

ROSA ANGELICA PLATA RUEDA

**AVALIAÇÃO DE GERMOPLASMA PARA MELHORAMENTO E A
CONSERVAÇÃO DA MACAÚBA**

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

VIÇOSA
MINAS GERAIS-BRASIL
2014

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

T

P716a Plata Rueda, Rosa Angelica, 1978-
2014 Avaliação de germoplasma para melhoramento e a
conservação da macaúba / Rosa Angelica Plata Rueda. – Viçosa,
MG, 2014.
xii, 44f. : il. ; 29 cm.

Orientador: Sérgio Yoshimitsu Motoike.
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.
Inclui bibliografia.

1. Macaúba. 2. *Acrocomia aculeata*. 3. Melhoramento genético. 4. Diversidade genética. 5. Caracterização fenotípica. 6. Variabilidade morfológica. I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Fitotecnia. Programa de Pós-graduação em Fitotecnia. II. Título.

CDD 22. ed. 633.851

ROSA ANGELICA PLATA RUEDA

**AVALIAÇÃO DE GERMOPLASMA PARA MELHORAMENTO E A
CONSERVAÇÃO DA MACAÚBA**

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

APROVADA: 26 de junho de 2014.

Cosme Damião Cruz
(Coorientador)

Marcos Deon Vilela Resende
(Coorientador)

Leonardo Lopes Bhering

Dario Alves de Oliveira

Sérgio Yoshimitsu Motoike
(Orientador)

Aos meus pais, Gabriel e Amparo,
e ao meu amor Luis Carlos

Dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus pelo seu infinito amor, saúde, equilíbrio e sabedoria.

Aos meus pais, Gabriel e Amparo, pelo amor, companheirismo, educação e pela transmissão de valores de vida imprescindíveis. Sem vocês eu não teria chegado até aqui.

Aos meus irmãos, Gabriel e Luis Felipe; minhas cunhadas, Carolina e Elisa Liliana; e sobrinhos Juan Felipe e Gabriel Alejandro, obrigada por tanto amor, carinho e cuidado. Vocês me fizeram forte e capaz de suportar a distância e todas as dificuldades. Obrigada por acreditarem em mim!

A Luis Carlos, pelo amor, confiança, paciência e companheirismo. Por ser o meu ombro amigo nos momentos difíceis.

À Universidade Federal de Viçosa e ao Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, pela oportunidade de formação.

À instituição de fomento CAPES pela concessão de bolsa. À PETROBRAS por auxílios financeiros para a condução dos trabalhos.

Ao meu orientador, professor Sérgio Motoike, pela confiança, apoio e incentivo constante para a conclusão desse trabalho.

A Dra. Kacilda Naomi, pela confiança e incentivo no trabalho.

Aos professores Cosme Damião e Marcos Deon, pela parceria, apoio constante, dedicação e amizade.

Ao professor Leonardo Lopes Bhering, pela amizade, parceria, e atenção dispensada durante a realização deste trabalho.

Às amigas, Ana Carla, Jacqueline, Marciane, Danielle, Gislayne, Gaby, Isabela, Aurora, Cândida, Thais, pela amizade, carinho e companheirismo.

Aos amigos Rafael, Haroldo, Vinícius, João Fillipi, Janeo, Amalio, Ricardo, Sofrimento, pela amizade e parceria.

Aos amigos e colegas de trabalho, Sr. Itamar, Rui, Valtinho, Tito, Flávio, Gilson, Elimarcio e Beбето, pela imensa ajuda nos trabalhos de campo. Muito obrigada! Ao técnico de laboratório, Francisco, pela amizade e assistência e, aos colegas do grupo REMAPE, pela parceria.

A todos os coordenadores, professores e funcionários da Pós-Graduação em Fitotecnia e todo o Laboratório de Bioinformática, pelos conhecimentos adquiridos, ajuda e amizade.

Aos membros da banca, pela disponibilidade e contribuições.

A todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

Meus sinceros agradecimentos!

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	v
LISTA DE TABELAS	vi
RESUMO	ix
ABSTRACT	xi
INTRODUÇÃO GERAL	1
CAPÍTULO 1	3
RESUMO	4
INTRODUÇÃO.....	5
MATERIAL E MÉTODOS.....	6
Material vegetal	6
Caracterização fenotípica	7
Análises estatística.....	8
RESULTADOS	11
DISCUSSÃO	19
CONCLUSÕES	21
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	21
CAPÍTULO 2	26
RESUMO	27
INTRODUÇÃO.....	28
MATERIAL E MÉTODOS.....	29
Material experimental.....	29
Estimativas de parâmetros genéticos	31
RESULTADOS	33
DISCUSSÃO	38
CONCLUSÕES	40
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	41
CONCLUSÕES GERAIS	44

LISTA DE FIGURAS

Capítulo 1. Diversidade genética e variabilidade morfo-agronômica em progênes de macaúba, *Acrocomia aculeata*.

Figura 1. Representação gráfica de pares de componentes principais A. período 1 (PC₁ e PC₂), B. período 1 (PC₁ e PC₃), C. período 2 (PC₁ e PC₂), D. período 2 (PC₁ e PC₃), e. período 3 (PC₁ e PC₂), F. período 3 (PC₁ e PC₃), G. média dos períodos avaliados (PC₁ e PC₂), H. média dos períodos avaliados (PC₁ e PC₃), nas 54 progênes de macaúba .. 15

Figura 2. Representação gráfica das progênes de macaúba de acordo com o Método de Agrupamento Hierárquico UPGMA baseado na distância euclidiana média padronizada com ponte de corte baseada na metodologia de Mojena. A. período 1, B. período 2, C. período 3, D. média dos períodos avaliados. As letras abaixo das barras representam o grupo formado pelo Método de Tocher 16

LISTA DE TABELAS

Capítulo 1. Diversidade genética e variabilidade morfo-agronômica em progênes de macaúba, *Acrocomia aculeata*.

Tabela 1. Identificação e estado de procedência das progênes avaliadas do Banco de germoplasma de macaúba..... 7

Tabela 2. Características morfo-agronômicas quantitativas avaliadas nas 54 progênes do banco de germoplasma de macaúba 7

Tabela 3. Análise descritiva da média de três períodos avaliados da altura do ápice até a base da planta (ABA), altura da planta (ADE), diâmetro do estipe (DDE), número de folhas (NFH), comprimento da folha (CFO), largura da folha (LFO), comprimento da ráquis (CRA), largura da ráquis (LRA), comprimento do pecíolo (CPE), largura do pecíolo (LPE), número de folíolos direito (NFD), número de folíolos esquerdo (NFI), total de folíolos (TFO), comprimento do folíolo (CFO), largura do folíolo (LFL), índice de área foliar (IAF), angulo basal (ABS), comprimento do menor folíolo (FCM), largura do menor folíolo (FLM), número de flechas (NFL), comprimento da flecha (CFL), espinho na parte superior da nervura do folíolo (ENA), espinho na parte inferior na nervura do folíolo (ENI), espinho na parte superior do ráquis (ERA), espinho na parte inferior do ráquis (ERI), clorofila total (CLT) e diâmetro da copa (DCP)..... 12

