina, fração sólida, rica em ácidos graxos saturados (Nunes et al., 2015). Além disso, sua composição de ácidos graxos lhe rendeu o apelido de “azeite do cerrado brasileiro” (Nunes et al., 2015), devido à similaridade ao azeite de oliva, que tem média de 55-83% de ácido oleico e 7.5-20% de ácido palmítico (Mapa, 2012), reforçando seu potencial uso alimentício.

Apesar da predominância dos AGMI e AGS, a identificação de genótipos com mais de 30% de AGPI é um fator importante para o melhoramento de macaúba. Os ácidos linoleico e linolênico (ômega 6 e 3, respectivamente) são essenciais para a formação de compostos que agem na mediação de doenças imunológicas e inflamatórias (Lescano et al., 2015). Assim, o consumo adequado do óleo da polpa de macaúba pode auxiliar o enriquecimento da dieta com esses ácidos graxos, evidenciando sua importância para a saúde humana.

O teor de carotenoides observado no óleo de macaúba foi bem variável entre os genótipos avaliados. Observou-se genótipos com valores muito inferiores e muito superiores aos teores médios encontrados na literatura, geralmente em torno de 350  $\mu\text{g/g}$  (Coimbra e Jorge, 2011; Nunes et al., 2015; Trentini et al., 2016). A presença de carotenoides no óleo de macaúba é uma característica muito relevante, pois eles desempenham um importante papel na prevenção da oxidação do óleo (Favaro et al., 2017) e também na saúde humana, por serem biomoléculas com ação antioxidante, anti-inflamatória e quimiopreventiva (Ramos et al., 2008; Hiane et al., 2006). Além disso, carotenoides como o  $\beta$ -caroteno presente na macaúba, podem ser convertidos em vitamina A, podendo ser utilizados na fortificação alimentar de populações de países em desenvolvimento, como o Brasil, onde a hipovitaminose A representa um dos principais problemas nutricionais (Ambrósio et al., 2006). De acordo com pesquisas desenvolvidas por Ramos et al. (2007), o  $\beta$ -caroteno da polpa de macaúba é altamente biodisponível, comparado ao  $\beta$ -caroteno puro, e se for consumido o óleo, a biodisponibilidade é ainda maior.

A colorimetria é uma técnica que pode ser utilizada para caracterizar a cor de diferentes pigmentos, como a clorofila (Sinnecker et al., 2002) e as antocianinas (Montes et al., 2005). Em nosso trabalho observou-se haver uma forte correlação entre o teor de carotenoides e a presença da cor vermelha no óleo. Essa correlação é uma ferramenta útil para usos tecnológicos pois permite o estabelecimento de equações que podem prever o conteúdo de carotenoides usando parâmetros de cores de rotina, como demonstrado por Ribeiro et al. (2014) para pequi (*Caryocar brasiliense*).

No Brasil não existe consenso sobre o número de espécies que formam o grupo de palmeiras identificadas como macaúba. Alguns autores acreditam que o grupo é formado por três espécies, que se diferenciam por caracteres morfológicos e pela sua distribuição no território (Lorenzi et al., 2010; WFO, 2021, Vianna et al., 2017). São elas: *Acrocomia aculeata*, com distribuição ampla no território brasileiro mas com maior concentração no estado de Minas gerais, *Acrocomia totai*, predominante nos estados de Mato Grosso do Sul, São Paulo e estados do sul do Brasil e *Acrocomia intumescens*, que ocorre principalmente nas regiões norte e nordeste brasileiras. Outros autores acreditam que essas três espécies se tratam na verdade de três ecótipos da espécie *Acrocomia aculeata*, a citar: ecótipo Sclerocarpa, Totai e Intumescens, respectivamente (Pimentel et al., 2011).

Em nosso trabalho tratamos a macaúba como uma única espécie. As plantas estudadas foram subdivididas em três populações baseado em sua distribuição geográfica, as quais coincidem com os três ecótipos citados por Pimentel et al. (2011): Pop1 – ecótipo Totai; Pop2

– ecótipo *Intumescens* e Pop3 – ecótipo *Sclerocarpa*. Foi observada grande variabilidade fenotípica entre e dentro das populações, auxiliando assim na caracterização das plantas de diferentes regiões ecogeográficas.

Observando-se a média dos acessos para os caracteres avaliados (Tabela Suplementar 1 e 2) verifica-se a variabilidade existente entre eles, mesmo entre acessos da mesma população. Entretanto, apesar da variação dentro das populações, a variação existente entre elas permitiu que as mesmas fossem discriminadas pelas análises de diversidade genética. Com relação à biometria de frutos, a Pop1 apresentou plantas com frutos menores e com menor massa seca enquanto as plantas das Pop's 2 e 3 apresentaram frutos maiores e com maior massa seca. De acordo com Vianna et al. (2017), os três ecótipos de macaúba (considerados como três espécies pelos autores) podem ser distinguidos com base no tamanho médio e massa seca média dos frutos: os frutos do ecótipo *Sclerocarpa* apresentam maior tamanho e massa seca, seguido pelo ecótipo *Intumescens* e pelo Totai, com menor tamanho e massa seca de frutos. Em nosso trabalho não foi observada diferença significativa de biometria de frutos entre as populações 2 e 3 (referente aos ecótipos *Intumescens* e *Sclerocarpa*, respectivamente). Tal fato pode ser associado à baixa representatividade de plantas da Pop2 em nosso material. Já com relação ao teor médio de óleo na polpa, o valor encontrado para as três populações assemelha-se ao relatado na literatura para os três ecótipos de macaúba, sendo o ecótipo *Sclerocarpa* (referente à Pop3) o que apresenta maior teor de óleo, seguido pelo *Intumescens* (referente à Pop2) e o Totai (referente à Pop1) com menores teores (Pimentel et al., 2011; Vianna et al., 2017). Segundo Pimentel et al. (2011), a macaúba do ecótipo Totai apresenta menor teor de óleo na polpa provavelmente devido à predominância de formação de amido e açúcares na polpa em detrimento à formação de óleo, o que resulta em uma polpa adocicada, mais indicada para a produção de farinhas e alimentação humana.

As análises de diversidade genética com os dois grupos de variáveis demonstraram que os acessos tendem a se agrupar de acordo com sua origem geográfica. Outros trabalhos de diversidade genética em macaúba observaram a mesma tendência usando variáveis quantitativas (Manfio et al., 2012; Conceição et al., 2015) e dados moleculares (Lanes et al., 2015). As variáveis mais importantes para a diferenciação dos acessos foram o teor de ácido oleico entre as variáveis de qualidade de óleo, e o teor de óleo seguida por massa seca de frutos entre as variáveis de biometria de frutos e teor de óleo. As mesmas variáveis foram identificadas como as mais importantes para a divergência de genótipos de macaúba oriundos dos estados de Minas Gerais, Goiás, Tocantins e Distrito Federal (Conceição et al., 2015).

O agrupamento das populações com base tanto nas características do óleo como nas características de biometria de frutos e teor de óleo demonstraram que existe maior proximidade genética entre as populações 2 e 3 e maior distância entre essas e a população 1 (Figura 7a e 7b). A mesma observação foi feita por Vianna et al. (2017) ao avaliar a diversidade genética entre os ecótipos *Sclerocarpa*, *Totai* e *Intumescens* com base em características biométricas do fruto (diâmetro, comprimento, peso fresco e seco). Os autores encontraram maior proximidade entre os ecótipos *Sclerocarpa* e *Intumescens* e separação desses do ecótipo *Totai*. Essa discriminação da população 1 pode ser fruto de um possível processo de especiação que a espécie está sofrendo (Lanes et al., 2015). O Pantanal do Mato Grosso do Sul, que é a região de origem de grande parte das plantas da Pop1, é uma bacia sedimentar cercada por uma grande rede hidrográfica e planaltos com altitudes entre 600 e 700 m. Essas barreiras geográficas associadas à dispersão restrita apresentada pelo pólen (devido ao alcance limitado de voo dos polinizadores) e pelas sementes da macaúba (que geralmente permanecem perto da planta mãe devido ao peso dos frutos) podem restringir o fluxo gênico dos acessos do Pantanal de Mato Grosso do Sul, isolando a população dessa região e criando assim um cenário favorável à especiação (Lanes et al., 2015).

Segundo Lanes et al. (2015), o Rio São Francisco, que nasce na região central do estado de Minas Gerais, provavelmente desempenha um papel importante na dispersão das sementes da macaúba nesse estado. Entretanto, ao sair do estado de Minas Gerais, o Rio São Francisco segue seu percurso por mais quatro estados brasileiros, todos da região nordeste do país (Bahia, Pernambuco, Sergipe e Alagoas). Dessa forma, o rio possivelmente também pode atuar como um vetor na disseminação de sementes do estado de Minas Gerais para os estados do nordeste do Brasil, auxiliando assim no fluxo gênico entre as populações das duas regiões. Tal fator pode influenciar na maior similaridade genética observada entre as populações 2 e 3.

Nossos resultados indicam que a variabilidade observada entre os acessos de macaúba avaliados está possivelmente ligada às suas diferentes origens geográficas e às pressões de seleção desempenhadas por cada ambiente. Essa diversidade associada à ampla distribuição da espécie pelo país revelam a alta plasticidade fenotípica que permite que a macaúba explore uma ampla variedade de ecoregiões (Lanes et al., 2015). Como consequência dessa variabilidade, a macaúba apresenta grande potencial de exploração econômica, principalmente do óleo de sua polpa, podendo ser aplicado a diversos setores da economia, dos quais se destaca o setor alimentício.

## CONCLUSÃO

Os acessos de macaúba amostrados apresentam ampla variabilidade para os caracteres avaliados. Existem fortes indícios de que essa variabilidade esteja relacionada com a distribuição geográfica da espécie e às adaptações associadas aos diferentes ambientes colonizados. Nossos resultados sugerem que a Pop3 é a mais indicada para selecionar genótipos com alto teor de óleo de polpa e maior rendimento de coprodutos (casca, endocarpo e torta de polpa e amêndoa) e a Pop 1 é onde se encontram os genótipos com maiores teores de carotenoides. Novos estudos de estimação de parâmetros genéticos permitirão maior conhecimento do controle genético dos caracteres avaliados e assim a seleção de genótipos superiores e o planejamento de cruzamentos direcionados a fim de obter indivíduos que concentrem várias características de interesse.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ambrósio, C. L. B., Campos, F. A. C. S., Faro, Z. P., 2006. Carotenoides como alternativa contra a hipovitaminose A. *Rev Nutr.* 19, 233-243.
- Arkcoll, D., 1990. New crops from Brazil. In: Janick, J., Simon, E.J. (Eds.), *Advances in New Crops*. Timber Press, Portland, OR. 367–371.
- Barreto, L.C., Magalhães, A.L.L., Takahashi, J.A., Garcia, Q.S., 2016. Dynamic of reserve compounds of mesocarp and seeds of macaw palm (*Acrocomia aculeata*) submitted to different storage conditions. *Trees*. 30 (6), 1945-1952.
- Berton, L. H. C, Azevedo Filho, J. A., Siqueira, W. J., Colombo, C. A., 2014. Seed germination and estimates of genetic parameters of promising macaw palm (*Acrocomia aculeata*) progenies for biofuel production. *Ind Crop Prod.* 51, 258–266.
- Bora, P. S., Rocha, R. V. M., 2004. Macaúba palm: fatty and amino acids composition of fruits. *Cienc Tecnol Aliment.* 4, 158–162.
- Ciconini, G., Favaro, S. P., Roscoe, R., Miranda, C. H. B., Tapeti, C. F., Miyahira, M. A. M., Bearari, L., Galvani, F., Borsato, A. V., Colnago, L. A., Naka, M. H., 2013. Biometry and oil contents of *Acrocomia aculeata* fruits from the Cerrados and Pantanal biomes in Mato Grosso do Sul, Brazil. *Ind Crop Prod.* 45, 208–214.
- Coimbra, M.C., Jorge, N., 2011. Proximate composition of guariroba (*Syagrus oleracea*), jerivá (*Syagrus romanzoffiana*) and macaúba (*Acrocomia aculeata*) palm fruits. *Food Res Int.* 44, 2139-2142.
- Coimbra, M.C., Jorge, N., 2011b. Characterization of the Pulp and Kernel Oils from *Syagrus oleracea*, *Syagrus romanzoffiana*, and *Acrocomia aculeata*. *J Food Sci.* 76 (8), 1156-1161.
- Colombo, C. A, Berton, L. H. C., Diaz, B. G., Ferrari, R. A., 2017. Macauba: a promising tropical palm for the production of vegetable oil. *OCL*.

- Conceição, L. D. H. C. S. da, Antoniassi, R., Junqueira, N. T. V., Braga, M. F., Faria-Machado, A. F., Rogério, J. B., Duarte, I. D., Bizzo, H. R., 2015. Genetic diversity of macaúba from natural populations of Brazil. *BMC Res Notes*. 8, 406.
- Coser, S.M, Motoike, S.Y, Corrêa, T.R., Pires, T.P, Resende, M.D.V, 2016. Breeding of *Acrocomia aculeata* using genetic diversity parameters and correlations to select accessions based on vegetative, phenological, and reproductive characteristics. *Genet Mol Res*. 15 (4).
- Cruz, C. D., Ferreira, F. M., Pessoni, L. A., 2011. *Biometria aplicada ao estudo da diversidade genética*. 1a ed. Visconde do Rio Branco-MG: Suprema. 620 p.
- Cruz, C.D., 2013. GENES - a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. *Acta Scientiarum*. 35 (3), 271-276.
- Domiciano, G. P., Alves, A. A., Laviola, B. G., Haa, L. D., Da Conceição, C. S., 2015. Parâmetros genéticos e diversidade em progênies de Macaúba com base em características morfológicas e fisiológicas. *Cienc Rural*, 45 (9), 1599-1605.
- Farias Neto, J. T., Clement, C. R., Resende, M. D. V., 2013. 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*. 32: 122- 126.
- Favaro, S.P, Tapeti, C.F., Miranda, C.H.B., Ciconini, G., Miyahira, M.A.M., Roscoe, R., 2017. Macauba (*Acrocomia aculeata*) pulp oil quality is negatively affected by drying fruits at 60 °C. *Braz. Arch. Biol. Technol*. 60, 1-10.
- Goulart, S. de M. Amadurecimento pós-colheita de frutos de macaúba e qualidade do óleo para a produção de biodiesel. 2014. 84 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia), Universidade Federal de Viçosa, 2014.
- Hartigan, J.A., Wong, M.A., 1979. Algorithm AS 136: a k-means clustering algorithm. *J. R. Stat. Soc. Ser. C* 28, 100–108.
- Henderson, A., Galeano G., Bernal, R., 1995. *Field Guide to the Palms of the Americas*. Princeton: Princeton University Press. 166-167.
- HunterLab. Measuring color using Hunter L, a, b versus CIE 1976 L\*a\*b\*. Disponível em: <<https://www.hunterlab.com/media/documents/duplicate-of-an-1005-hunterlab-vs-cie-lab.pdf>>. Acesso em: 03 de abril de 2021.
- Hiane, P. A., Baldasso, P. A., Marangoni, S., Macedo, M. L. R., 2006. Chemical and nutrition evaluation of kernels of bocaiuva, *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. *Cienc Tecnol Aliment.*, 26 (3), 683-689.
- Hiane, P.A., Penteado, M.deV.C., Badolato, E., 1990. Teores de ácidos graxos e composição centesimal do fruto e da farinha da bocaiúva (*Acrocomia mokayáyba* Barb. Rodr.). *Alim. Nutr*. 2, 21-26.
- Hiane, P. A.; Ramos Filho, M. M.; Ramos, M. I. L.; Macedo, M. L. R., 2005. Bocaiuva, *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd., pulp and kernel oils: Characterization and fatty acid composition. *Braz J Food Technol*. 8, 256–259.

Konica Minolta. Understanding the CIE L\*a\*b\* Color Space. Disponível em: <<https://sensing.konicaminolta.us/us/blog/understanding-the-cie-lch-color-space/>>. Acesso em: 03 de abril de 2021.

Lanes, E.C.M., Motoike, S.Y., Kuki, K.N., Nick, C., Freitas, R.D., Jones, F.A., 2015. Molecular characterization and population structure of the macaw palm, *Acrocomia aculeata* (Arecaceae), ex situ germplasm collection using microsatellites markers. *J. Hered.* 106, 102–112.

Lescano, C. H., Oliveira, I. P., Silva, L. R., Baldivia, D. S., Sanjinez-Argandoña, E. J., Arruda, E. J., Moraes, I. C. F., Lima, F. F., 2015. Nutrients content, characterization and oil extraction from *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. *Fruits. Afr J Food Sci.* 9 (3), 113-119.

Lieb, V.M., Kerfers, M.R., Kronmüller, A., Esquivel, P., Alvarado, A., Jiménez, V.M., Schmarr, H-G., Carle, R., Schweiggert, R.M., Steingass, C.B., 2017. Characterization of Mesocarp and Kernel Lipids from *Elaeis guineensis* Jacq., *Elaeis oleifera* [Kunth] Cortés, and Their Interspecific Hybrids. *J. Agric. Food Chem.* 65, 3617–3626.

Lorenzi, H., Noblick, L., Kahn, F., Ferreira, E., 2010. *Flora Brasileira: Arecaceae (Palmeiras)*. Nova Odessa, SP: Instituto Plantarum, 384 p.

Manfio, C. E.; Motoike, S. Y.; Santos, C. R. M Dos; Pimentel, L. D.; Queiroz, V. De; Sato, A. Y., 2011. Repetibilidade em características biométricas do fruto de macaúba. *Cienc Rural, Santa maria.* 14 (1), 70-76.

Manfio, C.E., Motoike, S.Y., Resende, M.D.V., dos Santos, C.E.M., Sato, A.Y., 2012. Avaliação de progênies de macaúba na fase juvenil e estimativas de parâmetros genéticos e diversidade genética. *Pesqui. Florest. Bras.* 32, 63–68.

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa 1/2012. Disponível em: <<http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=visualizarAtoPortalMapa&chave=629707739>>. Acesso em: 25 de março de 2021.

Mengitsu, F.G., Motoike, S.Y., Cruz, C.D., 2016. Molecular Characterization and Genetic Diversity of the Macaw Palm Ex Situ Germplasm Collection Revealed by Microsatellite Markers. *Diversity.* 8 (20), 1-12.

Montes, C., Vicario, I. M., Raymundo, M., Feet, R., Heredia, F. J., 2005. Application of tristimulus colorimetry to optimize the extraction of anthocyanins from jaboticaba (*Myrcia jaboticaba* Berg). *Food Res Int, Barking.* 38 (8-9), 983-988.

Motoike, S. Y., Carvalho, M., Pimentel, L. D., Kuki, K. N., Paes, J. M. V., Dias, H. C. T., Sato, A. Y. A cultura da macaúba: implantação e manejo de cultivos racionais. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2013. 61 p.

Motoike, S. Y., Kuki, K. N., 2009. The potential of macaw palm (*Acrocomia aculeata*) as source of biodiesel in Brazil. *IRECHE.* 1, 632–635.

Nunes, A. A, Favaro, S. P., Galvani, F., Miranda, C. H. B., 2015. Good practices of harvest and processing provide high quality Macauba pulp oil. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.* 117, 2036–2043.