Tabela 4. Autovalores e proporção da variação fenotípica explicada associados aos três primeiros eixos no PC em 54 progênes de macaúba no período de avaliação 1, 2 e 3 . 13

Tabela 5. Autovalores e proporção da variação fenotípica explicada associados aos três primeiros eixos no PC em 54 progênes de macaúba na média dos três períodos de avaliação 14

Tabela 6. Matriz de correlação de Pearson da média de três períodos avaliados da altura do ápice até a base da planta (ABA), altura da planta (ADE), diâmetro do estipe (DDE), número de folhas (NFH), comprimento da folha (CFO), largura da folha (LFO),

comprimento da ráquis (CRA), largura da ráquis (LRA), comprimento do pecíolo (CPE), largura do pecíolo (LPE), número de folíolos direito (NFD), número de folíolos esquerdo (NFI), total de folíolos (TFO), comprimento do folíolo (CFO), largura do folíolo (LFL), índice de área foliar (IAF), angulo basal (ABS), comprimento do menor folíolo (FCM), largura do menor folíolo (FLM), número de flechas (NFL), comprimento da flecha (CFL), espinho na parte superior da nervura do folíolo (ENA), espinho na parte inferior na nervura do folíolo (ENI), espinho na parte superior do ráquis (ERA), espinho na parte inferior do ráquis (ERI), clorofila total (CLT) e diâmetro da copa (DCP)	18
---	----

Capítulo 2. Herdabilidade, repetibilidade e ganho genético em características morfo-agronômicas no melhoramento da macaúba.

Tabela 1. Identificação, procedência, latitude (Lat.), longitude (Long.), altitude (Alt.) e número de plantas por progênie (Nip) avaliadas do banco de germoplasma de macaúba	30
---	----

Tabela 2. Características quantitativas avaliadas nas 54 progênies do banco de germoplasma de macaúba.....	32
--	----

Tabela 3. Estimação dos parâmetros genéticos (h^2) herdabilidade individual no sentido restrito, ($CVg\%$) porcentagem do coeficiente da variância genética entre famílias cujos componentes de variância genética aditiva e variância genética de dominância dependem da taxa de autofecundação, (c^2_i) coeficiente de determinação dos efeitos de populações, (c^2_p) coeficiente de determinação dos efeitos de interação genótipo por medição, (r) coeficiente de repetibilidade, (rg_{med}) correlação genética através das medidas repetidas e (Média) média geral do experimento nas características morfo-agronômicas avaliadas em <i>A. aculeata</i>	34
--	----

Tabela 4. Estimativa de repetibilidade (r), numero de medições (m) e repetibilidade esperada com uso de m medições (r_m) em 18 características morfo-agronômicas avaliadas de <i>A. aculeata</i>	35
--	----

Tabela 5. Ganho genético esperado nas características altura do estipe (ADE) diâmetro do estipe (DDE), espinho na parte superior da nervura do folíolo (ENA) e diâmetro da copa (DCP), com a seleção de progênies de *A. aculeata* a um sistema silvipastoril praticada com base na metodologia de máxima verossimilhança restrita (REML) 36

Tabela 6. Estimativas dos ganhos e rank médio pelo método de Mulamba & Mock 1978 na seleção das dez melhores progênies de *A. aculeata* com as características do ideótipo em um sistema silvipastoril 36

Tabela 7. Ganho genético esperado nas características altura do estipe (ADE) diâmetro do estipe (DDE), espinho na parte superior da nervura do folíolo (ENA) e diâmetro da copa (DCP), com a seleção de progênies de *A. aculeata* a um sistema de monocultura praticada com base na metodologia de máxima verossimilhança restrita (REML) 37

Tabela 8. Estimativas dos ganhos e rank médio pelo método de Mulamba & Mock 1978 na seleção das dez melhores progênies de *A. aculeata* com as características do ideótipo em um sistema monocultura 38

RESUMO

PLATA RUEDA, Rosa Angelica; D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, junho de 2014. **Avaliação de germoplasma para melhoramento e a conservação da macaúba.** Orientador: Sérgio Yoshimitsu Motoike. Coorientadores: Cosme Damiano Cruz e Marcos Deon Vilela Resende.

A macaúba, [*Acrocomia aculeata* (Jacq. Lodd. Ex. Mart.) (Arecales: Arecaceae)] é uma espécie oleaginosa de grande potencial de produção de matéria prima para processos bioenergéticos, industriais e alimentícios. Num programa de melhoramento com a espécie é indispensável avaliar as características morfológicas dos acessos e o desempenho agrônomo. É importante também distinguir indivíduos divergentes afim de agregar alelos favoráveis entre indivíduos para as características de interesse. O objetivo deste estudo foi estimar a divergência genética e os parâmetros genéticos por meio da variabilidade morfológica entre progênies de macaúba baseada em caracteres quantitativos. Cinquenta e quatro progênies de *A. aculeata* pertencentes ao banco de germoplasma de palmáceas BGP-Macaúba (Araponga, Minas Gerais, Brasil) foram avaliadas com utilização de 27 características morfo-agronômicas quantitativas na fase vegetativa para dois períodos de inverno seco e um período de verão chuvoso. A diversidade genética foi estimada com base na distância euclidiana média padronizada com o método de agrupamento hierárquico UPGMA e o método de Otimização Tocher. Os métodos supracitados utilizados são baseados em valores genéticos preditos pelo método BLUP. Análises pelo método dos componentes principais e correlação de Pearson sobre dados fenotípicos foram também realizadas. Os parâmetros genéticos estimados foram: herdabilidade individual no sentido restrito, coeficiente da variância genética entre famílias, coeficiente de determinação dos efeitos de ambiente permanente, coeficiente de determinação dos efeitos de interação genótipo por medição, coeficiente de repetibilidade, correlação genética através das medidas repetidas e ganhos esperados com a seleção baseada em valores genéticos preditos pelo método BLUP. Os resultados do trabalho realizado sustentaram que existe elevada variabilidade entre as progênies estudadas. As progênies formaram grupos relacionados à proximidade geográfica. A avaliação precoce (fase juvenil) é mais informativa do que avaliações mais tardias. Avaliações sazonais podem interferir na formação de grupos pelo método de UPGMA. Os resultados dos parâmetros genéticos estimados sustentaram que há excelente potencial seletivo e variabilidade genética suficiente para

o melhoramento genético da população estudada a médio e longo prazo. De maneira geral, a maioria das características apresentou alta herdabilidade, alta repetibilidade e baixa interação entre progênies por medições. Foram identificadas progênies superiores para uso em dois sistemas de cultivo: monocultura e silvipastoril.

ABSTRACT

PLATA RUEDA, Rosa Angelica; D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, June, 2014. **Assesment of germplasm for plant breeding and conservation of the macaw palm.** Adviser: Sérgio Yoshimitsu Motoike. Co-Advisers: Cosme Damião Cruz and Marcos Deon Vilela Resende.