Pasquini, C., 2018. Near infrared spectroscopy: A mature analytical technique with new perspectives - A review. *Anal Chim Acta.* 1026, 8-36.



- Pimentel, L. D., Dias, L. A. dos S., Paes, J. M. V., Sato, A. Y., Motoike, S. Y., 2011. Diversidade no gênero *Acrocomia* e proposta de subdivisão da espécie *Acrocomia aculeata*. Informe Agropecuário (Belo Horizonte). 32, 81-87.
- Pires, T.P., Souza, E.S., Kuki, K.N., Motoike, S.Y., 2013. Ecophysiological traits of the macaw palm: A contribution towards the domestication of a novel oil crop. Ind Crop Prod. 44, 200–210.
- R Core Team, 2015. R: a Language and Environment for Statistical Computing.
- Ramos, M. I. L., Ramos Filho, M. M., Hiane, P. A., Braga Neto, J. A., Siqueira, E. M. de A., 2008. Qualidade nutricional da polpa de bociúva *Acrocomia aculeata*. Ciênc Tecnol Aliment. 90-94.
- Ramos, M. I. L., Siqueira, E. M. A., Isomura, C. C., Barbosa, A. M. J., Arruda, S. F., 2007. Bociuiva (*Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd) improved vitamin A status in rats. J Agric Food Chem. 55, 3186–3190.
- Ribeiro, D. M., Fernandes, D. C., Alves, A. M., Naves, M. M. V., 2014. Carotenoids are related to the colour and lipid content of the pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.) pulp from the Brazilian Savanna. Food Sci. Technol, Campinas, 34 (3), 507-512.
- Rodriguez-Amaya, D. B. A guide to carotenoid analysis in foods. Washington, D.C. ILSI Press, 2001. 64 p.
- Scariot, A.; Lleras, E.; Hay, J. D., 1991. Reproductive biology of the palm *Acrocomia aculeata* in Central Brazil. Biotropica. 23, 12–22.
- Singh D., 1981. The relative importance of characters affecting genetic divergence. Indian J Genet Plant Breed. 41, 237–245.
- Sinnecker, P., Gomes, M. S. O., Arêas, J. A. G., Lanfer-Marquez, U. M., 2002. Relationship between color (instrumental and visual) and chlorophyll contents in soybean seeds during ripening. J Agric Food Chem, Easton. 50 (14), 3961-3966.
- Trentini CP, Oliveira DM, Zanette CM, Silva C, 2016. Low-pressure solvent extraction of oil from macauba (*Acrocomia aculeata*) pulp: characterization of oil and defatted meal. Ciênc Rural. 46, 725–731.
- Vianna, S. A., Berton, L. H. C., Pott, A., Guerreiro, S. M. C., Colombo, C. A., 2017. Biometric Characterization of Fruits and Morphoanatomy of the Mesocarp of *Acrocomia* Species (Arecaceae). Int. J. Biol. 9 (3).
- Wandek, F. A., Justo, P. G., 1988. A macaúba, fonte energética e insumo industrial: sua significação econômica no Brasil. In: SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO, SAVANA, Brasília. EMBRAPA, CPAC. 541–577.
- WFO (2021): World Flora Online. Published on the Internet; <http://www.worldfloraonline.org>. Accessed on: 25 Mar 2021.

## **Artigo 2**

**Seleção de genótipos superiores de macaúba (*Acrocomia aculeata*) baseada em atributos do óleo, biometria de frutos e produtividade**

Seleção de genótipos superiores de macaúba (*Acrocomia aculeata*) baseada em atributos do óleo, biometria de frutos e produtividade

## RESUMO

A macaúba é uma palmeira oleaginosa amplamente distribuída no Brasil que tem despertado interesse de pesquisadores devido a seu alto potencial produtivo. Seus frutos produzem dois tipos de óleo aplicáveis a diferentes setores industriais, além de coprodutos que agregam valor à cadeia produtiva. Entretanto, para se consolidar no mercado, a macaúba ainda depende do avanço das pesquisas, com ênfase no desenvolvimento de cultivares elite. Assim, o objetivo desse trabalho foi selecionar genótipos superiores para variáveis de qualidade do óleo (perfil de ácidos graxos e teor de carotenoides), biometria de frutos, teor de óleo e produtividade de frutos ao longo do tempo. Foram avaliados 174 genótipos de 45 acessos procedentes de três populações (Pop) dos estados de Mato Grosso do Sul e São Paulo (Pop1), Pernambuco e Pará (Pop2) e Minas Gerais (Pop3). Foram observadas herdabilidades médias e altas e acurácias altas para todas as variáveis avaliadas, resultando em alto controle genético e confiabilidade no processo de seleção. Obteve-se ganho de seleção para todas as variáveis, que variou de 24.16% para diâmetro transversal do fruto a 304.78% para teor de carotenoides. O caráter produtividade apresentou variância genética e herdabilidade variáveis com o tempo e os genótipos apresentaram trajetória não-linear para o valor genotípico ao longo dos anos, indicando plasticidade genotípica. Os melhores genótipos para produtividade, teor de óleo e aspectos biométricos do fruto são procedentes do estado de Minas Gerais enquanto os genótipos com maior teor de carotenoides são os do estado do Mato Grosso do Sul. Nossos resultados demonstram que a macaúba apresenta ampla variabilidade genética e que os genótipos selecionados poderão ser utilizados com sucesso em programas de melhoramento que visem desenvolver genótipos que atendam a diferentes demandas do mercado de óleos vegetais.

## PALAVRAS-CHAVE

Parâmetros genéticos; melhoramento genético; perfil de ácidos graxos, carotenoides; teor de óleo.

## INTRODUÇÃO

Uma vez que a ampliação de áreas cultivadas representa um impacto ambiental indesejado, um dos maiores desafios atuais é como conciliar a expansão da produção agrícola, para a obtenção de alimentos ou bioenergia, e ao mesmo tempo promover a preservação e restauração das áreas florestais. Diante desse gargalo econômico-ambiental, a macaúba tem se destacado entre as oleaginosas mundiais - dendê, soja, canola, girassol (Statista, 2020) - e despertado o interesse de pesquisadores das mais diversas áreas devido ao seu potencial competitivo e uso sustentável.

A macaúba é amplamente distribuída nas Américas (Ferrari e Azevedo Filho, 2012) e encontrada nas cinco regiões do território brasileiro, povoando especialmente as regiões de Cerrado e suas transições (Henderson et al., 1995). Seu principal produto são os frutos oleaginosos, que apresentam potencial produtivo de até 6200 Kg / ha de óleo por ano (Wandeck e Justos, 1988). Após a extração do óleo são gerados coprodutos que podem ser utilizados na geração de energia e na nutrição humana e animal, tendo aproveitamento total do fruto (Ciconine et al., 2013; Pires et al., 2013).

Uma característica importante da macaúba é a variabilidade de seus caracteres fenotípicos, que impacta a produtividade e as propriedades do óleo (Ciconini et al., 2013). Em geral, o óleo da polpa de macaúba é caracterizado pela presença de carotenoides e altas concentrações de ácido oleico (Hiane et al., 2005; Ramos et al., 2007), enquanto o óleo da amêndoa tem predominância de ácido láurico (Amaral et al., 2011; Hiane et al. 2005). Essas propriedades permitem que os óleos possam ser utilizados em diferentes setores como nas indústrias cosméticas, nutracêuticas, farmacêuticas, alimentícias e na produção de biocombustíveis (Ciconini et al., 2013). O uso do óleo para diversos fins depende de seu perfil de ácidos graxos, o qual está associado com o valor nutricional e características físico-químicas (Conceição et al., 2015). A mudança na composição de ácidos graxos e compostos funcionais em oleaginosas, através do melhoramento convencional, é possível de ser realizada (Conceição et al., 2015) e já foi demonstrada com sucesso em soja visando satisfazer às diferentes demandas do mercado (Fehr, 2007).

Diferenças morfológicas dos frutos são corriqueiras entre macaúbas de procedências distintas (Ciconini et al., 2013; Costa et al., 2018; Vianna et al., 2017). A caracterização biométrica dos frutos é essencial para subsidiar a exploração e conservação dos recursos vegetais, uma vez que esses dados permitem estimar a produtividade (Moura et al., 2010), além de ser uma importante ferramenta na detecção da variabilidade genética em populações de uma

mesma espécie (Carvalho et al., 2003). Esse conhecimento é fundamental para programas de melhoramento que visam a exploração comercial da macaúba.

Nos últimos anos as iniciativas de pesquisa em macaúba têm crescido significativamente, entretanto algumas diretrizes ainda precisam ser aprofundadas a fim de garantir a consolidação da cadeia produtiva da espécie. Entre elas destacam-se o desenvolvimento de cultivares elites, e valorização de potenciais coprodutos, baseado nas características dos frutos. Dessa forma, o objetivo desse trabalho foi estimar os parâmetros genéticos de diferentes genótipos de macaúba e selecionar aqueles mais promissores quanto a qualidade do óleo de polpa (perfil de ácidos graxos e teor de carotenoides), teor de óleo, biometria de frutos e produtividade.

## MATERIAL E MÉTODOS

Este estudo foi desenvolvido com 174 genótipos de 45 acessos genéticos cultivados no Banco de Germoplasma de Macaúba (BAG-Macaúba) da Universidade Federal de Viçosa, situado em Araponga (20° 39'S, 42° 31'W, 1040 m altitude), Minas Gerais. Os acessos foram selecionados de três populações, subdivididas de acordo com a origem geográfica (latitude e longitude) de suas matrizes: população 1 composta por 13 acessos dos estados de Mato Grosso do Sul (MS) e São Paulo (SP); população 2 composta por 2 acessos dos estados do Pará (PA) e Pernambuco (PE); população 3 composta por 30 acessos do estado de Minas Gerais (MG) (Tabela 1).

Os genótipos selecionados são cultivados em 3 glebas no BAG-Macaúba, que se diferenciam pelo ano de plantio: 2009 (gleba 1), 2010 (gleba 2) e 2011 (gleba 3) e as plantas tinham 10, 9 e 8 anos, respectivamente, quando o estudo foi realizado. A gleba 1 é formada pelos acessos BGP4 a BGP53, a gleba 2 pelos acessos BGP64 a BGP88 e a gleba 3 pelos acessos BGP92 a BGP120 (Tabela 1). Ressalta-se que todas as plantas do BAG-Macaúba recebem periodicamente tratamentos culturais de fertilização, calagem, podas e manejo de pragas e doenças, segundo prescrições estabelecidas (Pimentel et al., 2011).

Tabela 1. Identificação dos 45 acessos genéticos utilizados, suas respectivas plantas, estado e população (Pop) de origem.

| Acesso | Planta              | Estado | Pop | Acesso | Planta                 | Estado | Pop |
|--------|---------------------|--------|-----|--------|------------------------|--------|-----|
| BGP4   | 4, 5                | MG     | 3   | BGP70  | 1, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 | MG     | 3   |
| BGP6   | 1, 2, 5             | MG     | 3   | BGP74  | 1, 6, 8, 9, 10         | MG     | 3   |
| BGP7   | 1, 2, 4, 5, 6       | MG     | 3   | BGP75  | 1, 2                   | MG     | 3   |
| BGP8   | 1, 2, 4, 5, 6, 7, 9 | MG     | 3   | BGP80  | 1, 2                   | MG     | 3   |

|       |                      |    |   |        |                     |    |   |
|-------|----------------------|----|---|--------|---------------------|----|---|
| BGP9  | 1, 3, 5, 6, 7, 8     | MG | 3 | BGP81  | 1, 2, 3, 4          | MG | 3 |
| BGP12 | 1, 2, 5, 7, 8, 9, 10 | MG | 3 | BGP83  | 1, 2                | MG | 3 |
| BGP14 | 1                    | MG | 3 | BGP88  | 1, 2, 4             | MG | 3 |
| BGP15 | 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8  | MG | 3 | BGP35  | 1, 2                | SP | 1 |
| BGP20 | 3, 4, 7              | MG | 3 | BGP47  | 1, 3, 4             | SP | 1 |
| BGP26 | 1, 5, 6, 7, 8, 9, 10 | MG | 3 | BGP92  | 1, 2, 3, 4, 5       | MS | 1 |
| BGP33 | 1, 4, 5, 6, 7        | MG | 3 | BGP94  | 1                   | MS | 1 |
| BGP36 | 1, 3, 5, 6, 8        | MG | 3 | BGP100 | 1, 2                | MS | 1 |
| BGP37 | 2, 7, 9              | MG | 3 | BGP101 | 1, 2, 3             | MS | 1 |
| BGP38 | 3, 4, 5              | MG | 3 | BGP102 | 1, 2, 4             | MS | 1 |
| BGP43 | 3, 4, 6              | MG | 3 | BGP104 | 1, 2, 3, 4          | MS | 1 |
| BGP48 | 1, 2, 3, 4           | MG | 3 | BGP105 | 2, 3, 4             | MS | 1 |
| BGP50 | 3, 5, 6, 8, 10       | MG | 3 | BGP106 | 1, 2, 3             | MS | 1 |
| BGP52 | 1, 2, 3, 4           | MG | 3 | BGP114 | 1, 2                | MS | 1 |
| BGP53 | 2, 3, 4, 6           | MG | 3 | BGP119 | 1, 2, 3, 4          | MS | 1 |
| BGP64 | 1, 7, 8, 9           | MG | 3 | BGP120 | 2, 3                | MS | 1 |
| BGP65 | 1, 2, 4, 5, 6, 8, 9  | MG | 3 | BGP82  | 1, 4, 5, 6, 7, 8, 9 | PE | 2 |
| BGP67 | 9                    | MG | 3 | BGP99  | 1, 3                | PA | 2 |
| BGP69 | 1, 2, 3, 5, 6, 7     | MG | 3 |        |                     |    |   |

### Material vegetal

Os frutos dos cachos maduros foram colhidos e encaminhados ao Laboratório de Pós-Colheita do Departamento de Agronomia da UFV, onde foram limpos e sub-amostrados. Parte dos frutos foi congelada de imediato a -20°C para análises biométricas. Outra parte foi armazenada por 10 dias a ~ 23°C em ambiente com circulação de ar, permitindo o acúmulo de óleo pós-colheita na polpa (Goulart, 2014), e, posteriormente, congelados a -20°C. Os frutos que sofreram armazenamento pós-colheita foram subdivididos para avaliação do teor de óleo e para extração de óleo.

Para extração do óleo os frutos foram despulpados, a polpa foi seca em estufa a 65°C por 16h e submetida a prensagem a frio. O óleo extraído foi armazenado a -20°C para posterior análise de perfil de ácidos graxos e teor de carotenoides. A produtividade dos genótipos foi baseada no peso dos frutos maduros, produzidos durante os anos-safra.

### Perfil de ácidos graxos

O perfil de ácidos graxos do óleo da polpa foi analisado por cromatografia gasosa, de acordo com a metodologia descrita por Lieb et al. (2017) utilizando um cromatógrafo SHIMADZU, modelo 2010, equipado com injetor automático, detector de ionização de chama e coluna capilar SP-2560, com filme de 0,14 µm de espessura, 75 m de comprimento e 0,18 mm de diâmetro interno. Os ácidos graxos foram identificados pela comparação de seus tempos

de retenção com os padrões analíticos (SUPELCO, composto por uma mistura de 37 ésteres metílicos de ácidos graxos). A quantificação foi feita comparando a área do pico de cada ácido graxo com a área total de todos os ácidos graxos analisados e apresentada em porcentagem.

### **Carotenoides totais**

A quantificação de carotenoides totais no óleo da polpa foi feita segundo método proposto por Rodriguez-Amaya (2001). Foram pesados 0,15 g de óleo em balão volumétrico de 10 mL e em seguida o óleo foi solubilizados em éter de petróleo. A solução foi transferida para uma cubeta de vidro e lida em espectrofotômetro UVmini-1240 (Shimadzu, Japão) no comprimento de onda de 450 nm. Foi considerado o coeficiente de absorvidade de 2592 e os resultados foram expressos como equivalentes ao  $\beta$ -caroteno. A concentração total (Ct) de carotenoides ( $\mu\text{g}$  de carotenoides por g de óleo) foi calculada conforme a equação:

$$Ct \left( \frac{\mu\text{g}}{\text{g}} \right) = \frac{Abs \times Vol \times 10^4}{A_{1\text{cm}}^{1\%} \times m}$$

Em que, Abs é a absorbância a 450nm, Vol é o volume final da amostra (10 mL),  $A_{1\text{cm}}^{1\%}$  é o coeficiente de absorção do  $\beta$ -caroteno em éter de petróleo (2592) e m é o peso da amostra (g).

### **Teor de óleo**

O teor de óleo da polpa (g de óleo por g de matéria seca em porcentagem) foi quantificado na polpa de três frutos por planta através de espectrometria de infravermelho próximo (NIR) utilizando um modelo ajustado por mínimos quadrados parciais (PLS). Os espectros foram coletados usando um analisador Antaris II FT-NIR (Thermo Fisher Scientific, EUA). O modelo NIR-PLS tem a vantagem de ser um método de baixo custo, mais rápido e confiável do que os métodos tradicionais (Pasquini, 2018).

### **Biometria de frutos**

A caracterização biométrica foi realizada em três frutos por planta, a fim de garantir um coeficiente de determinação acima de 90% (Manfio et al., 2011). As variáveis avaliadas foram: diâmetro transversal e longitudinal do fruto (DT e DL, respectivamente) em centímetros; matéria seca (MS) do fruto e seus componentes - casca, polpa, endocarpo e amêndoa - em gramas. Os diâmetros foram medidos com paquímetro digital e o peso da matéria seca aferido em balança de precisão, após o material ser mantido em estufa de secagem até atingir valor constante.

### Produtividade de frutos

Ao contrário das análises anteriores, que foram realizadas somente em uma única safra, a produtividade de frutos foi avaliada do sexto ao décimo ano de vida das plantas, totalizando 5 safras. Para tanto, todos os frutos produzidos pelas plantas ao longo de cada safra foram colhidos quando maduros e pesados ainda frescos. No ano que o estudo foi realizado as plantas das glebas 1, 2 e 3 tinham 10, 9 e 8 anos de vida, respectivamente. Logo, a produtividade da gleba 2 para o ano 10 e da gleba 3 para os anos 9 e 10, foram preditas.

### Análises genéticas e estatísticas

O delineamento experimental empregado foi o inteiramente ao acaso e o número de plantas variou de 1 a 8 por acesso, de acordo com a disponibilidade de plantas produtivas para os acessos selecionados do BAG-Macaúba.

#### *Variáveis perfil de ácidos graxos, carotenoides totais, teor de óleo e biometria de frutos*

Os componentes de variância e valores genéticos das variáveis perfil de ácidos graxos, carotenoides totais, teor de óleo e biometria de frutos foram estimados via metodologia REML/BLUP (Restricted maximum likelihood / Best linear unbiased prediction) usando o seguinte modelo misto:

$$y = Xr + Zg + Wp + Ts + e$$

Em que,  $y$  é o vetor de dados,  $r$  é o vetor dos efeitos de repetição (efeito fixo) somados à média geral (efeito fixo),  $g$  é o vetor de efeitos genéticos individuais (efeito aleatório),  $p$  é o vetor dos efeitos de parcela (efeito aleatório),  $s$  é o vetor dos efeitos de população (efeito aleatório) e  $e$  é o vetor de erros (efeito aleatório).  $X$ ,  $Z$ ,  $W$  e  $T$  representam as matrizes de incidência para os referidos efeitos.

As equações de modelos mistos são:

$$\begin{bmatrix} X'X & X'Z & X'W & X'T \\ Z'X & Z'Z + I^{-1}\lambda_1 & Z'W & Z'T \\ W'X & W'Z & W'W + I\lambda_2 & W'T \\ T'X & T'Z & T'W & T'T + I\lambda_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{r} \\ \hat{g} \\ \hat{p} \\ \hat{s} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X'Y \\ Z'Y \\ W'Y \\ T'Y \end{bmatrix}$$

$$\lambda_1 = \frac{\sigma_e^2}{\sigma_g^2}; \quad \lambda_2 = \frac{\sigma_e^2}{\sigma_p^2}; \quad \lambda_3 = \frac{\sigma_e^2}{\sigma_s^2}$$

Onde:

$I$  = matriz identidade

$\sigma_e^2$  = variância residual



$\sigma_g^2$  = variância genética

$\sigma_p^2$  = variância de parcelas

$\sigma_s^2$  = variância entre populações

e = efeito residual

A macaúba foi considerada uma espécie com sistema reprodutivo misto devido a evidências de cruzamento entre parentes e de autofecundação (Lanes et al. 2016). Por isso, uma taxa de autofecundação foi utilizada para inferência da variância genética aditiva ( $\sigma_a^2$ ), a herdabilidade no sentido restrito ( $h_a^2$ ) e o efeito aditivo (a). Esta taxa de autofecundação (0,493) foi obtida pela soma dos valores máximos para a taxa de cruzamento entre parentes (0,454) e de autofecundação (0,039) (Lanes et al. 2016). A variância genética aditiva ( $\sigma_a^2$ ) foi estimada por:  $\sigma_a^2 = [4/(1 + S)^2] \sigma_g^2$ , em que S é a taxa de autofecundação e  $\sigma_g^2$  é a variância genética (Resende, 2002).

As correlações genéticas entre as variáveis foram estimadas e testados pelo teste t de Student ( $t_{cal}$ ) com 5% de probabilidade de erro tipo I dado por:

$$t_{cal} = r \sqrt{\frac{n-2}{1+r^2}}$$

O índice de seleção de ranque-médio (Mulamba e Mock, 1978) foi utilizado para classificar os genótipos baseado em sua performance simultânea para os caracteres diâmetro transversal e longitudinal do fruto (DT e DL, respectivamente), massa seca (MS) de fruto e de polpa, teor de óleo (TO) e produtividade de frutos (com base nos valores de AUC).

As análises estatísticas foram realizadas com o software SELEGEN-REML/BLUP (Resende, 2016) e o software R (R Core Team, 2020).

#### *Variável produtividade de frutos*

A produtividade de frutos (kg) dos seis aos dez anos foi analisada por modelos de regressão aleatória (Resende et al., 2001; Mrode, 2014). Foram ajustados modelos de polinômio de Legendre com grau 0, 1 e 2, considerando estrutura de variância residual homogênea ou heterogênea ao longo dos anos. Foi adotado até o grau 2, pois haviam indivíduos com somente medições em três anos (pertencentes à gleba 3). Os modelos foram avaliados pelo critério de Akaike (AIC) (Akaike, 1974). O modelo de regressão aleatória foi dado por:

$$y_{tijk} = age_i + \sum_{k=0}^M \phi_{jtk} \beta_k + \sum_{k=0}^N \phi_{jtk} u_{jk} + \sum_{k=0}^N \phi_{jtk} p_{jk} + e_{tijk}$$

Em que,  $y_{tijk}$  é o valor do j-ésimo indivíduo no t-ésimo ano dentro de cada subclasse de idade i,  $age_i$  é a idade correspondente à anos após o plantio,  $\phi_{jtk}$  são os coeficientes do polinômio de Legendre de ordem k para o j-ésimo indivíduo no t-ésimo ano,  $\beta_k$  são os coeficientes fixos da regressão de acordo com o grau (k) do polinômio,  $u_{jk}$  e  $p_{jk}$  são os coeficientes aleatórios genético e ambiental permanente, respectivamente de grau k do polinômio para o j-ésimo indivíduo,  $e_{tijk}$  é o efeito residual do j-ésimo indivíduo no t-ésimo ano com i anos após o plantio,  $M$  e  $N$  são a ordem do polinômio. A variável ano foi transformada para uma escala com variação de -1 a 1 (Schaeffer, 2016). Este modelo em forma matricial é dado por:

$$y = X\beta + Zu + Qp + e$$

Em que,  $y$  é o vetor de dados,  $\beta$  é o vetor de efeitos fixos incluindo a idade após o plantio e os coeficientes fixos do polinômio de Legendre,  $u$  e  $p$  são os vetores dos coeficientes aleatórios do polinômio de Legendre para os efeitos genético e de ambiente permanente, respectivamente,  $e$  é o vetor de resíduos aleatórios.  $X$ ,  $Z$  e  $Q$  são as matrizes de incidência dos respectivos efeitos. A variância de  $u$  é  $A \otimes G$  e de  $p$  é  $I \otimes P$ , em que  $\otimes$  é o produto de Kronecker,  $A$  é a matriz de parentesco genético aditivo entre os indivíduos,  $I$  é a matriz identidade entre indivíduos,  $G$  e  $P$  são matrizes de variâncias de ordem  $k+1$  para os efeitos genético e de ambiente permanente, respectivamente.

Os valores genéticos ( $GV_{jt}$ ) e ambientais permanentes ( $PV_{jt}$ ) de cada indivíduo j em cada ano t foram estimados por  $GV_{jt} = \phi_{jtk}\beta_k + \phi_{jtk}u_{jk}$  e  $PV_{jt} = \phi_{jtk}\beta_k + \phi_{jtk}p_{jk}$ , respectivamente. As matrizes de covariância genética aditiva ( $G_a$ ) e ambiental permanente ( $P_e$ ) entre os diferentes anos foi obtida por  $G_a = K\hat{G}K'$  e  $P_e = K\hat{P}K'$ , respectivamente, em que  $K$  é a matriz  $[T \times (k + 1)]$  dos coeficientes do polinômio de Legendre avaliada para um total de  $T$  anos e polinômio de grau k,  $\hat{G}$  e  $\hat{P}$  são as matrizes de covariância genética e ambiental permanente dos coeficientes aleatórios, respectivamente. A partir da matriz de covariâncias foi estimada a matriz de correlação genética e dos efeitos ambientais permanentes entre os anos. A herdabilidade em sentido restrito ( $h_{at}^2$ ) e o coeficiente de explicação ambiental permanente ( $c_{pt}^2$ ) para cada ano t foram estimados por  $h_{at}^2 = \sigma_{at}^2 / (\sigma_{at}^2 + \sigma_{pt}^2 + \sigma_{et}^2)$  e  $c_{pt}^2 = \sigma_{pt}^2 / (\sigma_{at}^2 + \sigma_{pt}^2 + \sigma_{et}^2)$ , respectivamente, em que  $\sigma_{at}^2$ ,  $\sigma_{pt}^2$  e  $\sigma_{et}^2$  são as variâncias genética aditiva, ambiental permanente e residual para cada ano t. As variâncias  $\sigma_{at}^2$  e  $\sigma_{pt}^2$  são encontradas na diagonal das matrizes  $G_a$  e  $P_e$ , respectivamente.

Foi estimada a área abaixo da curva (AUC) para cada genótipo a fim de identificar genótipos favoráveis ao longo de todos os anos avaliados. A AUC foi estimada por  $\int_{-1}^1 \sum_{k=0}^N \phi_k \hat{\beta}_k \alpha^k + \sum_{k=0}^N \phi_k \hat{u}_k \alpha^k d\alpha$ , em que  $\phi_k$  são os coeficientes do polinômio de Legendre de grau  $k$ ,  $\hat{\beta}_k$  e  $\hat{u}_k$  são os coeficientes fixos estimados e aleatório genético predito, respectivamente, e  $\alpha^k$  é a variável ano. Foram selecionados os dez indivíduos com maiores valores de AUC e o comportamento dos seus valores genéticos avaliados ao longo dos anos.

As variâncias residual e dos coeficientes aleatórios foram estimadas pelo procedimento REML (Restricted Maximum Likelihood) e os coeficientes aleatórios pelo procedimento BLUP (Best Linear Unbiased Prediction) no software ASreml 4.1 (Gilmour et al., 2015). A elaboração de gráficos e demais análise foram feitas no software R (R Core Team, 2020).

## RESULTADOS

### Perfil de ácidos graxos, carotenoides totais, teor de óleo e biometria de frutos

A análise de perfil de ácidos graxos dos 45 acessos de macaúba permitiu a identificação dos ácidos oleico (C18:1), palmítico (C16:0), linoleico (C18:2), palmitoleico (C16:1), esteárico (C18:0), e linolênico (C18:3) em ordem decrescente de abundância com base na média geral (Tabela 2). A maior parte do perfil foi composta de ácidos graxos monoinsaturados (AGMI - C16:1 e C18:1), seguida pelos ácidos graxos saturados (AGS - C16:0 e C18:0) e, em menor concentração, os ácidos graxos poli-insaturados (AGPI - C18:2 e C18:3).

Tabela 2. Estimativa de parâmetros genéticos das variáveis ácido palmítico (C16:0), palmitoleico (C16:1), esteárico (C18:0), oleico (C18:1), linoleico (C18:2), linolênico (C18:3), ácido graxo saturado (AGS), ácido graxo monoinsaturado (AGMI), ácido graxo poli-insaturado (AGPI) e teor de carotenoides no óleo da polpa de 45 acessos de macaúba

| Parâmetros      | C16:0 | C16:1 | C18:0 | C18:1  | C18:2 | C18:3 | AGS   | AGMI   | AGPI  | Carot     |
|-----------------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|--------|-------|-----------|
| $\sigma_g^2$    | 26.38 | 5.18  | 1.15  | 63.75  | 16.54 | 0.09  | 25.82 | 62.34  | 17.95 | 36811.62  |
| $\sigma_a^2$    | 47.34 | 9.29  | 2.05  | 114.40 | 29.68 | 0.16  | 46.33 | 111.87 | 32.21 | 66057.98  |
| $\sigma_s^2$    | 12.99 | 0.02  | 0.19  | 24.66  | 4.32  | 0.07  | 10.21 | 20.93  | 3.27  | 63248.65  |
| $\sigma_e^2$    | 14.66 | 6.53  | 0.61  | 46.14  | 9.48  | 0.12  | 15.28 | 30.77  | 10.68 | 25572.14  |
| $\sigma_f^2$    | 54.04 | 11.72 | 1.94  | 134.55 | 30.34 | 0.28  | 51.31 | 114.03 | 31.91 | 125632.41 |
| $h_a^2$         | 0.88  | 0.79  | 1.00  | 0.85   | 0.98  | 0.57  | 0.90  | 0.98   | 1.00  | 0.53      |
| $c_{proc}^2$    | 0.24  | 0.00  | 0.10  | 0.18   | 0.14  | 0.25  | 0.20  | 0.18   | 0.10  | 0.50      |
| <b>M</b>        | 16.60 | 4.23  | 2.01  | 64.16  | 11.91 | 1.12  | 18.59 | 68.04  | 13.08 | 317.13    |
| <b>Acurácia</b> | 0.97  | 0.95  | 0.97  | 0.96   | 0.97  | 0.94  | 0.97  | 0.97   | 0.97  | 0.96      |

$\sigma_g^2$ : variância genética;  $\sigma_a^2$ : variância genética aditiva;  $\sigma_s^2$ : variância entre populações;  $\sigma_e^2$ : variância residual;  $\sigma_f^2$ : variância fenotípica;  $h_a^2$ : herdabilidade em sentido restrito;  $c_{proc}^2$ : proporção da variância fenotípica explicada pela variância entre populações; M: média geral.

A herdabilidade em sentido restrito ( $h^2_a$ ) dos ácidos graxos e do teor de carotenoides variou de 0.53 a 1.00, sendo todas de alta magnitude (Tabela 2). Segundo Resende et al. (2002) as herdabilidades são consideradas de alta magnitude quando seu valor é superior à 0.5. Valores entre 0.15 e 0.50 são classificados como moderados e valores inferiores a 0.15 são considerados baixos. Dentre as variáveis de biometria de frutos, o diâmetro longitudinal e a massa seca de polpa (DL e MS Polpa) apresentaram herdabilidade alta e as demais variáveis, juntamente com teor de óleo (TO), apresentaram herdabilidade média (Tabela 3). Os valores de acurácia de seleção obtidos são considerados altos ( $>0.7$ ) para todas as variáveis avaliadas (Resende, 2002), variando de 0.94 a 0.97 (Tabelas 2 e 3).

Tabela 3. Estimativa de parâmetros genéticos das variáveis diâmetro transversal (DT) e longitudinal (DL) do fruto, massa seca (MS) de fruto, casca, polpa, endocarpo e amêndoa e teor de óleo (TO) na polpa.

| Parâmetros   | DT   | DL   | MS Fruto | MS Casca | MS Polpa | MS Endocarpo | MS Amêndoa | TO     |
|--------------|------|------|----------|----------|----------|--------------|------------|--------|
| $\sigma^2_g$ | 0.09 | 0.12 | 23.39    | 1.43     | 6.24     | 1.87         | 0.09       | 63.18  |
| $\sigma^2_a$ | 0.16 | 0.22 | 41.98    | 2.57     | 11.19    | 3.35         | 0.16       | 113.37 |
| $\sigma^2_s$ | 0.20 | 0.14 | 39.47    | 2.40     | 7.49     | 2.97         | 0.12       | 155.08 |
| $\sigma^2_e$ | 0.08 | 0.11 | 24.06    | 1.53     | 7.67     | 1.99         | 0.21       | 62.63  |
| $\sigma^2_f$ | 0.37 | 0.38 | 86.93    | 5.36     | 21.40    | 6.83         | 0.42       | 280.89 |
| $h^2_a$      | 0.43 | 0.59 | 0.48     | 0.48     | 0.52     | 0.49         | 0.39       | 0.40   |
| $c^2_{proc}$ | 0.54 | 0.38 | 0.45     | 0.45     | 0.35     | 0.43         | 0.29       | 0.55   |
| M            | 4.12 | 4.21 | 21.95    | 4.55     | 8.48     | 7.33         | 1.58       | 37.45  |
| Acurácia     | 0.96 | 0.96 | 0.96     | 0.96     | 0.96     | 0.96         | 0.94       | 0.96   |

$\sigma^2_g$ : variância genética;  $\sigma^2_a$ : variância genética aditiva;  $\sigma^2_s$ : variância entre populações;  $\sigma^2_e$ : variância residual;  $\sigma^2_f$ : variância fenotípica;  $h^2_a$ : herdabilidade em sentido restrito;  $c^2_{proc}$ : proporção da variância fenotípica explicada pela variância entre populações; M: média geral.

A seleção dos dez melhores indivíduos para cada variável avaliada é apresentada nas tabelas 4 e 5. O ganho genético percentual para as variáveis de perfil de ácidos graxos foi de 101.90% para ácido palmítico, 173.02% para ácido palmitoleico, 199.00% para ácido esteárico, 29.33% para ácido oleico, 106.76% para ácido linoleico, 100.82% para ácido linolênico, 85.66% para AGS, 32.79% para AGMI, 101.25% para AGPI e para teor de carotenoides no óleo da polpa o ganho foi de 304.78% (Tabela 4). Dentre os indivíduos selecionados para teor de carotenoides destaca-se que todos são procedentes da população 1, mais especificamente do estado de Mato Grosso do Sul (BGP92 a BGP120).

O ganho genético percentual para as variáveis de biometria de frutos foi de 24.16% para DT, 26.48% para DL, 83.60% para MS Fruto, 96.69% para MS Casca, 111.48% para MS Polpa,

66.42% para MS Endocarpo, 57.68% para MS Amêndoa e para TO o ganho foi de 72.39% (Tabela 5). Alguns genótipos destacam-se por estarem entre os dez melhores selecionados para várias características de biometria de frutos (BGP99-3, BGP69-1, BGP37-9, BGP64-9, BGP43-4, BGP37-7).

As correlações genéticas (Tabela 6) foram classificadas como baixas (0 a 0.39), médias (0.4 a 0.69) e altas (0.7 a 1). Entre os ácidos graxos destacam-se as correlações altas positivas entre ácido palmítico e AGS (0.98), ácido oleico e AGMI (0.95) e ácido linoleico e AGPI (1.00). Por outro lado, observa-se alta correlação negativa entre AGS e AGMI (-0.84) e AGMI e AGPI (-0.79). De forma geral, todas as correlações entre as variáveis de biometria de frutos foram altas. As únicas exceções foram as correlações entre MS de amêndoa e as demais variáveis de biometria. Para a variável teor de óleo destaca-se a correlação média negativa com teor de carotenoides (-0.51).