The macaw palm [*Acrocomia aculeata* (Jacq. Ex Lodd Mart.) (Arecales: Arecaceae)] is a specie of great potential as oilseed for the feedstock production of bioenergetical, industrial and food processes. In a plant breeding program of this species is essential to evaluate the morphological characteristics of the accessions and their agronomic performance, it is important to distinguish different individuals in order to aggregate favorable alleles among these individuals for traits of interest. The aim of this study was to estimate the genetic divergence and genetic parameters through morphological variability among macaw palm progenies based on quantitative characters. Fifty-four progenies of *A. aculeata* belonging to the banco de germoplasma de palmáceas BGP-Macaúba (Araçuaçu, Minas Gerais, Brasil) were evaluated using 27 morpho-agronomic characteristics in quantitative vegetative stage for two periods of dry winter and a wet summer period assessment. Genetic diversity was estimated based on Euclidean distance with mean standardized hierarchical clustering method (UPGMA) and Tocher optimization method. These methods are based on breeding values predicted by BLUP method. Analyses using principal components and Pearson correlation on phenotypic data were also performed. The genetic parameters estimated were: individual heritability in narrow sense, coefficient of genetic variance among families, coefficient of determination of permanent environmental effects, coefficient of determination of the effects of genotype by measuring coefficient of repeatability, genetic correlation across repeated measures and gains expected from selection based on breeding values predicted by BLUP method. The results of this study argued that there is high variability among the assessed progenies. The progenies formed groups related to geographical proximity. Early review (juvenile stage) is more informative than the later reviews. Seasonal reviews can interfere with the formation of groups by the UPGMA method. The results of the estimated genetic parameters maintained that there is excellent selective potential in this population and genetic variability enough for the plant breeding population in the medium and long term. In general, most of the features showed high heritability, high repeatability and low interaction of progenies by

measurements. Superior progenies were identified for use in two cropping systems: monoculture and silvopastoral.

INTRODUÇÃO GERAL

A maior parte da energia consumida no mundo provém do petróleo, carvão mineral e gás, que são fontes não renováveis e emissores dos gases do efeito estufa. A crescente preocupação com aquecimento global no mundo tem promovido a criação de políticas públicas para a mitigação dos efeitos das mudanças climáticas (IPCC, 2013). Esta preocupação induziu o governo brasileiro a criar o Programa Nacional de Produção e uso de Biodiesel (PNPB). O programa tem como propósito o desenvolvimento integrado das tecnologias de produção, industrialização e uso do biodiesel, a partir de óleos vegetais (PNPB, 2014).

A sustentabilidade da produção de bicombustíveis depende do desenvolvimento de uma cadeia de produção de matérias primas baseada em fontes não alimentares, de alta produtividade e alta densidade energética. O Brasil apresenta grande potencial para produção de biocombustíveis porque possui localização privilegiada na região tropical e uma ampla área de expansão agrícola, além de inúmeras espécies nativas que produzem óleo.

A macaúba, *Acrocomia aculeata* (Jacq. Lodd. Ex. Mart.) (Arecales: Arecaceae) é uma palmeira oleaginosa de alto potencial econômico, tanto para o setor agrícola como para o setor industrial. É uma espécie perene que ocorre naturalmente desde o sul do México e do Caribe até o Paraguai e norte da Argentina (Scariot et al., 1991; Henderson et al., 1995). No Brasil, populações da macaúba são distribuídas principalmente em área antropizadas do bioma Cerrado e Pantanal (Motta et al., 2002; Ratter et al., 2003; Aquino et al., 2008).

A macaúba produz frutos ricos em óleo do qual pode se extrair diferentes produtos e coprodutos como azeite do tipo “high oleic” do mesocarpo para biodiesel, azeite do tipo láurico da amêndoa para bioquerosene, carvão de alta densidade do endocarpo, além de tortas e farelos de alto valor nutricional (CETEC, 1983). A produtividade da macaúba é a segunda maior entre as oleaginosas, podendo alcançar mais de 5t. ha⁻¹ ano⁻¹ de óleo. O valor da macaúba também está relacionado à sustentabilidade, uma vez que não é utilizada na alimentação humana. O cultivo da espécie possibilita a recuperação de pastagens degradadas, recomposição de áreas de preservação permanente, recomposição de reserva legal em propriedades agrícolas bem

como em plantios consorciados com outras espécies, ou em sistemas agrossilvopastoris fator que viabiliza uma atividade rural de baixo impacto ambiental (Motta et al., 2002; Motoike & Kuki, 2009; Ciconini, 2012).

Apesar do grande potencial, a exploração da macaúba é ainda restrita ao extrativismo e necessita ser melhorada geneticamente para ser cultivada em um sistema de produção agrícola. Nesse sentido a Universidade Federal de Viçosa (UFV) estabeleceu um banco ativo de germoplasma de macaúba para a conservação de diversidade genética e para o melhoramento genético da espécie. O banco de germoplasma se encontra situado no município de Araponga, estado de Minas Gerais. É constituído por 253 progênies de diferentes estados brasileiros e do Paraguai. Os esforços estão altamente concentrados na caracterização (pré-melhoramento) para a seleção das melhores progênies, na constituição do programa de melhoramento genético da macaúba na UFV.

Nesse sentido, este trabalho teve como objetivos: a) avaliar o potencial genético e a diversidade genética de 54 progênies do banco de germoplasma de macaúba por meio da variabilidade morfo-agronômica e b) estimar os parâmetros genéticos e fenotípicos tais como variâncias genéticas e fenotípicas, coeficientes de herdabilidade, repetibilidade e resposta a seleção de progênies de *A. aculeata* conservados no Banco de germoplasma de Macaúba da UFV na fase vegetativa de seu ciclo fenológico visando auxiliar o programa de melhoramento genético.

CAPÍTULO 1

DIVERSIDADE GENÉTICA E VARIABILIDADE MORFO-AGRONÔMICA EM PROGÊNIES DE MACAÚBA, *Acrocomia aculeata*

Diversidade genética e variabilidade morfo-agronômica em progênies de macaúba, *Acrocomia aculeata*

RESUMO

A macaúba [*Acrocomia aculeata* (Jacq. Lodd. Ex. Mart.) (Arecales: Arecaceae)] é uma espécie oleaginosa de grande potencial de produção de matéria prima para processos bioenergéticos, industriais e alimentícios. Em programa de melhoramento da espécie é indispensável avaliar as características morfológicas das progênies e o desempenho agrônômico. É importante também distinguir indivíduos divergentes, afim de agregar alelos favoráveis entre os indivíduos para as características de interesse. O objetivo deste estudo foi estimar a divergência genética por meio da variabilidade morfológica entre progênies de macaúba baseada em caracteres quantitativos. Cinquenta e quatro progênies de *A. aculeata* pertencentes ao banco de germoplasma de palmáceas BGP-Macaúba da UFV (Araponga, Minas Gerais, Brasil) foram avaliadas com utilização de 27 características morfo-agronômicos quantitativos na fase vegetativa para dois períodos de inverno seco e um período de verão chuvoso. A diversidade genética foi estimada com base na distancia euclidiana media padronizada com o método da ligação média entre grupos UPGMA e o método de Otimização Tocher. Esses métodos são baseados em valores genéticos preditos pelo método da melhor predição linear não viciada BLUP. Análises pelo método dos componentes principais e correlação de Pearson sobre dados fenotípicos foram também realizadas. Os resultados deste trabalho sustentaram que existe elevada variabilidade entre as progênies estudadas. As progênies formaram grupos relacionados à proximidade geográfica. A avaliação precoce (fase juvenil) é mais informativa do que avaliações mais tardias. Avaliações sazonais podem interferir na formação de grupos pelo método de UPGMA.