Tabela 4. Ganhos individuais para os dez melhores indivíduos para as variáveis ácido palmítico, palmitoleico, esteárico, oleico, linoleico, linolênico, ácido graxo saturado (AGS), ácido graxo monoinsaturado (AGMI), ácido graxo poliinsaturado (AGPI) e teor de carotenoides.

| Palmítico |        |       |       |       |       |            | Palmitoleico |        |       |       |       |       |            |
|-----------|--------|-------|-------|-------|-------|------------|--------------|--------|-------|-------|-------|-------|------------|
| Acesso    | Planta | f     | a     | u+a   | Ganho | Nova média | Acesso       | Planta | f     | a     | u+a   | Ganho | Nova média |
| BGP83     | 1      | 34.23 | 19.67 | 36.26 | 19.80 | 36.39      | BGP119       | 4      | 17.69 | 10.48 | 14.71 | 10.49 | 14.72      |
| BGP70     | 8      | 32.41 | 17.91 | 34.50 | 18.96 | 35.55      | BGP120       | 3      | 17.50 | 9.70  | 13.93 | 10.16 | 14.39      |
| BGP37     | 9      | 29.69 | 17.32 | 33.91 | 18.40 | 34.99      | BGP37        | 7      | 14.96 | 8.54  | 12.77 | 9.68  | 13.91      |
| BGP33     | 5      | 31.03 | 17.24 | 33.83 | 18.02 | 34.61      | BGP37        | 9      | 14.16 | 8.04  | 12.26 | 9.27  | 13.50      |
| BGP43     | 6      | 31.65 | 17.27 | 33.87 | 18.00 | 34.60      | BGP119       | 3      | 13.08 | 7.58  | 11.80 | 8.94  | 13.17      |
| BGP70     | 1      | 31.78 | 17.01 | 33.60 | 17.77 | 34.36      | BGP119       | 1      | 10.53 | 5.96  | 10.19 | 8.40  | 12.63      |
| BGP36     | 3      | 29.58 | 16.68 | 33.27 | 17.56 | 34.16      | BGP8         | 2      | 12.53 | 5.94  | 10.17 | 8.21  | 12.44      |
| BGP15     | 1      | 30.74 | 16.63 | 33.22 | 17.56 | 34.15      | BGP12        | 5      | 12.79 | 5.86  | 10.09 | 7.83  | 12.05      |
| BGP70     | 9      | 30.33 | 14.94 | 31.54 | 17.25 | 33.85      | BGP94        | 1      | 10.40 | 5.29  | 9.51  | 7.55  | 11.78      |
| BGP53     | 2      | 28.87 | 13.58 | 30.17 | 16.91 | 33.51      | BGP9         | 3      | 10.70 | 5.23  | 9.46  | 7.31  | 11.54      |
| Esteárico |        |       |       |       |       |            | Oleico       |        |       |       |       |       |            |
| Acesso    | Planta | f     | a     | u+a   | Ganho | Nova média | Acesso       | Planta | f     | a     | u+a   | Ganho | Nova média |
| BGP35     | 2      | 8.02  | 7.17  | 9.18  | 7.17  | 9.18       | BGP50        | 5      | 86.17 | 22.72 | 86.88 | 22.73 | 86.89      |
| BGP100    | 2      | 5.75  | 4.92  | 6.93  | 6.23  | 8.24       | BGP102       | 4      | 86.07 | 22.56 | 86.72 | 22.69 | 86.85      |
| BGP119    | 4      | 5.20  | 4.39  | 6.40  | 5.61  | 7.62       | BGP37        | 2      | 82.50 | 20.96 | 85.12 | 22.20 | 86.35      |
| BGP26     | 5      | 4.75  | 3.81  | 5.82  | 5.16  | 7.17       | BGP26        | 8      | 81.97 | 19.34 | 83.50 | 21.54 | 85.70      |
| BGP99     | 1      | 4.89  | 3.79  | 5.80  | 4.87  | 6.88       | BGP106       | 3      | 81.83 | 18.08 | 82.24 | 20.88 | 85.04      |
| BGP94     | 1      | 5.36  | 3.66  | 5.67  | 4.67  | 6.68       | BGP120       | 2      | 81.15 | 17.62 | 81.78 | 20.33 | 84.49      |
| BGP4      | 4      | 4.99  | 3.22  | 5.23  | 4.47  | 6.48       | BGP94        | 1      | 81.08 | 17.25 | 81.41 | 19.89 | 84.05      |
| BGP38     | 5      | 4.29  | 3.02  | 5.03  | 4.29  | 6.30       | BGP50        | 10     | 81.10 | 17.15 | 81.31 | 19.54 | 83.70      |
| BGP4      | 5      | 4.78  | 2.90  | 4.92  | 4.13  | 6.14       | BGP119       | 2      | 79.41 | 16.07 | 80.23 | 19.17 | 83.33      |
| BGP52     | 4      | 4.15  | 2.82  | 4.83  | 4.00  | 6.01       | BGP20        | 4      | 78.82 | 15.58 | 79.74 | 18.82 | 82.98      |
| Linoleico |        |       |       |       |       |            | Linolênico   |        |       |       |       |       |            |

| Acesso | Planta | f     | a     | u+a   | Ganho | Nova média | Acesso       | Planta | f       | a       | u+a     | Ganho   | Nova média |
|--------|--------|-------|-------|-------|-------|------------|--------------|--------|---------|---------|---------|---------|------------|
| BGP104 | 1      | 26.43 | 18.91 | 30.82 | 18.92 | 30.83      | BGP104       | 1      | 4.80    | 2.49    | 3.61    | 2.50    | 3.62       |
| BGP114 | 1      | 24.94 | 15.32 | 27.23 | 17.44 | 29.35      | BGP105       | 4      | 3.42    | 1.95    | 3.07    | 2.27    | 3.39       |
| BGP101 | 3      | 24.28 | 14.09 | 26.00 | 16.32 | 28.23      | BGP105       | 2      | 3.10    | 1.77    | 2.88    | 2.10    | 3.22       |
| BGP15  | 3      | 22.35 | 13.14 | 25.05 | 15.53 | 27.44      | BGP105       | 3      | 2.05    | 1.15    | 2.27    | 1.89    | 3.01       |
| BGP70  | 1      | 22.04 | 12.72 | 24.63 | 14.96 | 26.87      | BGP114       | 1      | 2.07    | 0.79    | 1.91    | 1.68    | 2.80       |
| BGP67  | 9      | 23.33 | 12.26 | 24.17 | 14.51 | 26.42      | BGP101       | 3      | 1.96    | 0.72    | 1.84    | 1.51    | 2.63       |
| BGP14  | 1      | 21.47 | 10.24 | 22.15 | 13.95 | 25.86      | BGP101       | 1      | 1.93    | 0.70    | 1.82    | 1.39    | 2.51       |
| BGP101 | 1      | 21.42 | 10.13 | 22.04 | 13.46 | 25.37      | BGP106       | 1      | 1.97    | 0.56    | 1.68    | 1.29    | 2.41       |
| BGP7   | 5      | 19.79 | 9.86  | 21.77 | 13.05 | 24.96      | BGP104       | 3      | 1.42    | 0.51    | 1.63    | 1.20    | 2.32       |
| BGP88  | 1      | 19.85 | 9.73  | 21.64 | 12.72 | 24.63      | BGP114       | 2      | 1.52    | 0.47    | 1.59    | 1.13    | 2.25       |
| AGS    |        |       |       |       |       |            | AGMI         |        |         |         |         |         |            |
| Acesso | Planta | f     | a     | u+a   | Ganho | Nova média | Acesso       | Planta | f       | a       | u+a     | Ganho   | Nova média |
| BGP83  | 1      | 36.42 | 19.61 | 38.20 | 19.71 | 38.30      | BGP37        | 2      | 83.51   | 26.65   | 94.69   | 26.68   | 94.71      |
| BGP70  | 1      | 33.77 | 16.81 | 35.39 | 18.45 | 37.04      | BGP94        | 1      | 91.47   | 25.81   | 93.84   | 26.25   | 94.29      |
| BGP43  | 6      | 33.31 | 16.62 | 35.21 | 17.79 | 36.38      | BGP119       | 1      | 89.08   | 25.84   | 93.87   | 26.22   | 94.26      |
| BGP70  | 8      | 33.30 | 16.17 | 34.76 | 17.33 | 35.92      | BGP102       | 4      | 88.23   | 24.34   | 92.37   | 25.77   | 93.81      |
| BGP33  | 5      | 32.54 | 16.11 | 34.70 | 17.19 | 35.78      | BGP26        | 8      | 82.63   | 23.22   | 91.26   | 25.28   | 93.32      |
| BGP15  | 1      | 32.04 | 15.44 | 34.02 | 16.86 | 35.44      | BGP120       | 3      | 88.12   | 22.94   | 90.97   | 24.81   | 92.85      |
| BGP37  | 9      | 30.39 | 15.21 | 33.79 | 16.62 | 35.21      | BGP50        | 5      | 87.00   | 22.93   | 90.96   | 24.67   | 92.70      |
| BGP36  | 3      | 30.62 | 14.91 | 33.49 | 16.41 | 35.00      | BGP106       | 3      | 82.81   | 17.10   | 85.14   | 23.82   | 91.86      |
| BGP70  | 9      | 31.86 | 14.24 | 32.83 | 16.18 | 34.77      | BGP20        | 4      | 80.34   | 16.51   | 84.55   | 23.00   | 91.04      |
| BGP33  | 6      | 30.56 | 13.45 | 32.04 | 15.92 | 34.51      | BGP50        | 10     | 82.78   | 16.14   | 84.17   | 22.31   | 90.34      |
| AGPI   |        |       |       |       |       |            | Carotenoides |        |         |         |         |         |            |
| Acesso | Planta | f     | a     | u+a   | Ganho | Nova média | Acesso       | Planta | f       | a       | u+a     | Ganho   | Nova média |
| BGP104 | 1      | 31.23 | 22.89 | 35.98 | 22.89 | 35.98      | BGP104       | 1      | 2595.12 | 2480.38 | 2797.51 | 2530.42 | 2847.56    |
| BGP114 | 1      | 27.00 | 16.03 | 29.11 | 20.05 | 33.14      | BGP105       | 2      | 1545.14 | 1297.35 | 1614.49 | 1989.33 | 2306.46    |

|        |   |       |       |       |       |       |        |   |         |         |         |         |         |
|--------|---|-------|-------|-------|-------|-------|--------|---|---------|---------|---------|---------|---------|
| BGP101 | 3 | 26.24 | 14.74 | 27.83 | 18.21 | 31.30 | BGP101 | 1 | 1434.07 | 1168.26 | 1485.40 | 1701.21 | 2018.34 |
| BGP15  | 3 | 23.50 | 12.85 | 25.94 | 16.90 | 29.99 | BGP105 | 4 | 1132.17 | 825.04  | 1142.18 | 1489.10 | 1806.24 |
| BGP70  | 1 | 22.94 | 12.10 | 25.18 | 15.93 | 29.01 | BGP101 | 3 | 1005.84 | 678.50  | 995.64  | 1273.77 | 1590.91 |
| BGP67  | 9 | 24.32 | 11.99 | 25.08 | 15.24 | 28.33 | BGP100 | 1 | 891.03  | 612.10  | 929.23  | 1128.90 | 1446.03 |
| BGP101 | 1 | 23.35 | 10.89 | 23.97 | 14.64 | 27.72 | BGP101 | 2 | 959.17  | 625.13  | 942.27  | 1125.50 | 1442.64 |
| BGP88  | 1 | 21.47 | 10.11 | 23.19 | 14.08 | 27.16 | BGP114 | 1 | 892.05  | 608.38  | 925.51  | 1094.44 | 1411.57 |
| BGP14  | 1 | 22.54 | 10.08 | 23.16 | 13.62 | 26.71 | BGP104 | 3 | 952.78  | 602.07  | 919.20  | 1090.86 | 1408.00 |
| BGP7   | 5 | 21.18 | 9.96  | 23.04 | 13.25 | 26.33 | BGP92  | 3 | 815.08  | 533.91  | 851.04  | 966.56  | 1283.69 |

f: valor fenotípico observado; a: efeito aditivo; u + a: valor genético aditivo.



Tabela 5. Ganhos individuais para os dez melhores indivíduos para as variáveis diâmetro transversal (DT) e longitudinal (DL) do fruto, massa seca (MS) de fruto, casca, polpa, endocarpo e amêndoa e teor de óleo (TO) na polpa.

| DT       |        |       |       |       |       |            | DL           |        |       |      |       |       |            |
|----------|--------|-------|-------|-------|-------|------------|--------------|--------|-------|------|-------|-------|------------|
| Acesso   | Planta | f     | a     | u+a   | Ganho | Nova média | Acesso       | Planta | f     | a    | u+a   | Ganho | Nova média |
| BGP99    | 3      | 5.48  | 1.27  | 5.38  | 1.31  | 5.43       | BGP43        | 4      | 5.74  | 1.45 | 5.66  | 1.55  | 5.76       |
| BGP69    | 1      | 5.31  | 1.09  | 5.21  | 1.19  | 5.30       | BGP99        | 3      | 5.74  | 1.46 | 5.67  | 1.54  | 5.74       |
| BGP37    | 9      | 5.25  | 1.08  | 5.20  | 1.18  | 5.29       | BGP8         | 7      | 5.66  | 1.38 | 5.58  | 1.50  | 5.70       |
| BGP64    | 9      | 5.25  | 1.07  | 5.19  | 1.17  | 5.29       | BGP12        | 1      | 5.57  | 1.28 | 5.49  | 1.47  | 5.68       |
| BGP8     | 7      | 5.26  | 1.07  | 5.19  | 1.17  | 5.29       | BGP37        | 7      | 5.53  | 1.27 | 5.48  | 1.41  | 5.62       |
| BGP43    | 4      | 5.23  | 1.06  | 5.18  | 1.17  | 5.28       | BGP37        | 9      | 5.24  | 1.02 | 5.23  | 1.32  | 5.52       |
| BGP70    | 9      | 5.19  | 0.98  | 5.09  | 1.11  | 5.23       | BGP69        | 1      | 5.24  | 0.97 | 5.18  | 1.27  | 5.48       |
| BGP37    | 7      | 4.99  | 0.86  | 4.98  | 1.02  | 5.14       | BGP74        | 10     | 5.27  | 0.97 | 5.18  | 1.25  | 5.46       |
| BGP26    | 10     | 5.03  | 0.85  | 4.97  | 1.02  | 5.14       | BGP53        | 3      | 5.21  | 0.92 | 5.12  | 1.21  | 5.42       |
| BGP53    | 3      | 5.04  | 0.83  | 4.95  | 0.99  | 5.11       | BGP70        | 9      | 5.11  | 0.84 | 5.05  | 1.11  | 5.32       |
| MS Fruto |        |       |       |       |       |            | MS Casca     |        |       |      |       |       |            |
| Acesso   | Planta | f     | a     | u+a   | Ganho | Nova média | Acesso       | Planta | f     | a    | u+a   | Ganho | Nova média |
| BGP99    | 3      | 47.17 | 22.29 | 44.25 | 23.59 | 45.54      | BGP37        | 7      | 11.50 | 6.34 | 10.88 | 6.94  | 11.49      |
| BGP64    | 9      | 46.50 | 21.97 | 43.92 | 23.29 | 45.24      | BGP37        | 9      | 10.27 | 5.41 | 9.96  | 6.11  | 10.66      |
| BGP37    | 9      | 42.93 | 19.86 | 41.82 | 22.28 | 44.23      | BGP26        | 7      | 9.83  | 4.67 | 9.22  | 5.47  | 10.02      |
| BGP43    | 4      | 42.00 | 18.39 | 40.34 | 20.98 | 42.93      | BGP8         | 7      | 9.73  | 4.54 | 9.09  | 5.36  | 9.91       |
| BGP37    | 7      | 40.80 | 18.22 | 40.17 | 20.74 | 42.69      | BGP64        | 9      | 9.77  | 4.54 | 9.09  | 5.33  | 9.88       |
| BGP64    | 7      | 40.77 | 17.54 | 39.49 | 20.53 | 42.49      | BGP99        | 3      | 9.37  | 4.26 | 8.81  | 5.14  | 9.69       |
| BGP70    | 9      | 41.97 | 16.57 | 38.53 | 19.74 | 41.69      | BGP8         | 2      | 9.00  | 3.99 | 8.54  | 4.91  | 9.45       |
| BGP69    | 1      | 40.40 | 16.27 | 38.23 | 19.52 | 41.47      | BGP64        | 7      | 8.90  | 3.89 | 8.44  | 4.84  | 9.39       |
| BGP12    | 1      | 38.50 | 15.07 | 37.03 | 18.78 | 40.74      | BGP69        | 1      | 8.67  | 3.59 | 8.14  | 4.64  | 9.19       |
| BGP69    | 6      | 38.20 | 14.57 | 36.53 | 18.35 | 40.30      | BGP69        | 6      | 8.37  | 3.37 | 7.92  | 4.40  | 8.95       |
| MS Polpa |        |       |       |       |       |            | MS Endocarpo |        |       |      |       |       |            |
| Acesso   | Planta | f     | a     | u+a   | Ganho | Nova média | Acesso       | Planta | f     | a    | u+a   | Ganho | Nova média |

| BGP99      | 3      | 23.77 | 12.32 | 20.81 | 12.83 | 21.32      | BGP69  | 6      | 14.03 | 5.90  | 13.22 | 6.56  | 13.88      |
|------------|--------|-------|-------|-------|-------|------------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|------------|
| BGP64      | 9      | 22.00 | 11.18 | 19.66 | 12.11 | 20.60      | BGP43  | 4      | 13.40 | 5.40  | 12.73 | 6.34  | 13.67      |
| BGP64      | 7      | 18.90 | 9.17  | 17.66 | 10.74 | 19.22      | BGP12  | 9      | 13.03 | 5.15  | 12.47 | 5.94  | 13.26      |
| BGP43      | 3      | 18.33 | 9.03  | 17.51 | 10.55 | 19.03      | BGP67  | 9      | 12.43 | 4.87  | 12.19 | 5.63  | 12.96      |
| BGP37      | 9      | 17.90 | 8.79  | 17.27 | 10.39 | 18.87      | BGP12  | 8      | 12.67 | 4.87  | 12.20 | 5.60  | 12.93      |
| BGP70      | 9      | 20.40 | 8.48  | 16.97 | 10.20 | 18.68      | BGP37  | 9      | 12.53 | 4.77  | 12.09 | 5.47  | 12.79      |
| BGP37      | 2      | 16.57 | 7.93  | 16.41 | 9.81  | 18.29      | BGP69  | 1      | 12.10 | 4.46  | 11.79 | 5.26  | 12.59      |
| BGP37      | 7      | 16.37 | 7.80  | 16.28 | 9.78  | 18.26      | BGP64  | 9      | 12.10 | 4.33  | 11.66 | 5.15  | 12.48      |
| BGP43      | 4      | 18.93 | 9.42  | 17.90 | 10.76 | 19.25      | BGP4   | 4      | 11.89 | 4.03  | 11.36 | 4.96  | 12.28      |
| BGP64      | 8      | 16.10 | 7.37  | 15.85 | 9.46  | 17.94      | BGP12  | 1      | 11.40 | 3.93  | 11.26 | 4.87  | 12.19      |
| MS Amêndoa |        |       |       |       |       |            | TO     |        |       |       |       |       |            |
| Acesso     | Planta | f     | a     | u+a   | Ganho | Nova média | Acesso | Planta | f     | a     | u+a   | Ganho | Nova média |
| BGP69      | 6      | 3.63  | 1.35  | 2.93  | 1.52  | 3.10       | BGP64  | 9      | 68.33 | 29.96 | 67.41 | 30.80 | 68.25      |
| BGP69      | 1      | 3.23  | 1.21  | 2.79  | 1.44  | 3.02       | BGP64  | 7      | 65.07 | 27.34 | 64.79 | 29.11 | 66.56      |
| BGP67      | 9      | 2.73  | 0.89  | 2.47  | 1.16  | 2.73       | BGP35  | 1      | 66.21 | 26.78 | 64.23 | 28.94 | 66.39      |
| BGP69      | 3      | 2.37  | 0.90  | 2.48  | 1.12  | 2.69       | BGP50  | 3      | 65.69 | 26.77 | 64.22 | 28.40 | 65.85      |
| BGP69      | 7      | 2.30  | 0.88  | 2.46  | 1.11  | 2.69       | BGP74  | 9      | 65.85 | 26.67 | 64.12 | 28.34 | 65.79      |
| BGP69      | 2      | 2.17  | 0.83  | 2.41  | 1.05  | 2.62       | BGP67  | 9      | 63.24 | 25.19 | 62.64 | 28.22 | 65.67      |
| BGP69      | 5      | 2.13  | 0.82  | 2.40  | 1.03  | 2.60       | BGP64  | 8      | 63.56 | 26.13 | 63.58 | 28.12 | 65.57      |
| BGP52      | 4      | 2.70  | 0.78  | 2.36  | 0.98  | 2.55       | BGP14  | 1      | 63.96 | 25.88 | 63.33 | 27.93 | 65.38      |
| BGP64      | 9      | 2.63  | 0.78  | 2.35  | 0.96  | 2.53       | BGP37  | 2      | 65.23 | 25.64 | 63.09 | 27.52 | 64.98      |
| BGP81      | 1      | 2.70  | 0.72  | 2.29  | 0.91  | 2.49       | BGP26  | 8      | 63.73 | 24.68 | 62.13 | 27.11 | 64.56      |

f: valor fenotípico observado; a: efeito aditivo; u + a: valor genético aditivo.