PALAVRAS-CHAVE: *Arecaceae*, banco de germoplasma, caracterização fenotípica, melhoramento genético, variabilidade morfológica.

INTRODUÇÃO

O petróleo tem sido utilizado como fonte de energia, porém trata-se de um recurso natural esgotável, cuja utilização é responsável pela emissão de diversos poluentes, em especial, gases responsáveis pelo efeito estufa. Nesse sentido, a humanidade vem buscando fontes de energia renováveis e desenvolvendo estratégias para mitigar os possíveis impactos econômicos, sociais e ambientais do aquecimento global (Miragaya, 2005).

No Brasil, além da bem sucedida produção de etanol da cana, o governo lançou em 2004 o Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB), como forma de substituir parte do petróleo na matriz energética brasileira por fonte renovável de energia. O programa gerou enorme demanda por óleos vegetais, principal matéria prima do biodiesel e estimulou a expansão das áreas cultivadas por oleaginosas, em especial o da soja. A expansão das áreas cultivadas de soja tem gerado críticas da comunidade internacional, que a consideram um fator gerador de desmatamento, especialmente das florestas tropicais amazônicas. Além disso, o óleo da soja é uma importante fonte alimentar. A utilização da soja para produção de bicompostíveis impacta diretamente a formação de dos preços do produto e pode causar dificuldades, principalmente às comunidades mais pobres que a utilizam como fonte de alimento (Batista, 2006).

A sustentabilidade da produção de bicompostíveis depende então, do desenvolvimento de uma cadeia de produção de matérias primas baseada em fontes não alimentares, de alta produtividade e alta densidade energética. A macaúba, *Acrocomia aculeata* (Jacq. Lodd. Ex. Mart.) (Arecales: Arecaceae) é uma palmeira oleaginosa de alto potencial econômico, tanto para o setor agrícola como para o setor industrial. Ela é uma espécie perene que ocorre naturalmente desde o sul do México e do Caribe até o Paraguai e norte da Argentina (Scariot et al., 1991; Henderson et al., 1995). No Brasil, populações da macaúba são distribuídas principalmente em área antropizadas do bioma Cerrado e Pantanal (Motta et al., 2002; Ratter et al., 2003; Aquino et al., 2008).

A macaúba produz frutos ricos em óleo do qual pode se extrair diferentes produtos e coprodutos como azeite do tipo “high oleic” do mesocarpo para biodiesel, azeite do tipo láurico da amêndoa para bioquerosene, carvão de alta densidade do endocarpo, além de tortas e farelos de alto valor nutricional (CETEC, 1983). A produtividade da macaúba é a segunda maior entre as oleaginosas, podendo alcançar mais de 5t. ha⁻¹ ano⁻¹ de óleo. O valor da macaúba também está relacionado a

sustentabilidade, uma vez que não é utilizado na alimentação humana, além de possibilitar a recuperação de pastagens degradadas, recomposição de áreas de preservação permanente, recomposição de reserva legal em propriedades agrícolas, bem como em plantios consorciados com outras espécies, ou em sistemas agrossilvopastoris, viabilizando uma atividade rural de baixo impacto ambiental (Motta et al., 2002; Motoike & Kuki, 2009; Ciconini, 2012).

Apesar do grande potencial da macaúba, a sua exploração é ainda restrita ao extrativismo. Entretanto, para atender a demanda por óleos vegetais criado pelos diversos programas de produção de biocombustíveis no mundo, há necessidade de se implementar o seu cultivo racional (Wandeck & Justo, 1982; 1988). Um dos primeiros passos para o estabelecimento do cultivo nacional de macaúba é a definição do material genético ou cultivar a ser utilizado nesses plantios. Nesse sentido, a Universidade Federal de Viçosa (UFV) estabeleceu um banco ativo de germoplasma da macaúba para iniciar o seu programa de melhoramento genético. Esse banco se encontra estabelecido no município de Araponga - Minas Gerais e é constituído por 253 progênies oriundos de diferentes estados brasileiros e do Paraguai. Neste momento, os esforços estão concentrados na caracterização dessas progênies (pré-melhoramento) para a seleção dos melhores acessos, na constituição do programa de melhoramento genético da macaúba no Brasil.

O objetivo desse trabalho foi avaliação do potencial genético e da diversidade genética entre acessos do banco de germoplasma de macaúba, representados por 54 progênies, por meio da variabilidade morfo-agronômica para uso em programa de melhoramento da macaúba.

MATERIAL E MÉTODOS

Material vegetal

Foram avaliados cinquenta e quatro progênies de *A. aculeata* pertencentes ao banco de germoplasma de palmáceas BGP-Macaúba localizado no município de Araponga, Minas Gerais, Brasil (20°39'11,1" S, 42°32'04,1" W) a 839 m de altitude, com temperatura média de 18°C e precipitação anual de 1339 mm. O banco de germoplasma é representado por progênies de polinização aberta, plantadas em fevereiro de 2009, provenientes de sementes coletadas nos estados de Minas Gerais e

São Paulo, conforme apresentado na Tabela 1. As progênies estão conservadas *ex situ* cultivados no espaçamento de 5 m entre plantas e 5 m entre linhas. A adubação de plantio foi realizada com a aplicação de 1 kg de termofosfato magnésiano, 200 g de calcário dolomítico e 100 g da fórmula NPK 20-05-20 associada com micronutrientes. As adubações de manutenção foram realizadas conforme as análises de solo e avaliação nutricional das progênies (Pimentel, 2011).

Tabela 1. Identificação e estado de procedência das progênies avaliadas do Banco de germoplasma de macaúba.

Progênies	Local
BGP 1 -10, 12 - 22, 24 - 31, 33, 36 - 38, 40, 43 - 46, 48 - 50, 52 - 54	Minas Gerais
BGP 11, 23, 32, 41	Sem identificação
BGP 34, 35, 39, 42, 47, 51	São Paulo

Caracterização fenotípica

As avaliações foram realizadas semestralmente em três períodos compreendidos entre 2011 e 2012: 1º período inverno seco em junho-dezembro de 2011, 2º período verão chuvoso janeiro-junho de 2012 e 3º período inverno seco em julho-dezembro de 2012. Vinte e sete caracteres morfo-agronômicos quantitativos foram considerados nas avaliações (Tabela 2).

Tabela 2. Características morfo-agronômicas quantitativas avaliadas em 54 progênies do banco de germoplasma de macaúba.