Tabela 6. Correlações genéticas entre variáveis de perfil de ácidos graxos, teor de carotenoides (carot), biometria de frutos e teor de óleo calculadas a partir de 45 acessos de macaúba.

|                 | C16:1 | C18:0 | C18:1  | C18:2  | C18:3  | AGS    | AGMI   | AGPI   | Carot  | DT    | DL    | MS<br>fruto | MS<br>casca | MS<br>polpa | MS<br>endoc | MS<br>amen | TO     |
|-----------------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|--------|
| <b>C16:0</b>    | 0.09  | -0.16 | -0.85* | 0.39*  | 0.22   | 0.98*  | -0.86* | 0.39*  | 0.35*  | -0.10 | -0.08 | -0.11       | -0.18       | -0.12       | 0.00        | 0.02       | -0.31* |
| <b>C16:1</b>    |       | -0.03 | -0.32* | -0.03  | -0.01  | 0.09   | -0.02  | -0.02  | 0.01   | 0.08  | 0.02  | 0.11        | 0.04        | 0.13        | 0.13        | 0.01       | -0.39* |
| <b>C18:0</b>    |       |       | 0.13   | -0.27  | -0.37* | 0.05   | 0.14   | -0.28  | -0.25  | 0.17  | 0.11  | 0.16        | 0.18        | 0.04        | 0.25        | 0.28       | 0.30*  |
| <b>C18:1</b>    |       |       |        | -0.72* | -0.43* | -0.83* | 0.95*  | -0.72* | -0.51* | 0.00  | -0.03 | 0.06        | 0.11        | 0.11        | -0.08       | -0.04      | 0.32*  |
| <b>C18:2</b>    |       |       |        |        | 0.56*  | 0.33*  | -0.79* | 1.00*  | 0.52*  | 0.05  | 0.12  | -0.07       | -0.03       | -0.13       | 0.03        | -0.01      | 0.00   |
| <b>C18:3</b>    |       |       |        |        |        | 0.14   | -0.46* | 0.61*  | 0.75*  | -0.01 | 0.06  | -0.10       | -0.12       | -0.11       | -0.03       | -0.09      | -0.51* |
| <b>AGS</b>      |       |       |        |        |        |        | -0.84* | 0.33*  | 0.30*  | -0.07 | -0.06 | -0.08       | -0.15       | -0.11       | 0.05        | 0.09       | -0.25  |
| <b>AGMI</b>     |       |       |        |        |        |        |        | -0.79* | -0.53* | 0.03  | -0.02 | 0.10        | 0.12        | 0.15        | -0.04       | -0.03      | 0.20   |
| <b>AGPI</b>     |       |       |        |        |        |        |        |        | 0.55*  | 0.04  | 0.12  | -0.07       | -0.03       | -0.13       | 0.03        | -0.02      | -0.04  |
| <b>Carot</b>    |       |       |        |        |        |        |        |        |        | -0.10 | 0.08  | -0.18       | -0.22       | -0.18       | -0.07       | -0.15      | -0.51* |
| <b>DT</b>       |       |       |        |        |        |        |        |        |        |       | 0.88* | 0.94*       | 0.82*       | 0.84*       | 0.89*       | 0.57*      | 0.27   |
| <b>DL</b>       |       |       |        |        |        |        |        |        |        |       |       | 0.86*       | 0.78*       | 0.82*       | 0.74*       | 0.34*      | 0.25   |
| <b>MS fruto</b> |       |       |        |        |        |        |        |        |        |       |       |             | 0.88*       | 0.94*       | 0.87*       | 0.54*      | 0.29   |
| <b>MS casca</b> |       |       |        |        |        |        |        |        |        |       |       |             |             | 0.78*       | 0.68*       | 0.31*      | 0.38*  |
| <b>MS polpa</b> |       |       |        |        |        |        |        |        |        |       |       |             |             |             | 0.70*       | 0.36*      | 0.23   |
| <b>MS endoc</b> |       |       |        |        |        |        |        |        |        |       |       |             |             |             |             | 0.71*      | 0.23   |
| <b>MS amen</b>  |       |       |        |        |        |        |        |        |        |       |       |             |             |             |             |            | 0.23   |

\* Significativo a 5% de probabilidade pelo teste t

### Produtividade de frutos

O modelo de regressão aleatória com polinômio de Legendre de grau 2 e variâncias residuais heterogêneas foi o melhor pelo AIC (Tabela suplementar 1). Assim, esse modelo foi utilizado para estimar os componentes de variância e prever os valores genéticos ao longo dos anos.

A variância genética não foi constante ao longo dos anos (Tabela 7). A estimativa teve redução constante do sexto (34.72) até o oitavo ano (10.65) e, em seguida, um aumento constante do oitavo até o décimo ano (30.26). A herdabilidade em sentido restrito apresentou a mesma tendência de variação, reduzindo de 0.4912 no sexto ano para 0.0293 no oitavo e, em seguida, aumentando constantemente até 0.4284 no décimo ano. A análise de correlação (Tabela 7) demonstra altas correlações positivas entre idades subsequentes e alta correlação negativa entre a idade inicial (6 anos) e final (10 anos).

Tabela 7. Estimativa da variância genética (diagonal), correlação genética (triângulo superior), covariância (triângulo inferior) e herdabilidade em sentido restrito ( $h^2_a$ ) para a variável produtividade de frutos de 175 genótipos de macaúba entre o sexto e décimo ano de vida.

| Idade | Idade  |       |       |       |       | $h^2_a$ |
|-------|--------|-------|-------|-------|-------|---------|
|       | 6      | 7     | 8     | 9     | 10    |         |
| 6     | 34.72  | 0.87  | 0.28  | -0.38 | -0.71 | 0.4912  |
| 7     | 19.95  | 15.00 | 0.71  | 0.12  | -0.3  | 0.0528  |
| 8     | 5.37   | 8.97  | 10.65 | 0.78  | 0.46  | 0.0293  |
| 9     | -8.99  | 1.87  | 10.39 | 16.56 | 0.91  | 0.0683  |
| 10    | -23.16 | -6.32 | 8.20  | 20.39 | 30.26 | 0.4284  |

Os genótipos apresentaram uma trajetória não-linear para o valor genotípico ao longo dos anos-safra (Figura 1), demonstrando a presença de plasticidade genotípica. Na figura 1 são apresentados os 10 genótipos que apresentaram melhor desempenho baseado na área abaixo da curva (AUC), para representar a não-linearidade das trajetórias. Nos anos 6 e 10 existe maior distância entre os valores genotípicos, permitindo melhor distinção dos indivíduos. Já no ano 8, os valores genotípicos são muito próximos, o que dificulta a distinção entre eles. Esse resultado é reflexo da variância genética mais alta nos anos 6 e 10 e mais baixa no ano 8 (Tabela 7).

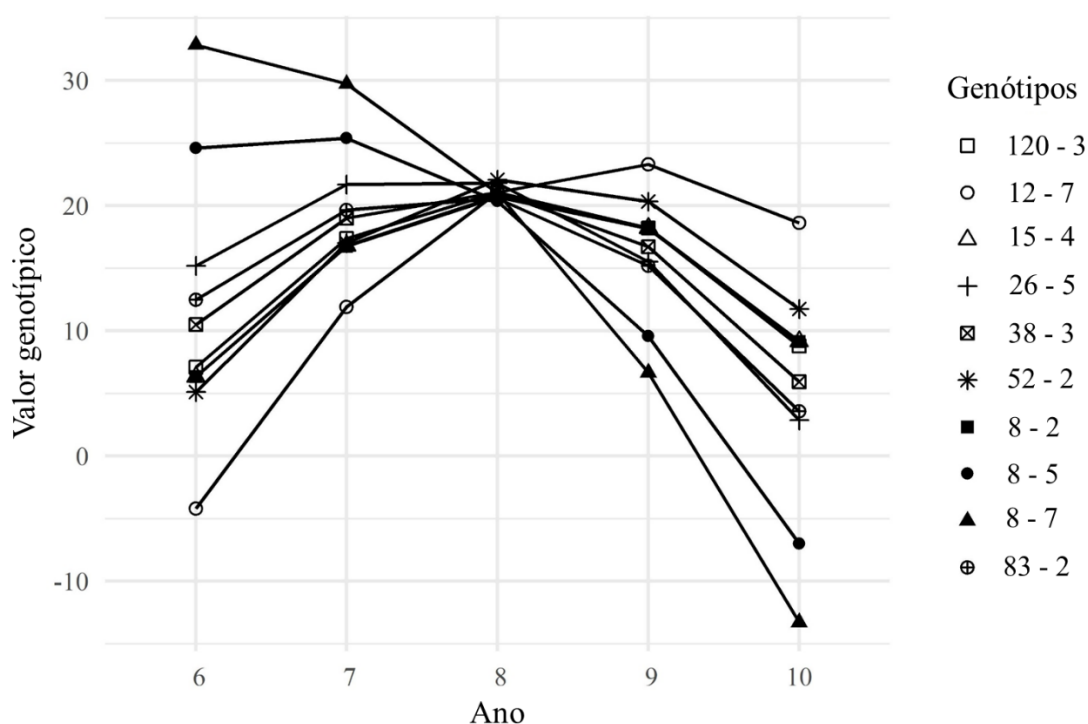


Figura 1. Trajetória do valor genotípico para o caráter produtividade de frutos do sexto ao décimo ano de vida dos 10 melhores genótipos de macaúba selecionados de acordo com a área abaixo da curva. O código de identificação dos genótipos é representado por: número do acesso – número da planta.

A área abaixo da curva (AUC) foi calculada, permitindo a identificação do valor genotípico de cada planta considerando todos os anos avaliados. Os genótipos foram ranqueados do maior valor de AUC (52.61) para o menor (-9.40), e os 10 melhores indivíduos são apresentados na tabela 8. Dentre eles, destaca-se o acesso BGP8, com três plantas entre as dez mais produtivas. O ranque completo dos genótipos é apresentado no material suplementar (Tabela suplementar 2).

Tabela 8. Classificação dos 10 genótipos com melhor desempenho geral para o caráter produtividade de frutos de acordo com a área abaixo da curva (AUC) entre o sexto e décimo ano de vida.

| Ranque | Acesso | Planta | AUC   |
|--------|--------|--------|-------|
| 1      | BGP26  | 5      | 52.61 |
| 2      | BGP52  | 2      | 51.98 |
| 3      | BGP8   | 7      | 50.68 |
| 4      | BGP38  | 3      | 44.96 |
| 5      | BGP120 | 3      | 43.89 |

|    |       |   |       |
|----|-------|---|-------|
| 6  | BGP8  | 5 | 42.95 |
| 7  | BGP15 | 4 | 41.28 |
| 8  | BGP83 | 2 | 41.19 |
| 9  | BGP12 | 7 | 41.05 |
| 10 | BGP8  | 2 | 40.74 |

### Índice de seleção

A seleção dos vinte melhores genótipos permitiu ganho médio de 32.52% na próxima geração (Tabela 9). Entre eles destaca-se o acesso BGP8, com cinco genótipos selecionados, e os acessos BGP12, BGP64 e BGP37, cada um com três genótipos selecionados.

Tabela 9. Classificação dos 20 melhores genótipos de acordo com o índice de ranque-médio (Mulamba e Mock, 1978) em relação às variáveis diâmetro transversal (DT) e longitudinal (DL) do fruto, massa seca (MS) de fruto e polpa, teor de óleo (TO) na polpa e produtividade de frutos com base em AUC (Produção).

| Ordem   | Acesso | Planta | DT    | DL    | MS<br>Fruto | MS<br>Polpa | TO    | Produção | Ranque-<br>médio |
|---------|--------|--------|-------|-------|-------------|-------------|-------|----------|------------------|
| 1       | BGP12  | 1      | 13    | 4     | 9           | 11          | 34    | 23       | 15.67            |
| 2       | BGP64  | 7      | 12    | 16    | 6           | 4           | 2     | 68       | 18.00            |
| 3       | BGP64  | 9      | 5     | 10    | 2           | 2           | 1     | 97       | 19.50            |
| 4       | BGP64  | 8      | 26    | 34    | 16          | 10          | 6     | 33       | 20.83            |
| 5       | BGP8   | 7      | 4     | 3     | 11          | 20          | 92    | 3        | 22.17            |
| 6       | BGP8   | 4      | 29    | 15    | 21          | 23          | 41    | 12       | 23.50            |
| 7       | BGP26  | 10     | 9     | 11    | 13          | 12          | 63    | 64       | 28.67            |
| 8       | BGP12  | 8      | 22    | 31    | 15          | 18          | 69    | 21       | 29.33            |
| 9       | BGP36  | 3      | 28    | 32    | 39          | 30          | 24    | 31       | 30.67            |
| 10      | BGP37  | 2      | 33    | 27    | 14          | 8           | 8     | 95       | 30.83            |
| 11      | BGP67  | 9      | 11    | 26    | 19          | 34          | 11    | 87       | 31.33            |
| 12      | BGP12  | 5      | 48    | 54    | 25          | 22          | 37    | 20       | 34.33            |
| 13      | BGP43  | 4      | 6     | 2     | 4           | 3           | 110   | 84       | 34.83            |
| 14      | BGP8   | 6      | 19    | 17    | 32          | 49          | 71    | 26       | 35.67            |
| 15      | BGP69  | 1      | 2     | 8     | 8           | 13          | 43    | 140      | 35.67            |
| 16      | BGP8   | 5      | 17    | 14    | 38          | 60          | 85    | 6        | 36.67            |
| 17      | BGP37  | 7      | 8     | 5     | 5           | 9           | 39    | 161      | 37.83            |
| 18      | BGP99  | 3      | 1     | 1     | 1           | 1           | 134   | 90       | 38.00            |
| 19      | BGP8   | 1      | 35    | 24    | 26          | 26          | 65    | 58       | 39.00            |
| 20      | BGP37  | 9      | 3     | 6     | 3           | 6           | 97    | 124      | 39.83            |
| Ganho % |        |        | 15.93 | 17.29 | 48.77       | 62.15       | 20.62 | 30.37    | 32.52            |

## DISCUSSÃO

Os programas de melhoramento de plantas perenes devem ser realizados o mais rigorosamente possível, pois além de caros, envolvem longos ciclos, tornando a seleção de genótipos superiores um trabalho oneroso (Coser et al., 2016). Por esse motivo, a estimativa de parâmetros genéticos é fundamental para o delineamento de estratégias de melhoramento eficientes (Resende, 2006).

A procedência de plantas-matrizes afeta de sobremaneira as características morfo-biométricas do fruto da macaúba; contudo, frutos de uma mesma matriz apresentam forte similaridade, i.e., elevado coeficiente de repetibilidade (Castro et al., 2017). Considerando esse aspecto, análises que permitem estimar a interação entre variações genotípica e fenotípica são cruciais para o desenvolvimento de cultivares-élite. A herdabilidade é o parâmetro genético mais importante em programas de melhoramento de plantas (Corrêa et al., 2015). A herdabilidade no sentido restrito mede quanto da variância fenotípica pode ser atribuída à variância genética aditiva, que está associada aos efeitos alélicos que são transmitidos para a próxima geração (Coser et al., 2016). As herdabilidades encontradas para os ácidos graxos, teor de carotenoides, diâmetro longitudinal do fruto e massa seca de polpa foram todas de alta magnitude enquanto as demais variáveis de biometria de frutos e teor de óleo apresentaram herdabilidade média. Os valores observados para MS de casca, polpa, endocarpo e amêndoa foram superiores aos encontrados por Costa et al. (2018) para as mesmas variáveis (0.43, 0.39, 0.46, 0.22, respectivamente), mas para teor de óleo o mesmo valor foi observado nos dois trabalhos (0.40). Segundo Resende (2002), a maioria dos caracteres quantitativos de importância econômica em plantas perenes possuem herdabilidades individuais em torno de 20%. Portanto, nossos resultados indicam que as variáveis avaliadas possuem controle genético satisfatório e grande potencial para serem transmitidas às próximas gerações.

Os valores de acurácia de seleção encontrados nesse estudo variaram de 0.94 a 0.97. A acurácia de seleção é um parâmetro genético que mede a correlação entre os valores genéticos preditos e reais e, quanto maior esse valor, mais confiável é a avaliação dos indivíduos (Coser et al., 2016). Segundo Resende (2007), acurácia igual ou superior a 0,7 é desejável nas fases inicial e intermediária de um programa de melhoramento, pois garante maior confiabilidade de seleção. Dessa forma, os valores encontrados nesse trabalho indicam que a seleção de genótipos superiores com base nas variáveis avaliadas será eficiente.

De acordo com nossas pesquisas na literatura disponível, detectamos que estudos genéticos visando a estimação de parâmetros genéticos e seleção de genótipos superiores baseado no perfil de ácidos graxos e teor de carotenoides do óleo da polpa de macaúba sejam

raros ou inexistentes. Em nosso estudo, observamos que a seleção individual permitiu a obtenção de ganhos significativos para todas as variáveis avaliadas. A seleção de genótipos com alto teor de ácidos graxos insaturados é uma característica interessante devido a seus efeitos nutracêuticos, principalmente ao sistema cardiovascular (Lunn e Theobald, 2006). Entretanto, a presença de ácidos graxos saturados no óleo é importante, pois, além de aumentar sua estabilidade oxidativa, o torna mais adequado à uma série de aplicações industriais (Alfaro-Solís et al., 2020; Souza et al., 2016).

Em nosso trabalho demonstramos a possibilidade de aumentar a média de ácidos graxos saturados para 34.51% (e consequentemente 65.49% de ácidos graxos insaturados) após um ciclo de seleção cruzando os dez melhores indivíduos para essa variável. Essa composição de ácidos graxos torna o perfil do óleo da macaúba similar ao do dendê (*Elais guineensis*). O dendê é uma das principais culturas oleaginosas do mundo, responsável por 40.78% da produção global de óleos vegetais (Statista, 2020). Seu óleo é composto aproximadamente por 50% de ácidos graxos saturados e 50% de ácidos graxos insaturados (Wahid et al., 2005). Dessa forma, com sucessivos ciclos de seleção para aumento do teor de ácidos graxos saturados, a macaúba pode se tornar uma alternativa de peso ao dendê no mercado de óleos vegetais mundial.

O teor de carotenoides foi a variável que apresentou maior variabilidade genética e maior porcentagem de ganho com a seleção (304.78%). O valor observado com base na média geral (317.13 µg/g) está de acordo com valores observados na literatura (Antoniassi et al., 2020; Coimbra e Jorge, 2011; Nunes et al., 2015; Trentini et al., 2016), entretanto, algumas plantas do estado do Mato Grosso do Sul (população 1) apresentaram teores nunca observados na literatura, alcançando mais de 2500 µg/g no genótipo BGP104-1. Essa característica é muito interessante para o melhoramento da macaúba pois os carotenoides são moléculas antioxidantes importantes que desempenham função preventiva contra uma série de doenças inflamatórias humanas, além de seu papel nutricional, podendo ser convertido em vitamina A (Coimbra e Jorge, 2011).

A seleção individual para biometria de frutos e teor de óleo permitiu obtenção de ganhos para todas as variáveis avaliadas. Observa-se que muitos genótipos se repetiram entre as variáveis de biometria de frutos. Esse resultado é um reflexo da alta correlação entre essas variáveis e demonstra que a seleção para um caráter irá gerar ganhos simultâneos para os demais. Na seleção de genótipos para a variável teor de óleo destaca-se o acesso BGP64, com três plantas entre as dez melhores, indicando a superioridade do acesso para esse caráter.

É possível perceber que a maioria das plantas selecionadas para biometria de frutos e teor de óleo são originárias do estado de Minas Gerais. Esse resultado está de acordo com os



relatos de Motoike et al. (2013) que mencionam que para a instalação de lavouras comerciais de macaúba com o objetivo de explorar sua característica oleífera deve-se optar por sementes de frutos provenientes de Minas Gerais, os quais apresentam excelente produtividade e qualidade. Da mesma forma, Resende et al (2020) em estudo de zoneamento agroecológico demonstrou que o potencial de produtividade da macaúba seria intensificado em área de ocorrência natural da espécie, especialmente as regiões central e sudeste de Minas Gerais.

As correlações genéticas entre os caracteres são informações importantes para programas de melhoramento, pois demonstram o grau de associação genética entre diferentes variáveis (Pires et al., 2011) e permitem a aplicação de seleção indireta quando uma variável de interesse possui correlação favorável com outra variável que é mais fácil de ser medida (Nascimento et al., 2014). Foram observadas altas correlações positivas entre ácido palmítico e AGS, ácido oleico e AGMI e ácido linoleico e AGPI. Elas ocorrem, pois, os ácidos palmítico, oleico e linoleico são os que ocorreram em maior proporção em AGS, AGMI e AGPI, respectivamente. As altas correlações negativas entre AGS e AGMI (-0.84) e AGMI e AGPI (-0.79), indicam que a seleção simultânea para esses caracteres é uma tarefa difícil.

Destacam-se também as altas correlações observadas entre as variáveis de biometria dos frutos. Simiqueli et al. (2018) e Costa et al. (2018) encontraram, respectivamente, altas e moderadas correlações entre as variáveis de matéria seca de casca, polpa, endocarpo e amêndoa de frutos da macaúba. A alta correlação pode indicar a presença de pleiotropia ou ligação gênica (Falconer, Mackay 1996), o que pode auxiliar na seleção simultânea de caracteres.

Observamos ainda a presença de correlação média negativa entre teor de óleo e teor de carotenoides. Resultado similar foi encontrado por Antoniassi et al. (2020), onde os autores relataram que os frutos que tinham maior teor de óleo na polpa apresentaram menor teor de carotenoides. Em nosso trabalho observamos que as plantas com maior teor de carotenoides são as do estado do Mato Grosso do Sul enquanto que as que possuem maior teor de óleo são, em sua maioria, do estado de Minas Gerais (Tabelas 4 e 5). Segundo Bemfeito et al. (2020) o teor de carotenoides nas plantas é grandemente influenciado por diversos fatores como a variedade/cultivar, a localização geográfica, o clima, a temperatura ambiente, as estações do ano e as condições de cultivo. Dessa forma, acreditamos que o teor de carotenoides nos frutos de macaúba seja influenciado por fatores genéticos e edafoclimáticos associados às plantas e suas diferentes procedências.

A produtividade de frutos foi avaliada ao longo de cinco safras, dos seis aos dez anos de idade das plantas. Essa abordagem foi utilizada a fim de garantir uma seleção mais precisa dos genótipos, uma vez que os dados históricos de produção do BAG-Macaúba revelam que as

plantas apresentam oscilação de produção ao longo dos anos. Logo, a seleção com base em apenas um ano poderia subestimar ou superestimar o potencial produtivo das plantas avaliadas.

O modelo de regressão aleatório utilizado se ajustou a variâncias residuais heterogêneas, indicando haver uma variância residual para cada safra, e os efeitos genéticos foram modelados pelo polinômio de Legendre de grau 2. Os modelos de regressão aleatória definem diretamente as funções de covariância e, uma vez que existam estimativas de componentes de variância confiáveis, eles permitem a previsão de valores genéticos de indivíduos avaliados em diferentes idades (e com diferentes números de idades avaliadas) e a projeção desses valores genéticos para uma idade comum, para fins de ordenação e seleção (Resende et al., 2001).

A variância genética e a herdabilidade em sentido restrito foram variáveis ao longo do tempo. O modelo de regressão aleatória se concentra principalmente na visualização de trajetórias e funções de covariância ao longo do tempo, logo, os componentes de variância e parâmetros genéticos podem variar ao longo das safras (Peixoto et al., 2020). A herdabilidade foi considerada moderada no sexto e décimo anos ( $0.15 < h^2 < 0.50$ ) e baixa ( $h^2 < 0.15$ ) entre o sétimo e nono anos (Resende, 2015). Variação similar na herdabilidade foi observada por Peixoto et al. (2020) ao avaliar a produtividade de *Jatropha curcas* ao longo do tempo.

As trajetórias genéticas apresentam o valor genético de cada planta ao longo do tempo, abrangendo as cinco safras avaliadas. Elas demonstram que os genótipos não são estáveis ao longo dos anos. O comportamento dos genótipos sugere que a macaúba pode apresentar variação cíclica de produção, como ocorre em outras espécies, a exemplo do café (Júnior et al., 2019). Entretanto é necessário mais tempo de avaliação dos genótipos para que se possa concluir a esse respeito. Além disso, as plantas perenes costumam apresentar grandes variações de produtividade nas safras iniciais, pois muitos genes expressos nesse período estão associados à formação de órgãos vegetativos (Iglesias et al., 2007).

A oscilação observada dos valores genotípicos é um obstáculo para a seleção de genótipos superiores, uma vez que o melhor genótipo em um ano nem sempre será o melhor no ano seguinte. Dessa forma, o ranqueamento dos genótipos foi feito com base na área abaixo da curva (AUC) das trajetórias genéticas. Dentre os dez melhores indivíduos selecionados, destaca-se que nove são originários do estado de Minas Gerais, sendo 3 pertencentes ao acesso BGP8, ressaltando a superioridade produtiva dos genótipos dessa região (Motoike et al., 2013).

O índice de seleção de ranque-médio (Mulanba e Mock, 1978) foi utilizado a fim de otimizar a seleção, uma vez que ele permite ganhos simultâneos para mais de uma variável no mesmo ciclo de seleção (Coser et al., 2016). As variáveis utilizadas foram teor de óleo e produtividade de frutos, que são as de importância primária para o melhoramento de macaúba,

e as variáveis diâmetro transversal e longitudinal de frutos e massa seca de fruto e de polpa. As quatro últimas são altamente correlacionadas entre si e com as demais variáveis de biometria de frutos e estão associadas à geração de coprodutos. A exploração dos coprodutos gerados da extração industrial do óleo de polpa de macaúba é aconselhável para estender a eficiência do processo de geração de energia, fornecer valor agregado e aumentar os lucros de produção (Alfaro-Solís et al., 2020).

As plantas selecionadas são, em sua maioria, originárias do estado de Minas Gerais, com exceção da planta BGP99-3. Entre elas destacam-se os acessos BGP8, BGP64, BGP12 e BGP37, cada um com três ou mais plantas selecionadas, sendo esses os que apresentam melhor performance para os caracteres de biometria de frutos combinado com teor de óleo e produtividade. Dessa forma eles são os mais adequados para a seleção.

## CONCLUSÃO

De acordo com nosso estudo é possível obter ganho de seleção para todas as variáveis avaliadas, tendo sido possível eleger as melhores plantas, que irão gerar ganhos para cada uma das características analisadas. Essas informações servirão de subsídio para programas de melhoramento de macaúba que atendam a diferentes setores do mercado.

O estado de Minas Gerais concentra as melhores plantas para os caracteres produtividade de frutos, teor de óleo e biometria de frutos, com destaque para os acessos BGP8 (plantas 1, 4, 5, 6, 7), BGP64 (plantas 7, 8, 9), BGP12 (plantas 1, 5, 8) e BGP37 (plantas 2, 7, 9). As melhores plantas para o caráter teor de carotenoides são oriundas do estado de Mato Grosso do Sul. Destacamos as plantas BGP104-1, BGP105-2, BGP101-1, BGP105-4 e BGP101-3. Para as variáveis de perfil de ácidos graxos não observamos relação entre as melhores plantas e uma origem geográfica específica. Considerando as evidências de que uma grande fração das progênes da mesma matriz são irmãos completos, recomendamos restringir o número de plantas da mesma família em cruzamentos futuros para conservar a variabilidade genética e reduzir a depressão por endogamia. Esta prática garantirá o sucesso do programa de melhoramento a longo prazo.

A variação do valor genotípico das plantas ao longo do tempo quanto à produtividade de frutos deve ser levada em conta na hora de se recomendar os genótipos a serem utilizados em plantios comerciais a fim de se garantir boa produtividade média em todas as safras.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Akaike, H., 1974. A new look at the statistical model identification. *IEEE T Automat Contr.* 19, 716-723.
- Alfaro-Solís, J. D., Montoya-Arroyo, A., Jiménez, V. M., Arnáez-Serrano, E., Pérez, J. Vetter, W., Frank, J., Lewandowski, I., 2020. *Acrocomia aculeata* fruits from three regions in Costa Rica: an assessment of biometric parameters, oil content and oil fatty acid composition to evaluate industrial potential. *Agroforest Syst.* 94, 1913-1927.
- Alves, R. S., Resende, M. D. V., Rocha, J. R. A. S. C., Peixoto, M. A., Teodoro, P. E., Silva, F. F., Bhering, L. L., dos Santos, G. A., 2020b. Quantifying individual variation in reaction norms using random regression models fitted through Legendre polynomials: application in eucalyptus breeding. *Bragantia.* 79 (4), 360-376.
- Antoniassi, R., de Freitas, S. C., Silva, T. dos S., Santiago, M. C. P. de A., Wilhelm, A. E., Junqueira, N. T. V., 2020. Impact of genotype on fatty acid profile, oil content and nutritional value of the sweet fruits of *Acrocomia aculeata*. *Rev Bras Frutic.* 42 (6).
- Amaral, F. P. do., Broetto, F., Batistella, C. B., Jorge, S. M. A., 2011. Extração e caracterização qualitativa do óleo da polpa e amêndoas de frutos de macaúba [*Acrocomia aculeata* (Jacq) Lood ex. Mart] coletadas na região de Botucatu, SP. *Rev. Energia Agric.* 26, 12–20.
- Bemfeito, C. M., Ribeiro, A. P. L., Pereira, R. C., de Angelis-Pereira, M. C. Carotenoides em alimentos: fatores interferentes na biossíntese e estabilidade frente ao processamento. *In: Cordeiro, C. A. M. Tecnologia de alimentos: Tópicos Físicos, Químicos e Biológicos - Volume 1.* 1ª ed. Guarujá, SP: Editora Científica Digital, 2020. p. 445-465. Disponível em: <https://www.editoracientifica.org/books/isbn/978-65-87196-25-1>. Acesso em 7 jun. 2021.
- Carvalho, J. E. U., Nazaré, R. F. R., Nascimento, W. M. O., 2003. Características físicas e físico-químicas de um tipo de bacuri (*Platonia insignis* Mart.) com rendimento industrial superior. *Rev Bras Frutic.* 25, 326-328.
- Castro, C. A. de O., Resende, R. T., Kuki, K. N., Carneiro, V. Q., Marcatti, G. E., Cruz, C. D., Motoike, S. Y., 2018. High-performance prediction of macauba fruit biomass for agricultural and industrial purposes using Artificial Neural Networks. *Ind Crops Prod.* 108, 806-813.
- Ciconini, G., Favaro, S. P., Roscoe, R., Miranda, C. H. B., Tapeti, C. F., Miyahira, M. A. M., Bearari, L., Galvani, F., Borsato, A. V., Colnago, L. A., Naka, M. H., 2013. Biometry and oil contents of *Acrocomia aculeata* fruits from the Cerrados and Pantanal biomes in Mato Grosso do Sul, Brazil. *Ind Crops Prod.* 45, 208–214.
- Coimbra, M. C., Jorge, N., 2011. Proximate composition of guariroba (*Syagrus oleracea*), jerivá (*Syagrus romanzoffiana*) and macaúba (*Acrocomia aculeata*) palm fruits. *Food Res Int.* 44, 2139-2142.
- Colombo, C. A.; Berton, L. H. C., Diaz, B. G.; Ferrari, R. A., 2017. Macauba: a promising tropical palm for the production of vegetable oil. *OCL.* 25, 1-9.
- Conceição, L. D. H. C. S. da, Antoniassi, R., Junqueira, N. T. V., Braga, M. F., Faria-Machado, A. F., Rogério, J. B., Duarte, I. D., Bizzo, H. R., 2015. Genetic diversity of macaúba from natural populations of Brazil. *BMC Res Notes.* 8, 406.

- Corrêa, T. R., Motoike, S. Y., Coser, S. M., Silveira, G., de Resende, M. D. V., Chia, G. S., 2015. Estimation of genetic parameters for in vitro oil palm characteristics (*Elaeis guineensis* Jacq.) and selection of genotypes for cloning capacity and oil yield. *Ind Crops Prod.* 77, 1033-1038.
- Coser, S.M, Motoike, S.Y, Corrêa, T.R., Pires, T.P, Resende, M.D.V, 2016. Breeding of *Acrocomia aculeata* using genetic diversity parameters and correlations to select accessions based on vegetative, phenological, and reproductive characteristics. *GMR.* 15 (4).
- Costa, A. M., Motoike, S. Y., Corrêa, T. R., Silva, T. C., Coser, S. M., De Resende, M. D. V., Teófilo, R. F., 2018. Genetic parameters and selection of macaw palm (*Acrocomia aculeata*) accessions: an alternative crop for biofuels. *CBAB.* 18, 259-266.
- Falconer, D. S., Mackay, T. F. C. *Introduction to Quantitative Genetics.* Longman Group Limited. 1996.
- Fehr, W. R., 2007. Breeding for modified fatty acid composition in soybean. *Crop Sci.* 47, 72–87.
- Ferrari, R., Azevedo Filho, J, 2012. Macauba as promising substrate for crude oil and biodiesel production. *J Agric Sci Technol.* 2, 1119–1126.
- Gilmour, A. R., Gogel, B. J., Cullis, B. R., Welham, S. J., Thompson, R., 2015. *ASReml User Guide.* Hemel Hempstead: VSN International. Disponível em: <https://www.hpc.iastate.edu/sites/default/files/uploads/ASREML/UserGuideStructural.pdf>. Acesso em 20 jan. 2020.
- Goulart, S. de M. Amadurecimento pós-colheita de frutos de macaúba e qualidade do óleo para a produção de biodiesel. 2014. 84 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia), Universidade Federal de Viçosa, 2014.
- Hiane, P. A., Ramos Filho, M. M., Ramos, M. I. L., Macedo, M. L. R., 2005. Bocaiuva, *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd, pulp and kernel oils: characterization and fatty acid composition. *Braz J Food Technol.* 8, 256–259.
- Henderson, C. R., 1975. Best linear unbiased estimation and prediction under a selection model. *Biometrics.* 31, 423-447.
- Henderson, A.; Galeano, G.; Bernal, R. 'Field guide to the palms of the Americas.' Princeton University Press: New Jersey, 1995.
- Iglesias, D. J., Cercós, M., Colmenero-Flores, J. M., Naranjo, M. A., Ríos, G., Carrera, E., Ruiz-Rivero, O., Lliso, I., Morillon, R., 2007. Physiology of citrus fruiting. *Brazilian J Plant Physiol.* 19, 333–362.
- Júnior, I. C. V., Silva, C. P., Nuvunga, J. J., Botelho, C. E., Gonçalves, F. M. A., Balestre, M., 2019. Mixture Mixed Models: Biennial Growth as a Latent Variable in Coffee Bean Progenies. *Crop Sci.* 59, 1424–1441.
- Lanes, E. C. M., Motoike, S. Y., Kuki, K. N., Resende, M. D. V., Caixeta, E. T., 2016. Mating system and genetic composition of the macaw palm (*Acrocomia aculeata*): implications for breeding and genetic conservation programs. *J. Hered.* 107(6), 527-536.

- Lieb, V. M., Kerfers, M. R., Kronmüller, A., Esquivel, P., Alvarado, A., Jiménez, V. M., Schmarr, H-G., Carle, R., Schweiggert, R. M., Steingass, C. B., 2017. Characterization of Mesocarp and Kernel Lipids from *Elaeis guineensis* Jacq., *Elaeis oleifera* [Kunth] Cortés, and Their Interspecific Hybrids. *J. Agric. Food Chem.* 65, 3617–3626.
- Lunn, J., Theobald, H. E., 2006. The health effects of dietary unsaturated fatty acids. *Nutr Bull.* 31, 178–224.
- Manfio, C. E.; Motoike, S. Y.; Santos, C. R. M Dos; Pimentel, L. D.; Queiroz, V. De; Sato, A. Y., 2011. Repetibilidade em características biométricas do fruto de macaúba. *Cienc Rural, Santa maria.* 41 (1), 70-76.
- Moitoike, S. Y., Carvalho, M., Pimentel, L. D., Kuki, K. N., Paes, J. M. V., Dias, H. C. T., Sato, A. Y. A cultura da macaúba: implantação e manejo de cultivos racionais. Viçosa, MG. Ed. UFV, 2013.
- Moura, R. C., Lopes, P. S. N., Brandão-Júnior, D. S., Gomes, J. G., Pereira, M. B., 2010. Biometria de frutos e sementes de *Butia capitata* (Mart.) Beccari (Arecaceae), em vegetação natural no Norte de Minas Gerais, Brasil. *Biota Neotrop.* 10 (2), 415-419.
- Mrode, R. A., 2014. Linear models for the prediction of animal breeding values. Wallingford: CAB International.
- Mulamba, N. N., Mock, J. J., 1978. Improvement of yield potential of the Eto Blanco maize (*Zea mays* L.) population by breeding for plant traits. *EJGC.* 7, 40-51.
- Nascimento, W. M. O., Gurgel, F., Bhering, L. L., Ribeiro, O. D., 2014. Pré-melhoramento do camucamuzeiro: estudo de parâmetros genéticos e dissimilaridade. *Revista Ceres.* 61, 538-543.
- Nunes, A. A, Favaro, S. P., Galvani, F., Miranda, C. H. B., 2015. Good practices of harvest and processing provide high quality Macauba pulp oil. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.* 117, 2036–2043.
- Pasquini, C., 2018. Near infrared spectroscopy: A mature analytical technique with new perspectives - A review. *Anal Chim Acta.* 1026, 8-36.
- Patterson, H. D., Thompson, R., 1971. Recovery of inter-block information when block sizes are unequal. *Biometrika.* 58, 545-554.
- Peixoto, M. A., Alves, R. S., Coelho, I. F., Evangelista, J. S. P. C., Resende, M. D. V., Rocha, J. R. A. S. C., Silva, F. F., Laviola, B. G., Bhering, L. L., 2020. Random regression for modeling yield genetic trajectories in *Jatropha curcas* breeding. *PLOS ONE.* 15 (12), e0244021.
- Pimentel, L. D., Bruckner, C. H., Martinez, H. E. P., Teixeira, C. M., Motoike, S. Y., Pedroso Neto, J. C., 2011. Recomendação de adubação e calagem para o cultivo da macaúba: 1ª aproximação. *Informe Agropecuário (Belo Horizonte).* 32, 20-30.
- Pires, I. E., Resende, M. D. V., Silva, R. L., Junior, M. F. R. Genética florestal. Editora Arka, Viçosa, 2011. 318p.
- Pires, T. P., Souza, E. S., Kuki, K. N., Motoike, S. Y., 2013. Ecophysiological traits of the macaw palm: A contribution towards the domestication of a novel oil crop. *Ind Crop Prod.* 44, 200–210.