	Características	Unidade	Código
	Altura do ápice até a base da planta	cm	ABA
	Altura da planta	cm	ADE
	Diâmetro da estipe	cm	DDE
	Diâmetro da copa	cm	DCP
	Índice de área foliar	cm ²	IAF
Folha	Folhas	número	NFH
	Ângulo basal	cm	ABS
	Flechas	número	NFL
	Comprimento da flecha	cm	CFL
	Comprimento da folha	cm	CFO
	Largura da folha	cm	LFO
	Comprimento do ráquis	cm	CRA
	Largura do ráquis	cm	LRA
	Comprimento do pecíolo	cm	CPE
	Largura do pecíolo	cm	LPE

Características		Unidade	Código
Folíolo	Folíolos direito	número	NFD
	Folíolos esquerdo	número	NFI
	Total de folíolos	número	TFO
	Comprimento do folíolo	cm	CDF
	Largura do folíolo	cm	LFL
	Comprimento do menor folíolo	cm	FCM
	Largura do menor folíolo	cm	FLM
	Clorofila total	icf	CLT
Espinhos	Espinho na parte superior da nervura do folíolo	número	ENA
	Espinho na parte inferior da nervura do folíolo	número	ENI
	Espinho na parte superior do ráquis	número	ERA
	Espinho na parte inferior do ráquis	número	ERI

ud: unidade; icf: índice de clorofilafalker

Analises estatística

Os dados de campo foram analisados por meio da metodologia de modelos lineares mistos, procedimento da máxima verossimilhança restrita / predição dos valores genéticos pela melhor predição linear não viciada REML/BLUP (Resende, 2007), segundo o seguinte modelo estatístico:

$$y = Xb + Za + e,$$

em que y , b , a , e vetores de dados;

X e Z : matrizes de incidência para b e a , respectivamente;

b escalar de efeito fixo (média geral);

a vetor de efeito genético aditivo (aleatório);

vetor de erros aleatórios.

As equações de modelo misto para a predição BLUP dos valores genéticos individuais equivalem a:

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

$h^2 = \hat{\sigma}_a^2 / (\hat{\sigma}_a^2 + \hat{\sigma}_e^2)$: herdabilidade individual no sentido restrito.

Estimadores dos componentes de variância via algoritmo EM

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

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

em que $\hat{\sigma}_a^2$ variância genética aditiva;

$\hat{\sigma}_e^2$ variância residual

$r(X)$ é posto ou numero de colunas linearmente independentes de X .

$$C^{22} \text{ é da forma } \begin{bmatrix} C^{11} & C^{12} \\ C^{21} & C^{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X'X & X'Z \\ Z'X & Z'Z + A^{-1}(\sigma_e^2 / \sigma_a^2) \end{bmatrix}^{-1}$$

C^{22} advém da matriz inversa dos coeficientes das equações de modelo misto;

N_a número de elementos aleatórios (indivíduos);

A matriz de parentesco genético aditivo;

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

N : número total de dados.

Os dados foram submetidos a análise univariada para testar a hipótese da existência de variabilidade genética e quantificar esta variabilidade durante os três períodos de avaliação. Após a análise univariada, realizou-se a análise multivariada da diversidade genética por meio de técnicas de agrupamento aplicadas a matriz de dissimilaridade. Os valores de distância (medidas de dissimilaridade) foram obtidos a partir dos dados quantitativos das características morfológicas das progênes avaliadas para as análises de diversidade genética. Nas análises, o método de agrupamento hierárquico UPGMA foi utilizado, baseado na distância euclidiana média padronizada, estimada com o uso de dados sem repetição na tentativa de montar um dendograma que pudesse estabelecer grupos de genótipos e também pelo Método de Otimização de Tocher (Cruz & Carneiro, 2003). A formação dos grupos teve como critério o valor máximo da medida de dissimilaridade encontrado no conjunto das menores distâncias envolvendo cada progênie, de tal forma que houvesse homogeneidade dentro do grupo e heterogeneidade entre grupos. Para minimizar a influencia ambiental, na obtenção da matriz de dissimilaridade foi utilizado os BLUPs (melhor predição linear não viciada) dos valores genéticos das características, em substituição à médias fenotípicas, para obtenção da distância euclidiana média padronizada (Resende, 2007). Devido a característica perene da macaúba, o procedimento analítico padrão adotado para os estudos de genética quantitativa e também para a prática de seleção foi o REML/BLUP. Os dados dos valores genéticos foram analisados também pelos métodos dos componentes principais (PC) e da correlação de Pearson.

A matriz de distancias foi obtida por:

$$D_{ii'} = \sqrt{\frac{1}{\rho} \sum_j (x_{ij} - x_{i'j})^2}$$

em que $D_{ii'}$ corresponde a medida de dissimilaridade;

ρ é o número de caracteres analisados,

x_{ij} é o valor predito para o i-ésimo genótipo (1,2,3...54) em referência a j-ésimo característica (j = 1,2,3...27) (Cruz & Regazzi, 1994).

Método de agrupamento

A determinação do ponto de corte do dendrograma foi baseada na metodologia de Mojena (1977), abaixo:

$$PC = \hat{\mu}_\alpha + k\hat{\sigma}_\alpha,$$

em que PC é o ponto de corte, $\hat{\mu}_\alpha$ a média; dos níveis de fusão;

k constante de Milligan & Cooper (1985), que corresponde a 1.25;

$\hat{\sigma}_\alpha$ é o desvio padrão dos pontos de fusão.

Análise de dispersão por componentes principais

Na obtenção dos PC, as seguintes propriedades foram consideradas:

a) Se Y_{ij} é um componente principal, então:

$$Y_{ij} = a_1 x_{i1} + a_2 x_{i2} + \dots + a_p x_{ip}$$

b) Se $Y_{i'j}$ é outro componente principal, então:

$$Y_{i'j} = b_1 x_{i'1} + b_2 x_{i'2} + \dots + b_p x_{i'p} \text{ e,}$$

c) Entre todos os componentes, Y_{ij} apresenta a maior variância, $Y_{i'j}$ a segunda maior, e assim, sucessivamente.

A variância associada a cada componente foi obtida por meio das raízes características (autovalores) da matriz R.

$$(R - \lambda_j I) a_j = 0,$$

em que R é matriz de correlações fenotípicas entre pares de variáveis originais, expresso por valores preditos BLUP;

λ_j são as raízes características ou autovalores da matriz de correlações entre as variáveis originais. Existem p autovalores correspondentes às variâncias de cada um dos p componentes principais;

I é a matriz identidade de dimensão p x p;

α_j = vetor característico ou também chamado autovetor, representa o conjunto de transformações ortogonais nas quais as variáveis originais padronizadas devem ser multiplicadas, para produzir as variáveis transformadas;

A avaliação da capacidade de discriminação do componente estimado foi calculada por meio da equação:

$$Ir_j = \frac{V(Y_{ij})}{\text{Traço de } R} = \frac{\lambda_j}{\sum \lambda_j}$$

sendo:

$$V(Y_{i1}) + V(Y_{i2}) + \dots + V(Y_{ip}) = \text{Traço de } R.$$

em que (Ir_j) é a importância relativa de cada componente e foi avaliada pela porcentagem da variância total.