Ramos, M. I. L., Siqueira, E. M. A., Isomura, C. C., Barbosa, A. M. J., Arruda, S. F., 2007. Bocaiuva (*Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lood) improved vitamin A status in rats. *J Agric Food Chem.* 22, 3186–3190.

R Core Team, 2020. R: A language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing.

Resende, M. D. V., 2002. Genética Biométrica e Estatística no Melhoramento de Plantas Perenes. Embrapa, Informação Tecnológica, Brasília.

Resende, M. D. V., 2006. O Software Selegen-Reml/Blup. Embrapa. 305 p.

Resende, M. D. V., 2007. Matemática e Estatística na Análise de Experimentos e no Melhoramento Genético. Embrapa Florestas: Colombo.

Resende, M. D. V., 2015. Genética quantitativa e de populações. Visconde do Rio Branco: Suprema.

Resende, M. D. V., 2016. Software Selegen-REML/BLUP: a useful tool for plant breeding. *Crop Breed. Appl. Biotechnol.* 16, 330–339.

Resende, M. D. V., Rezende, G. D. S., Fernandes, J. S. C., 2001. Regressão aleatória e funções de covariância na análise de medidas repetidas. *Rev. Mat. Estat.* 19, 21-40.

Resende, R. T., Kuki, K. N., Corrêa, T. R., Zaidan, U. R., Mota, P. H. S., Telles, L. A. A., Gonzales, D. G. E., Motoike, S. Y., Resende, M. D. V., Leite, H. G., Lorenzon, A. S., 2020. Data-based agroecological zoning of *Acrocomia aculeata*: GIS modeling and ecophysiological aspects into a Brazilian representative occurrence area. *Ind Crps Prod.* 154, 112749.

Rodriguez-Amaya, D. B. A guide to carotenoid analysis in foods. Washington, D.C. ILSI Press, 2001. 64 p.

Schaeffer, L. R., 2016. Random regression models. Guelph: University of Guelph.

Simiqueli, G. F., Resende, M. D. V., Motoike, S. Y., Henriques, E., 2018. Inbreeding depression as a cause of fruit abortion in structured populations of macaw palm (*Acrocomia aculeata*): Implications for breeding programs. *Ind Crop Prod.* 112, 652–659.

Souza, G. K., Scheufele, F. B., Pasa, T. L. B., Arroyo, P. A., Pereira, N. C., 2016. Synthesis of ethyl esters from crude macauba oil (*Acrocomia aculeata*) for biodiesel production. *Fuel.* 165, 360–366.

Statista, 2020. Consumption of vegetable oils worldwide from 2013/14 to 2019/2020, by oil type. Disponível em: < <https://www.statista.com/statistics/263937/vegetable-oils-global-consumption/>>. Acesso em: 5 fev. 2021.

Trentini, C. P., Oliveira, D. M., Zanette, C. M., Silva, C., 2016. Low-pressure solvent extraction of oil from macauba (*Acrocomia aculeata*) pulp: characterization of oil and defatted meal. *Ciênc Rural.* 46, 725–731.

Vianna, S. A., Berton, L. H. C., Pott, A., Guerreiro, S. M. C., Colombo, C. A., 2017. Biometric Characterization of Fruits and Morphoanatomy of the Mesocarp of *Acrocomia* Species (Arecaceae). *Int. J. Biol.* 9 (3).

Wahid, M. B., Abdullah, S. N. A, Henson, I. E., 2005. Oil Palm – Achievements and Potential. *Plant Prod. Sci.* 8 (3), 288–297.

Wandeck, F. A., Justo, P. G., 1988. A macaúba, fonte energética e insumo industrial: sua significação econômica no Brasil. In: *SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO, SAVANA, Brasília*. EMBRAPA, CPAC. 541–577.



## CONCLUSÃO GERAL

Este trabalho demonstrou que a macaúba apresenta grande variabilidade genética para as variáveis avaliadas, a qual está relacionada com a distribuição geográfica da espécie e às adaptações associadas aos diferentes ambientes colonizados. Essa variabilidade é essencial para o melhoramento genético da espécie. As herdabilidades e acurácias de seleção encontradas revelam um forte controle genético dos caracteres e confiabilidade no processo de seleção. É possível obter ganhos de seleção para todas as variáveis avaliadas. A população 3 é a principal fonte de genótipos superiores para os caracteres de produtividade de frutos, teor de óleo e biometria de frutos e a população 1 é onde se encontram os melhores genótipos para teor de carotenoides.

O BAG-Macaúba pode ser considerado uma área de produção de sementes (APS) e já pode ser utilizado como fonte de sementes melhoradas para produtores que desejem cultivar macaúba. Os ganhos de seleção apontados nesse trabalho para cada variável avaliada poderão ser obtidos diretamente com a coleta de frutos nas plantas selecionadas, uma vez que o modelo de seleção utilizado considera progênies de polinização aberta, havendo então seleção com base em mães conhecidas e diferentes pais. Assim sendo, a coleta de frutos nas 20 plantas selecionadas pelo índice de seleção (BGP12-1, BGP64-7, BGP64-9, BGP64-8, BGP8-7, BGP8-4, BGP26-10, BGP12-8, BGP36-3, BGP37-2, BGP67-9, BGP12-5, BGP43-4, BGP8-6, BGP69-1, BGP8-5, BGP37-7, BGP99-3, BGP8-1, BGP37-9) e o plantio de suas sementes irá gerar uma nova população de macaúba que produzirá em média: 25.28 kg de fruto por planta; 54.16% de teor de óleo na polpa e frutos com 35.82 g de massa seca, 14.85 g de massa seca de polpa, 4.95 cm de diâmetro transversal e 5.09 cm de diâmetro longitudinal.

Para plantios comerciais que visem produzir frutos com maior teor de ácidos graxos saturados (AGS), recomendamos a coleta de frutos nas 10 melhores plantas apontadas na seleção individual para esse caráter (BGP83-1, BGP70-1, BGP43-6, BGP70-8, BGP33-5, BGP15-1, BGP37-9, BGP36-3, BGP70-9, BGP33-6), que irá gerar plantas que produzirão em média 34,51% de AGS. Para plantios que visem a produção de frutos com alto teor de carotenoides, recomendamos a coleta de frutos nas 10 melhores plantas apontadas na seleção individual para esse caráter (BGP104-1, BGP105-2, BGP101-1, BGP105-4, BGP101-3, BGP100-1, BGP101-2, BGP114-1, BGP104-3, BGP92-3) que irá gerar plantas que produzirão em média 1283.69 µg de carotenoides por g de óleo. Da mesma forma pode ser feito para as demais variáveis, baseando-se nas tabelas 4 e 5 do artigo 2.

Para a próxima fase do programa de melhoramento, recomendamos o cruzamento direcionado entre as plantas selecionadas para a característica que se deseja melhorar. Dessa forma será feita seleção com base em mãe e pai, permitindo ganhos superiores. Os frutos advindos desses cruzamentos poderão ser plantados em um teste de progênies e as novas plantas deverão ser avaliadas quando começarem a produzir. Após a avaliação poderá ser feito o desbaste das piores plantas e deixar as demais se intercruzarem livremente, criando-se assim um pomar de sementes melhoradas que poderá fornecer sementes para o mercado.

## **ANEXO**

## MATERIAL SUPLEMENTAR – ARTIGO 1

Tabela suplementar 1. Valor médio das variáveis teor de ácido palmítico (C16:0), palmitoleico (C16:1), esteárico (C18:0), oleico (C18:1), linoleico (C18:2), linolênico (C18:3), teor de ácido graxo saturado (AGS), ácido graxo monoinsaturado (AGMI), ácido graxo poliinsaturado (AGPI), parâmetros de cor L\*, a\*, b\*, chroma, hue e teor de carotenoides de 50 acessos de macaúba.

| Acessos | Ácidos graxos (%) |       |       |       |       |       |       |       |       | Parâmetros de cor |       |       |        |       | Carotenoides (µg/g) |
|---------|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------------|-------|-------|--------|-------|---------------------|
|         | C16:0             | C16:1 | C18:0 | C18:1 | C18:2 | C18:3 | AGS   | AGMI  | AGPI  | L*                | a*    | b*    | Chroma | Hue   |                     |
| BGP4    | 19.25             | 1.93  | 4.90  | 62.63 | 10.36 | 0.93  | 24.15 | 64.57 | 11.28 | 41.78             | 13.09 | 28.18 | 31.07  | 65.09 | 193.45              |
| BGP6    | 21.82             | 5.64  | 1.12  | 56.23 | 14.10 | 1.10  | 22.93 | 61.87 | 15.20 | 44.71             | 20.59 | 34.60 | 40.36  | 60.02 | 227.40              |
| BGP7    | 17.08             | 2.98  | 2.02  | 62.25 | 14.75 | 0.92  | 19.11 | 65.23 | 15.66 | 52.08             | 20.92 | 44.97 | 49.98  | 65.41 | 165.57              |
| BGP8    | 17.98             | 6.30  | 0.94  | 60.65 | 13.14 | 0.99  | 18.92 | 66.95 | 14.13 | 45.14             | 20.72 | 33.71 | 40.35  | 55.55 | 191.07              |
| BGP9    | 24.36             | 7.65  | 0.97  | 49.96 | 15.76 | 1.30  | 25.33 | 57.61 | 17.06 | 47.37             | 23.33 | 36.62 | 43.73  | 56.82 | 228.78              |
| BGP12   | 17.46             | 5.60  | 0.46  | 66.16 | 9.66  | 0.66  | 17.92 | 71.76 | 10.32 | 49.42             | 9.40  | 39.59 | 41.31  | 72.86 | 53.14               |
| BGP14   | 17.83             | 2.15  | 2.09  | 55.37 | 21.48 | 1.07  | 19.92 | 57.52 | 22.56 | 39.20             | 27.01 | 25.90 | 37.42  | 43.80 | 233.05              |
| BGP15   | 25.23             | 6.04  | 1.27  | 51.16 | 15.42 | 0.89  | 26.49 | 57.20 | 16.31 | 42.71             | 11.26 | 28.35 | 30.99  | 67.63 | 130.86              |
| BGP20   | 14.88             | 3.58  | 0.86  | 70.57 | 9.31  | 0.79  | 15.74 | 74.15 | 10.11 | 55.75             | 8.38  | 49.30 | 50.53  | 75.91 | 46.57               |
| BGP26   | 14.36             | 2.04  | 2.59  | 66.59 | 13.40 | 1.02  | 16.95 | 68.63 | 14.43 | 59.95             | 13.36 | 57.01 | 58.81  | 75.86 | 65.53               |
| BGP33   | 24.81             | 5.04  | 1.77  | 54.65 | 12.89 | 0.83  | 26.58 | 59.69 | 13.72 | 46.27             | 16.08 | 34.27 | 38.16  | 64.04 | 165.47              |
| BGP35   | 13.72             | 1.08  | 6.10  | 66.32 | 11.99 | 0.78  | 19.83 | 67.40 | 12.78 | 56.41             | 22.08 | 51.02 | 55.60  | 66.63 | 192.30              |
| BGP36   | 21.07             | 5.39  | 1.24  | 58.29 | 13.20 | 0.81  | 22.30 | 63.69 | 14.01 | 42.34             | 18.25 | 29.22 | 35.18  | 53.27 | 211.20              |
| BGP37   | 19.91             | 10.06 | 0.48  | 55.19 | 13.26 | 1.10  | 20.40 | 65.24 | 14.36 | 46.85             | 13.36 | 36.42 | 39.08  | 66.45 | 95.70               |
| BGP38   | 22.76             | 3.58  | 2.87  | 56.46 | 13.46 | 0.86  | 25.63 | 60.04 | 14.33 | 41.95             | 13.88 | 28.97 | 32.56  | 63.89 | 131.21              |
| BGP43   | 27.15             | 7.47  | 1.28  | 52.17 | 11.06 | 0.88  | 28.43 | 59.64 | 11.94 | 48.26             | 14.01 | 38.33 | 40.95  | 68.06 | 178.93              |
| BGP47   | 14.57             | 2.60  | 0.88  | 75.15 | 5.86  | 0.94  | 15.45 | 77.75 | 6.80  | 36.74             | 21.70 | 19.97 | 29.55  | 42.44 | 157.72              |
| BGP48   | 17.95             | 3.20  | 2.00  | 63.63 | 12.40 | 0.82  | 19.95 | 66.83 | 13.22 | 47.98             | 22.61 | 38.51 | 45.05  | 57.93 | 216.91              |
| BGP50   | 6.44              | 0.98  | 1.06  | 80.34 | 10.22 | 0.95  | 7.51  | 81.32 | 11.18 | 61.19             | 9.31  | 59.13 | 59.93  | 80.68 | 40.45               |
| BGP52   | 19.88             | 2.99  | 2.81  | 64.54 | 8.90  | 0.88  | 22.69 | 67.52 | 9.78  | 46.38             | 17.20 | 35.87 | 40.32  | 61.49 | 123.21              |
| BGP53   | 26.33             | 6.59  | 1.33  | 49.84 | 14.62 | 1.18  | 27.66 | 56.43 | 15.79 | 54.42             | 22.16 | 47.78 | 52.69  | 65.26 | 209.36              |

|        |       |       |      |       |       |      |       |       |       |       |       |       |       |       |        |
|--------|-------|-------|------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| BGP64  | 16.68 | 2.92  | 1.02 | 63.33 | 15.20 | 0.84 | 17.70 | 66.25 | 16.05 | 54.73 | 12.37 | 46.91 | 49.18 | 69.11 | 71.18  |
| BGP65  | 19.36 | 5.13  | 1.08 | 59.24 | 13.97 | 1.21 | 20.44 | 64.38 | 15.18 | 43.47 | 17.15 | 30.72 | 36.39 | 55.41 | 262.43 |
| BGP67  | 16.84 | 3.72  | 0.78 | 54.31 | 23.37 | 0.97 | 17.62 | 58.03 | 24.34 | 65.02 | 16.90 | 64.92 | 67.08 | 75.41 | 106.66 |
| BGP69  | 21.38 | 3.89  | 1.59 | 54.72 | 17.52 | 0.90 | 22.98 | 58.60 | 18.42 | 38.47 | 8.23  | 30.37 | 31.84 | 72.50 | 53.43  |
| BGP70  | 27.81 | 6.50  | 1.52 | 47.88 | 15.40 | 0.89 | 29.33 | 54.38 | 16.29 | 47.84 | 9.62  | 36.19 | 37.85 | 73.11 | 104.78 |
| BGP74  | 15.85 | 3.51  | 1.12 | 63.39 | 15.28 | 0.85 | 16.97 | 66.90 | 16.13 | 56.53 | 12.33 | 50.52 | 52.63 | 74.23 | 70.22  |
| BGP75  | 19.94 | 4.09  | 1.62 | 60.73 | 12.91 | 0.72 | 21.56 | 64.81 | 13.63 | 40.22 | 17.46 | 25.43 | 30.86 | 56.23 | 207.30 |
| BGP80  | 9.99  | 1.48  | 1.27 | 75.96 | 10.52 | 0.77 | 11.27 | 77.44 | 11.29 | 48.75 | 3.84  | 36.16 | 36.92 | 71.56 | 46.15  |
| BGP81  | 21.19 | 4.18  | 1.91 | 58.25 | 13.68 | 0.80 | 23.09 | 62.43 | 14.48 | 41.09 | 13.97 | 25.71 | 29.86 | 57.93 | 172.17 |
| BGP82  | 19.33 | 4.21  | 1.52 | 59.46 | 14.38 | 1.10 | 20.85 | 63.67 | 15.48 | 34.85 | 9.73  | 16.17 | 19.13 | 58.07 | 209.34 |
| BGP83  | 30.79 | 5.16  | 1.90 | 45.09 | 16.05 | 1.01 | 32.69 | 50.25 | 17.06 | 46.49 | 13.70 | 34.05 | 36.73 | 68.06 | 165.85 |
| BGP88  | 12.60 | 3.35  | 0.41 | 67.08 | 15.37 | 1.18 | 13.02 | 70.43 | 16.55 | 51.63 | 18.64 | 43.53 | 48.03 | 65.14 | 93.50  |
| BGP92  | 15.15 | 1.79  | 1.73 | 67.49 | 11.25 | 1.38 | 16.88 | 69.28 | 12.63 | 43.79 | 38.62 | 32.34 | 50.42 | 39.81 | 762.67 |
| BGP94  | 0.78  | 10.45 | 5.29 | 81.07 | 1.02  | 1.38 | 6.07  | 91.53 | 2.41  | 45.62 | 37.33 | 33.20 | 49.96 | 41.65 | 538.15 |
| BGP99  | 15.75 | 1.63  | 3.15 | 69.81 | 8.60  | 0.78 | 18.90 | 71.44 | 9.37  | 36.26 | 4.69  | 19.64 | 20.34 | 74.85 | 56.29  |
| BGP100 | 14.96 | 1.94  | 3.48 | 73.20 | 4.88  | 1.10 | 18.44 | 75.14 | 5.98  | 45.35 | 32.13 | 33.00 | 46.62 | 44.62 | 658.15 |
| BGP101 | 19.77 | 1.08  | 1.42 | 54.58 | 20.38 | 1.63 | 21.19 | 55.67 | 22.01 | 37.75 | 32.15 | 20.72 | 38.26 | 32.57 | 962.52 |
| BGP102 | 10.77 | 1.42  | 0.55 | 80.75 | 4.63  | 1.06 | 11.32 | 82.16 | 5.70  | 41.36 | 29.67 | 26.04 | 39.90 | 38.63 | 496.86 |
| BGP104 | 17.59 | 3.41  | 1.00 | 63.91 | 11.75 | 1.11 | 18.59 | 67.32 | 12.86 | 40.07 | 29.54 | 24.25 | 38.34 | 39.71 | 779.10 |
| BGP105 | 13.24 | 0.44  | 1.17 | 67.29 | 15.80 | 2.05 | 14.41 | 67.73 | 17.86 | 46.11 | 36.19 | 32.94 | 48.94 | 42.31 | 686.67 |
| BGP106 | 13.42 | 0.93  | 2.13 | 78.93 | 3.38  | 0.90 | 15.55 | 79.86 | 4.27  | 53.61 | 23.25 | 47.47 | 52.93 | 64.58 | 172.36 |
| BGP114 | 13.31 | 4.43  | 0.00 | 65.20 | 15.53 | 1.52 | 13.31 | 69.64 | 17.06 | 47.21 | 35.33 | 38.06 | 51.93 | 47.13 | 444.27 |
| BGP119 | 3.27  | 10.50 | 2.76 | 71.29 | 10.86 | 1.14 | 6.03  | 81.79 | 12.00 | 47.18 | 30.06 | 37.11 | 48.39 | 49.99 | 314.72 |
| BGP120 | 6.20  | 9.01  | 3.52 | 75.85 | 4.48  | 0.94 | 9.72  | 84.86 | 5.42  | 47.36 | 38.10 | 36.88 | 53.24 | 43.63 | 585.65 |
| BGP132 | 28.11 | 12.36 | 0.65 | 49.29 | 8.67  | 0.92 | 28.76 | 61.66 | 9.58  | 38.92 | 7.77  | 21.29 | 23.02 | 65.68 | 151.27 |
| BGP133 | 16.62 | 2.28  | 1.83 | 65.87 | 12.50 | 0.89 | 18.45 | 68.16 | 13.39 | 42.61 | 4.37  | 28.00 | 28.52 | 78.91 | 47.63  |
| BGP134 | 19.54 | 1.65  | 1.77 | 57.55 | 18.14 | 1.35 | 21.31 | 59.20 | 19.49 | 36.25 | 9.69  | 19.23 | 22.04 | 60.85 | 117.96 |
| BGP136 | 23.30 | 2.96  | 1.95 | 50.30 | 19.86 | 1.62 | 25.25 | 53.26 | 21.49 | 40.57 | 10.87 | 24.17 | 27.09 | 65.70 | 108.94 |
| BGP137 | 12.35 | 0.69  | 1.13 | 73.44 | 11.35 | 1.04 | 13.48 | 74.14 | 12.38 | 45.39 | 14.48 | 35.44 | 38.99 | 65.30 | 42.32  |

Tabela suplementar 2. Valor médio das variáveis teor de óleo, diâmetro transversal (DT), diâmetro longitudinal (DL), massa seca (MS) de fruto, casca, polpa, endocarpo e amêndoa de 50 acessos de macaúba

| Acessos | Teor de óleo | Biometria de frutos |      |          |          |          |              |            |
|---------|--------------|---------------------|------|----------|----------|----------|--------------|------------|
|         |              | DT                  | DL   | MS fruto | MS casca | MS polpa | MS endocarpo | MS amêndoa |
| BGP4    | 53.58        | 4.47                | 4.73 | 26.34    | 5.43     | 9.00     | 10.01        | 1.90       |
| BGP6    | 46.83        | 4.01                | 4.24 | 21.40    | 4.46     | 8.53     | 7.18         | 1.23       |
| BGP7    | 53.95        | 4.43                | 4.49 | 24.68    | 5.21     | 10.91    | 7.57         | 1.53       |
| BGP8    | 48.22        | 4.83                | 4.96 | 30.50    | 7.27     | 11.24    | 9.95         | 2.04       |
| BGP9    | 35.42        | 4.39                | 4.41 | 26.17    | 6.56     | 8.96     | 9.25         | 1.40       |
| BGP12   | 50.76        | 4.76                | 4.83 | 32.29    | 6.72     | 12.71    | 10.95        | 1.90       |
| BGP14   | 63.96        | 4.21                | 4.50 | 18.40    | 3.70     | 5.53     | 7.63         | 1.53       |
| BGP15   | 51.05        | 4.30                | 4.32 | 24.36    | 5.01     | 9.43     | 8.38         | 1.53       |
| BGP20   | 50.73        | 4.39                | 4.70 | 28.57    | 5.90     | 12.10    | 9.04         | 1.52       |
| BGP26   | 55.88        | 4.64                | 4.74 | 29.92    | 7.48     | 12.33    | 8.57         | 1.54       |
| BGP33   | 50.76        | 4.11                | 4.10 | 22.24    | 5.06     | 7.37     | 7.87         | 1.94       |
| BGP35   | 60.81        | 4.43                | 4.51 | 27.02    | 6.77     | 9.25     | 9.30         | 1.70       |
| BGP36   | 54.37        | 4.42                | 4.45 | 26.93    | 6.07     | 10.83    | 8.51         | 1.51       |
| BGP37   | 54.82        | 4.97                | 5.19 | 39.33    | 9.46     | 16.94    | 11.04        | 1.89       |
| BGP38   | 54.32        | 4.24                | 4.34 | 25.77    | 6.00     | 9.81     | 8.24         | 1.71       |
| BGP43   | 40.25        | 4.96                | 5.05 | 35.66    | 6.06     | 16.81    | 11.02        | 1.77       |
| BGP47   | 42.29        | 3.67                | 3.99 | 16.18    | 3.21     | 6.51     | 5.38         | 1.08       |
| BGP48   | 49.61        | 4.40                | 4.35 | 25.88    | 6.17     | 8.74     | 9.31         | 1.66       |
| BGP50   | 58.76        | 4.12                | 4.41 | 23.58    | 5.23     | 9.57     | 7.29         | 1.49       |
| BGP52   | 47.70        | 4.39                | 4.16 | 25.12    | 4.98     | 8.71     | 9.18         | 2.25       |
| BGP53   | 37.30        | 4.44                | 4.44 | 22.94    | 4.86     | 8.42     | 7.96         | 1.71       |
| BGP64   | 64.69        | 4.88                | 4.83 | 35.90    | 7.19     | 15.93    | 10.51        | 2.28       |
| BGP65   | 45.69        | 4.30                | 4.21 | 24.61    | 4.81     | 8.77     | 9.27         | 1.76       |
| BGP67   | 63.24        | 4.96                | 4.84 | 33.20    | 6.27     | 11.77    | 12.43        | 2.73       |
| BGP69   | 52.79        | 4.69                | 4.69 | 31.09    | 6.63     | 10.82    | 11.01        | 2.64       |
| BGP70   | 44.54        | 4.56                | 4.53 | 26.87    | 5.26     | 10.73    | 9.10         | 2.08       |
| BGP74   | 57.55        | 4.23                | 4.40 | 21.86    | 5.10     | 7.79     | 7.58         | 1.39       |
| BGP75   | 52.66        | 4.04                | 3.77 | 18.15    | 3.98     | 5.52     | 6.93         | 1.72       |
| BGP80   | 56.63        | 4.52                | 4.48 | 27.05    | 7.38     | 10.13    | 7.98         | 1.55       |
| BGP81   | 57.36        | 4.21                | 4.24 | 23.58    | 4.58     | 8.50     | 8.38         | 2.13       |
| BGP82   | 34.20        | 4.10                | 4.07 | 19.79    | 4.25     | 6.69     | 7.20         | 1.65       |
| BGP83   | 45.68        | 4.10                | 4.15 | 22.58    | 5.07     | 8.17     | 7.43         | 1.92       |
| BGP88   | 46.61        | 4.62                | 4.58 | 26.41    | 6.40     | 10.13    | 8.24         | 1.63       |
| BGP92   | 24.93        | 3.36                | 3.36 | 10.29    | 2.07     | 2.87     | 4.47         | 0.87       |
| BGP94   | 17.21        | 3.66                | 3.80 | 16.23    | 2.90     | 5.93     | 5.97         | 1.43       |
| BGP99   | 38.27        | 4.96                | 5.25 | 36.12    | 7.57     | 16.57    | 9.77         | 2.22       |
| BGP100  | 25.49        | 3.71                | 3.78 | 16.35    | 2.47     | 5.20     | 7.07         | 1.62       |
| BGP101  | 20.62        | 3.47                | 4.07 | 13.24    | 2.89     | 5.14     | 4.49         | 0.72       |
| BGP102  | 26.45        | 3.56                | 3.78 | 13.08    | 2.48     | 5.28     | 4.28         | 1.04       |

|        |       |      |      |       |      |       |      |      |
|--------|-------|------|------|-------|------|-------|------|------|
| BGP104 | 22.15 | 3.54 | 3.94 | 13.41 | 2.34 | 4.66  | 5.41 | 1.00 |
| BGP105 | 18.41 | 4.04 | 4.20 | 18.88 | 3.08 | 6.80  | 7.36 | 1.64 |
| BGP106 | 27.28 | 3.09 | 2.92 | 9.79  | 1.44 | 3.69  | 3.60 | 1.06 |
| BGP114 | 25.59 | 3.35 | 3.54 | 10.63 | 2.35 | 3.45  | 4.07 | 0.77 |
| BGP119 | 26.23 | 3.56 | 3.38 | 13.58 | 2.30 | 4.86  | 5.20 | 1.22 |
| BGP120 | 28.82 | 3.60 | 3.93 | 15.33 | 2.75 | 5.87  | 5.53 | 1.18 |
| BGP132 | 43.20 | 4.40 | 4.40 | 25.69 | 5.58 | 10.36 | 8.24 | 1.51 |
| BGP133 | 38.00 | 4.83 | 4.72 | 31.53 | 6.87 | 13.39 | 9.01 | 2.27 |
| BGP134 | 34.01 | 4.13 | 3.83 | 21.47 | 5.17 | 5.86  | 8.83 | 1.61 |
| BGP136 | 31.52 | 4.13 | 3.94 | 23.14 | 5.44 | 7.70  | 8.62 | 1.37 |
| BGP137 | 55.32 | 4.54 | 4.77 | 27.77 | 5.83 | 12.26 | 8.29 | 1.38 |

## MATERIAL SUPLEMENTAR – ARTIGO 2

Tabela suplementar 1. Saída do ASReml para os modelos que convergiram para a variável produtividade de frutos de 175 genótipos de macaúba entre o sexto e décimo ano de vida.

| <b>Leg</b> | <b>Homo\Hetero</b> | <b>LogL</b>     | <b>df</b> | <b>AIC</b>     |
|------------|--------------------|-----------------|-----------|----------------|
| <b>2</b>   | <b>hetero</b>      | <b>-2295.64</b> | <b>17</b> | <b>4625.28</b> |
| 1          | hetero             | -2347.77        | 11        | 4717.54        |
| 0          | hetero             | -2360.46        | 7         | 4734.92        |
| 2          | homo               | -2474.46        | 13        | 4974.92        |
| 1          | homo               | -2418.87        | 7         | 4851.74        |
| 0          | homo               | -2420.79        | 3         | 4847.58        |

O modelo selecionado é indicado em negrito. Leg: grau do polinômio de Legendre; Homo/Hetero: variância residual homogênea ou heterogênea; LogL: logaritmo da função de verossimilhança; df: número de parâmetros de variância estimados pelo modelo; AIC: valor do critério de Akaike.



Tabela suplementar 2. Ranque de 175 genótipos de macaúba para o caráter produtividade de frutos baseado na área abaixo da curva (AUC) da trajetória do valor genotípico entre o sexto e décimo ano de vida.

| Ranque | Acesso | Planta | AUC   | Ranque | Acesso | Planta | AUC   | Ranque | Acesso | Planta | AUC   |
|--------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|-------|
| 1      | BGP26  | 5      | 52.61 | 60     | BGP48  | 4      | 22.45 | 119    | BGP75  | 1      | 13.59 |
| 2      | BGP52  | 2      | 51.98 | 61     | BGP48  | 3      | 22.44 | 120    | BGP82  | 4      | 13.49 |
| 3      | BGP8   | 7      | 50.68 | 62     | BGP74  | 1      | 22.39 | 121    | BGP69  | 6      | 13.38 |
| 4      | BGP38  | 3      | 44.96 | 63     | BGP81  | 3      | 22.34 | 122    | BGP123 | 2      | 13.29 |
| 5      | BGP120 | 3      | 43.89 | 64     | BGP26  | 10     | 21.99 | 123    | BGP99  | 1      | 13.13 |
| 6      | BGP8   | 5      | 42.95 | 65     | BGP102 | 4      | 21.96 | 124    | BGP74  | 9      | 13.01 |
| 7      | BGP15  | 4      | 41.28 | 66     | BGP50  | 5      | 21.93 | 125    | BGP37  | 9      | 12.75 |
| 8      | BGP83  | 2      | 41.19 | 67     | BGP15  | 1      | 21.71 | 126    | BGP92  | 1      | 12.17 |
| 9      | BGP12  | 7      | 41.05 | 68     | BGP64  | 7      | 21.47 | 127    | BGP70  | 4      | 11.99 |
| 10     | BGP8   | 2      | 40.74 | 69     | BGP82  | 7      | 21.46 | 128    | BGP74  | 6      | 11.78 |
| 11     | BGP52  | 1      | 39.95 | 70     | BGP8   | 9      | 21.38 | 129    | BGP65  | 1      | 11.53 |
| 12     | BGP8   | 4      | 39.20 | 71     | BGP15  | 7      | 21.34 | 130    | BGP12  | 10     | 11.50 |
| 13     | BGP52  | 3      | 39.12 | 72     | BGP104 | 1      | 21.30 | 131    | BGP106 | 1      | 11.27 |
| 14     | BGP20  | 3      | 37.16 | 73     | BGP119 | 4      | 21.28 | 132    | BGP64  | 1      | 10.94 |
| 15     | BGP81  | 1      | 37.08 | 74     | BGP26  | 6      | 21.07 | 133    | BGP7   | 6      | 10.83 |
| 16     | BGP100 | 2      | 36.46 | 75     | BGP82  | 5      | 20.73 | 134    | BGP15  | 8      | 10.04 |
| 17     | BGP15  | 5      | 36.36 | 76     | BGP33  | 6      | 20.22 | 135    | BGP70  | 1      | 10.01 |
| 18     | BGP36  | 1      | 36.24 | 77     | BGP35  | 1      | 20.13 | 136    | BGP36  | 6      | 9.76  |
| 19     | BGP81  | 4      | 35.27 | 78     | BGP36  | 8      | 20.08 | 137    | BGP50  | 10     | 9.61  |
| 20     | BGP12  | 5      | 35.10 | 79     | BGP53  | 2      | 19.88 | 138    | BGP80  | 2      | 9.57  |
| 21     | BGP12  | 8      | 34.63 | 80     | BGP106 | 2      | 19.75 | 139    | BGP33  | 5      | 9.52  |
| 22     | BGP104 | 3      | 33.89 | 81     | BGP74  | 10     | 19.57 | 140    | BGP70  | 6      | 9.50  |
| 23     | BGP12  | 1      | 33.43 | 82     | BGP105 | 4      | 19.40 | 141    | BGP69  | 1      | 9.36  |
| 24     | BGP82  | 1      | 32.85 | 83     | BGP101 | 2      | 18.60 | 142    | BGP9   | 6      | 9.29  |
| 25     | BGP120 | 2      | 32.67 | 84     | BGP43  | 4      | 18.19 | 143    | BGP6   | 1      | 9.27  |
| 26     | BGP8   | 6      | 31.33 | 85     | BGP69  | 3      | 18.18 | 144    | BGP43  | 3      | 8.98  |

|    |        |   |       |     |        |   |       |     |       |   |       |
|----|--------|---|-------|-----|--------|---|-------|-----|-------|---|-------|
| 27 | BGP4   | 4 | 31.07 | 86  | BGP70  | 3 | 18.11 | 145 | BGP75 | 2 | 8.97  |
| 28 | BGP94  | 1 | 30.95 | 87  | BGP67  | 9 | 18.03 | 146 | BGP82 | 8 | 8.72  |
| 29 | BGP4   | 5 | 30.18 | 88  | BGP92  | 2 | 18.01 | 147 | BGP65 | 9 | 8.46  |
| 30 | BGP101 | 3 | 29.58 | 89  | BGP7   | 4 | 18.01 | 148 | BGP70 | 9 | 7.77  |
| 31 | BGP36  | 3 | 29.52 | 90  | BGP99  | 3 | 17.90 | 149 | BGP36 | 5 | 7.71  |
| 32 | BGP101 | 1 | 29.29 | 91  | BGP15  | 2 | 17.82 | 150 | BGP48 | 2 | 7.68  |
| 33 | BGP64  | 8 | 29.24 | 92  | BGP106 | 3 | 17.65 | 151 | BGP50 | 8 | 7.55  |
| 34 | BGP26  | 7 | 28.99 | 93  | BGP50  | 3 | 17.23 | 152 | BGP6  | 2 | 7.41  |
| 35 | BGP38  | 5 | 28.97 | 94  | BGP82  | 9 | 17.20 | 153 | BGP26 | 8 | 7.01  |
| 36 | BGP100 | 1 | 28.75 | 95  | BGP37  | 2 | 17.17 | 154 | BGP88 | 1 | 6.95  |
| 37 | BGP12  | 2 | 28.57 | 96  | BGP12  | 9 | 16.94 | 155 | BGP33 | 1 | 6.80  |
| 38 | BGP114 | 1 | 28.19 | 97  | BGP64  | 9 | 16.94 | 156 | BGP69 | 7 | 6.10  |
| 39 | BGP119 | 1 | 28.17 | 98  | BGP104 | 2 | 16.75 | 157 | BGP65 | 2 | 5.69  |
| 40 | BGP119 | 3 | 28.06 | 99  | BGP102 | 2 | 16.74 | 158 | BGP15 | 3 | 5.23  |
| 41 | BGP38  | 4 | 27.59 | 100 | BGP69  | 2 | 16.57 | 159 | BGP50 | 6 | 3.85  |
| 42 | BGP105 | 2 | 27.51 | 101 | BGP47  | 1 | 16.55 | 160 | BGP65 | 5 | 3.83  |
| 43 | BGP105 | 3 | 26.93 | 102 | BGP83  | 1 | 16.53 | 161 | BGP26 | 1 | 3.33  |
| 44 | BGP102 | 1 | 26.73 | 103 | BGP6   | 5 | 16.51 | 162 | BGP37 | 7 | 3.30  |
| 45 | BGP53  | 6 | 26.59 | 104 | BGP88  | 2 | 16.17 | 163 | BGP7  | 1 | 3.28  |
| 46 | BGP114 | 2 | 26.31 | 105 | BGP47  | 3 | 15.98 | 164 | BGP70 | 5 | 2.82  |
| 47 | BGP7   | 2 | 25.66 | 106 | BGP33  | 7 | 15.84 | 165 | BGP20 | 4 | 2.70  |
| 48 | BGP119 | 2 | 25.59 | 107 | BGP70  | 8 | 15.66 | 166 | BGP20 | 7 | 2.60  |
| 49 | BGP81  | 2 | 25.35 | 108 | BGP35  | 2 | 15.45 | 167 | BGP7  | 5 | 2.51  |
| 50 | BGP48  | 1 | 24.78 | 109 | BGP70  | 7 | 15.31 | 168 | BGP65 | 8 | 1.89  |
| 51 | BGP43  | 6 | 24.58 | 110 | BGP82  | 6 | 15.30 | 169 | BGP9  | 5 | 1.48  |
| 52 | BGP104 | 4 | 24.24 | 111 | BGP26  | 9 | 15.21 | 170 | BGP65 | 4 | 0.46  |
| 53 | BGP53  | 4 | 23.73 | 112 | BGP69  | 5 | 15.05 | 171 | BGP9  | 1 | -0.03 |
| 54 | BGP33  | 4 | 23.66 | 113 | BGP92  | 3 | 14.81 | 172 | BGP65 | 6 | -0.10 |
| 55 | BGP53  | 3 | 23.22 | 114 | BGP92  | 5 | 14.67 | 173 | BGP9  | 7 | -3.37 |

|    |       |   |       |     |       |   |       |     |      |   |       |
|----|-------|---|-------|-----|-------|---|-------|-----|------|---|-------|
| 56 | BGP14 | 1 | 23.21 | 115 | BGP47 | 4 | 14.56 | 174 | BGP9 | 3 | -5.97 |
| 57 | BGP52 | 4 | 22.53 | 116 | BGP88 | 4 | 14.51 | 175 | BGP9 | 8 | -9.40 |
| 58 | BGP8  | 1 | 22.49 | 117 | BGP80 | 1 | 13.88 |     |      |   |       |
| 59 | BGP92 | 4 | 22.49 | 118 | BGP74 | 8 | 13.74 |     |      |   |       |

---