A análise do modelo linear misto foi realizada no programa SELEGEN (REML/BLUP) (Resende, 2002). As análises de diversidade genética foram realizadas no programa GENES (Cruz, 2013) e R versão 3.0.2 (R Core Team, 2012).

RESULTADOS

Os valores genéticos obtidos pela menor predição não viciada BLUP indicaram que existe variabilidade genética entre as progênies de macaúba para todas as características avaliadas. Dentre estas destacaram-se com maiores coeficientes de variação a altura da planta, o diâmetro do estipe, a largura do pecíolo, o ângulo basal, o número de espinhos na parte superior da nervura do folíolo, o número de espinhos na parte inferior na nervura do folíolo, o número de espinhos na parte superior do ráquis, o número de espinhos na parte inferior do ráquis e diâmetro da copa. (Tabela 3).

Tabela 3. Análise descritiva da média de três períodos de avaliados da altura do ápice até a base da planta (ABA), altura da planta (ADE), diâmetro da estipe (DDE), número de folhas (NFH), comprimento da folha (CFO), largura da folha (LFO), comprimento da ráquis (CRA), largura da ráquis (LRA), comprimento do pecíolo (CPE), largura do pecíolo (LPE), número de folíolos direito (NFD), número de folíolos esquerdo (NFI), total de folíolos (TFO), comprimento do folíolo (CDF), largura do folíolo (LFL), índice de área foliar (IAF), ângulo basal (ABS), comprimento do menor folíolo (FCM), largura do menor folíolo (FLM), número de flechas (NFL), comprimento da flecha (CFL), espinho na parte superior da nervura do folíolo (ENA), espinho na parte inferior na nervura do folíolo (ENI), espinho na parte superior do ráquis (ERA), espinho na parte inferior do ráquis (ERI), clorofila total (CLT) e diâmetro da copa (DCP).

Característica	Média	Mínimo	Máximo	DP	CV
ABA	293,7	257,7	319,1	13,4	4,5
ADE	66,6	47,5	89,9	10,4	15,6
DDE	18,0	13,4	24,2	3,1	17,3
DCP	12,0	8,3	16,6	1,4	11,5
IAF	1,7	1,2	1,9	0,2	9,9
NFH	9,8	7,9	11,9	0,9	9,0
ABS	21,2	18	27,4	2,5	11,7
NFL	1,8	1,6	1,9	0,1	3,4
CFL	239,7	190,3	267,6	16,0	6,7
CFO	231,2	182,6	258,4	15,8	6,9
LFO	111,3	101,9	119,8	4,6	4,1
CRA	205,5	163,2	230,5	15,0	7,3
LRA	2,8	2,4	3,1	0,2	5,7
CPE	27,4	23,9	33,1	2,3	8,3
LPE	13,5	10,9	22,3	2,4	17,4
NFD	129,4	98,9	142,9	9,7	7,5
NFI	125,1	95,3	139,1	9,4	7,5
TFO	254,5	194,2	282	19,0	7,5
CDF	54,2	49,5	58,2	2,1	3,9
LFL	2,1	1,9	2,2	0,1	3,5
FCM	40,2	35,7	44,3	1,9	4,8
FLM	1,0	0,8	1,1	0,1	6,5
CLT	51,6	49	53,9	1,1	2,2
ENA	2,2	0	5,5	1,3	59,9
ENI	0,3	0	1,8	0,5	167,1
ERA	10,1	7,5	15,6	1,7	16,8
ERI	13,5	10,8	19,7	1,9	13,9

Os três componentes principais obtidos na análise de diversidade genética representaram 63,71%, 55,35% e 56,30% das variações totais dos períodos de avaliação 1, 2 e 3, respectivamente. Os três períodos de avaliação compartilharam as características de IAF, DCP, CFO, CPE, ERI, ADE, CFL, IAF e ABA (Tabela 4).

Tabela 4. Autovalores e proporção da variação fenotípica explicada associados aos três primeiros eixos no PC em 54 progênes de macaúba no período de avaliação 1, 2 e 3.

Eixos	PC1			PC2			PC3		
	Aval 1	Aval 2	Aval 3	Aval 1	Aval 2	Aval 3	Aval 1	Aval 2	Aval 3
Autovalores	6,38	5,93	6,20	4,24	3,68	3,49	3,20	3,34	3,19
Proporção da variância									
Individual (%)	37,64	32,51	35,58	16,62	12,55	11,27	9,45	10,29	9,44
Acumulada (%)	37,64	32,51	35,58	54,26	45,06	46,86	63,71	55,35	56,30
Autovetores ^a	IAF	ERI	DCP	CPE	FCM	ADE	LPE	ADE	NFH
	(-0,303)	(0,154)	(-0,286)	(0,329)	(0,398)	(0,324)	(0,516)	(0,402)	(0,389)
	DCP	DCP	CFO	LFO	CFO	FCM	ADE	ABA	CFL
	(-0,288)	(-0,306)	(-0,282)	(0,285)	(0,377)	(0,250)	(0,322)	(0,304)	(0,237)
	ABA	IAF	CRA	CFO	LFO	CPE	FLM	ERA	ABA
	(-0,287)	(-0,293)	(-0,280)	(0,278)	(0,254)	(0,247)	(0,199)	(-0,330)	(0,225)
	NFI	CFO	IAF	ERI	ERI	ERI	CFL	NFI	ENA
(-0,279)	(-0,286)	(-0,276)	(-0,335)	(-0,321)	(0,238)	(-0,394)	(-0,240)	(-0,365)	
TFO	CRA	NFD	ERA	ERA	FLM	CFO	ABS	ENI	
(-0,279)	(-0,284)	(-0,269)	(-0,306)	(-0,312)	(-0,257)	(-0,388)	(-0,239)	(-0,324)	

^a Apenas variáveis que mostram alta carga em diferentes componentes principais foram levados em conta. Aval: Avaliação

Os componentes principais obtidos a partir da média dos três períodos de avaliação representaram 61,40% das variações totais. O primeiro componente principal obtido na análise foi determinado principalmente pelas características morfo-agronômicas DCP, LRA, CFL, NFD e TFO. O segundo componente foi constituído pelas características ERI, ERA, NFH, LPE e CPE. O terceiro componente foi composto pelas características ENA, ENI, ERA, FCM e CFO (Tabela 5).

A representação gráfica dos PC em pares de eixos (1-2) e (1-3) separam as progênes 34, 47 e 51, procedentes do estado de São Paulo das demais progênes avaliadas. Esta divergência é mais visível no período 3, quando as plantas finalizam a fase vegetativa (Figura 1). Na avaliação do período 3, duas novas progênes (39 e 42) são incluídas no grupo geográfico de São Paulo. Observou-se que as características que mais discriminaram as progênes estudadas foram diâmetro do caule, comprimento da folha, quantidade de folíolos na folha, espinho na parte superior da nervura do folíolo e espinho na parte inferior da nervura do folíolo, os quais se apresentaram em menor proporção quando comparadas com as progênes do grupo geográfico de Minas Gerais.

Tabela 5. Autovalores e proporção da variação fenotípica explicada associados aos três primeiros eixos no PC em 54 progênies de macaúba na média dos três períodos de avaliação.

Eixos	PC 1	PC 2	PC 3
Autovalores	6,49	3,81	3,10
Proporção da variância			
Individual (%)	39,05	13,45	8,91
Acumulada (%)	39,05	52,50	61,40
Autovetores ^a	DCP (-0,295)	ERI (0,361)	ENA (0,442)
	LRA (-0,272)	ERA (0,323)	ENI (0,328)
	CFL (-0,268)	NFH (0,289)	ERA (0,289)
	NFD (-0,267)	LPE (-0,354)	FCM (-0,441)
	TFO (-0,267)	CPE (-0,337)	CFO (-0,283)

^a Apenas variáveis que mostram alta carga em diferentes componentes principais foram levados em conta.

Os dendogramas das avaliações dos três períodos gerados pelo método UPGMA agruparam as progênies em quatro grupos no período 1, cinco grupos no período 2 e seis grupos no período 3 (Figura 2). Em todos os períodos avaliados observou-se a formação de um grupo formado especificamente por progênies oriundas do Estado de São Paulo. Este grupo é composto pelas progênies 34 e 51. As demais progênies foram agrupadas em diferentes grupos independentes da origem geográfica da progênie. Observou-se também que a distribuição das progênies entre grupos formados na avaliação do período 1 e período 3 compartilham maior número de progênies do que quando se compara a avaliação dos períodos 1 e 3 com a avaliação do período 2. Na avaliação do período 2, 85% das progênies são agrupados em um único grande grupo, enquanto que nos períodos 1 e 3, umas progênies são distribuídas em dois grupos.

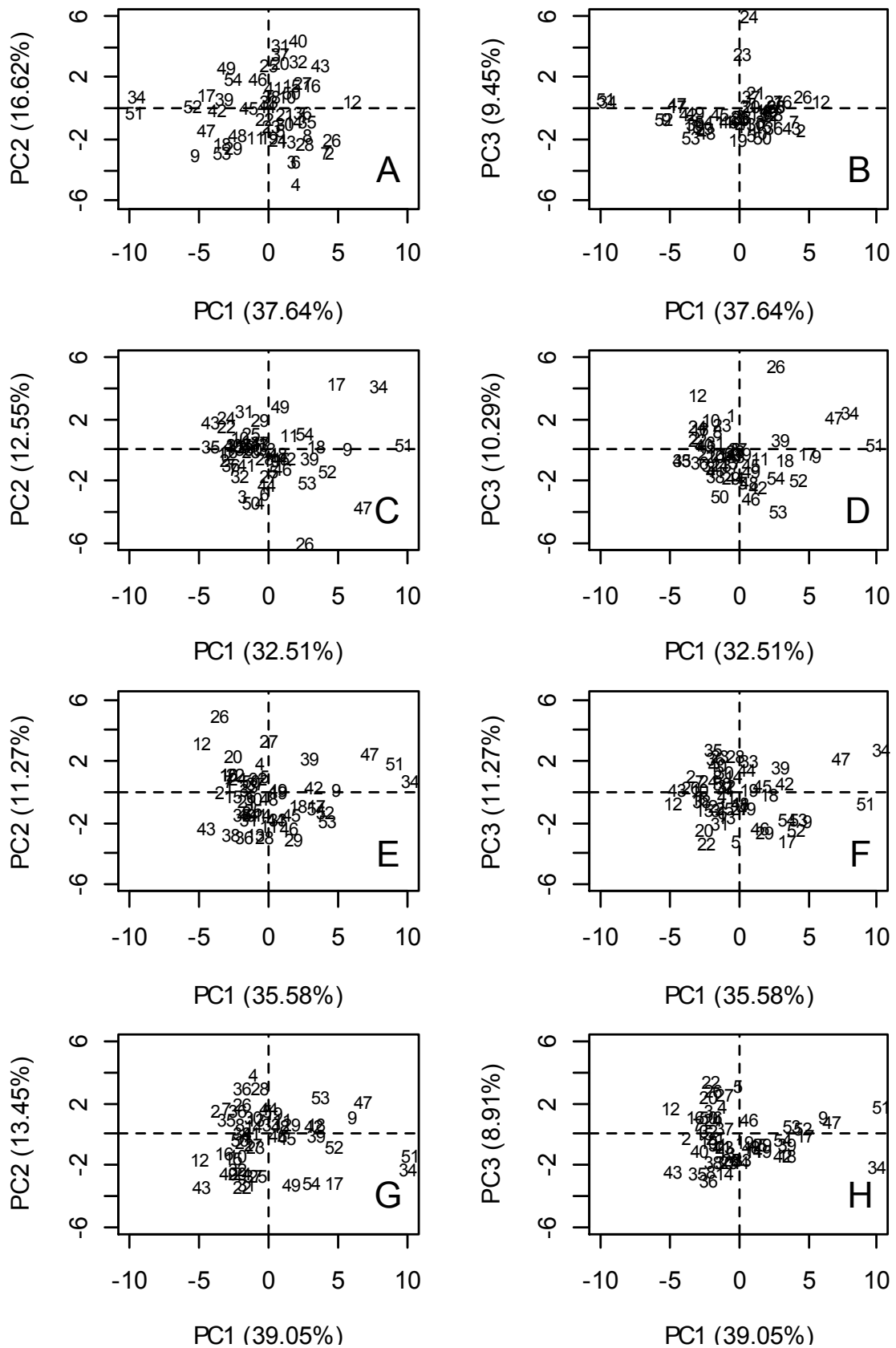


Figura 1. Representação gráfica de pares de componentes principais A. período 1 (PC₁ e PC₂), B. período 1 (PC₁ e PC₃), C. período 2 (PC₁ e PC₂), D. período 2 (PC₁ e PC₃), E. período 3 (PC₁ e PC₂), F. período 3 (PC₁ e PC₃), G. média dos períodos avaliados (PC₁ e PC₂), H. média dos períodos avaliados (PC₁ e PC₃), nas 54 progênies de macaúba.

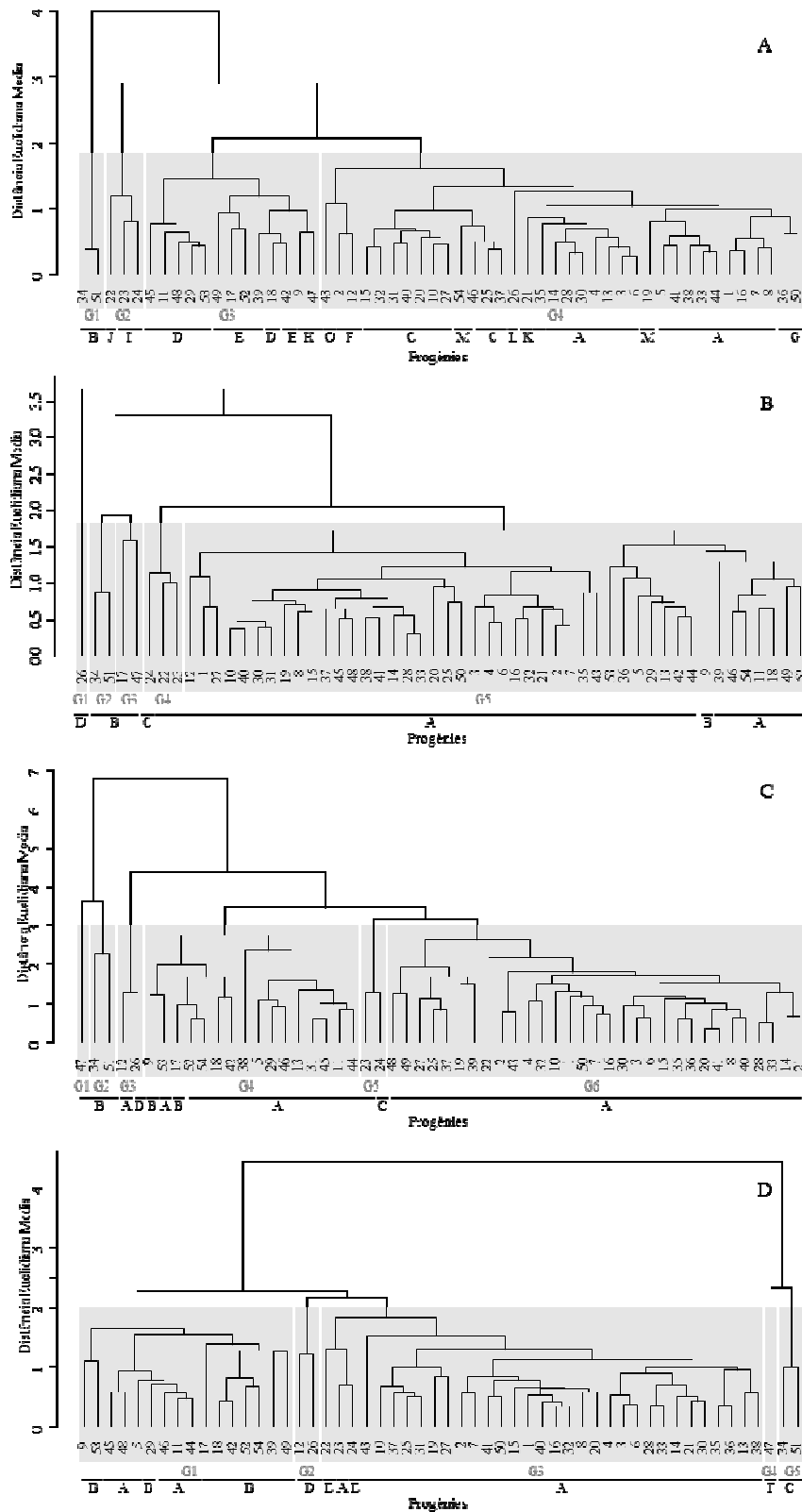


Figura 2. Representação gráfica das progênes de macaúba de acordo com o Método de Agrupamento Hierárquico UPGMA baseado na distância euclidiana média padronizada com ponte de corte baseada na metodologia de Mojena. A. período 1, B. período 2, C. período 3, D. média dos períodos avaliados. As letras abaixo das barras representam o grupo formado pelo Método de Tocher.

O dendograma gerado a partir da média dos períodos avaliados agrupa as progênies em cinco grupos, sendo um grupo especificamente formado por progênies de São Paulo. As demais progênies se distribuem em grupos independentemente da origem geográfica e seguindo o padrão de distribuição observado na avaliação dos períodos 1 e 3.

A avaliação do período 1 pelo método de Tocher agrupam as diversas progênies em 15 grupos, enquanto que avaliação do período 2 e 3 as progênies foram agrupadas em quatro grupos (Figura 2). A partir do segundo período de avaliação as progênies 34, 47 e 51 de São Paulo passaram a constituir um grupo geográfico. A avaliação pela média dos três períodos levou a formação de seis grupos.

A correlação de Pearson, das médias nas características dos períodos avaliados indicou associações maiores que 0,75 nas características: altura do ápice até a base da planta e largura da ráquis, diâmetro da estipe e largura do pecíolo, número de folhas e número de folíolos direito, largura da ráquis e número de folíolos direito, número de folhas e número de folíolos esquerdo, largura da ráquis e número de folíolos esquerdo, número de folíolos direito e número de folíolos esquerdo, número de folhas e total de folíolos, largura da ráquis e total de folíolos, número de folíolos direito e total de folíolos, número de folíolos esquerdo e total de folíolos, largura da folha e comprimento do folíolo, altura do ápice até a base da planta e largura do folíolo, altura do ápice até a base da planta e índice de área foliar, largura da ráquis e índice de área foliar, número de folíolos direito e índice de área foliar, número de folíolos esquerdo e índice de área foliar, total de folíolos e índice de área foliar, largura do folíolo e índice de área foliar, comprimento da flecha e comprimento do folíolo, comprimento da ráquis e comprimento da flecha, altura do ápice até a base da planta e diâmetro da copa. Em todas as anteriores associações o nível foi de 1% de significância (Tabela 6).

Tabela 6. Matriz de correlação de Pearson da média de três períodos avaliados da altura do ápice até a base da planta (ABA), altura da planta (ADE), diâmetro do estipe (DDE), número de folhas (NFH), comprimento da folha (CFO), largura da folha (LFO), comprimento da rãquis (CRA), largura da rãquis (LRA), comprimento do peciolo (CPE), largura do peciolo (LPE), número de folíolos direito (NFD), número de folíolos esquerdo (NFE), total de folíolos (TFO), comprimento do folíolo (CFO), largura do folíolo (LFO), índice de área foliar (LAI), índice de área foliar (LAI), comprimento do menor folíolo (FCM), largura do menor folíolo (FML), número de flechas (NFL), comprimento da flecha (CFL), espinho na parte superior da nervura do folíolo (ENA), espinho na parte inferior da nervura do folíolo (ENI), espinho na parte superior do rãquis (ERA), espinho na parte inferior do rãquis (ERI), clorofila total (CLT) e diâmetro da copa (DCP)

	ABA	ADE	DDE	NFH	CFO	LFO	CRA	LRA	CPE	LPE	NFD	NFI	TFO	CFO	LFO	LAI	ABS	FCM	FML	NFL	CFL	ENA	ENI	ERA	ENI	ERI	CLT	DCP						
1	0,651**	1																																
0,409**	0,684**	1																																
0,47**	0,552**	0,62**	1																															
0,605**	0,027	0,203	0,295*	1																														
0,723**	0,323*	0,118	0,2	0,565**	1																													
0,639**	0,044	0,159	0,263*	0,979**	0,609**	1																												
0,773**	0,715**	0,484**	0,653**	0,359**	0,423**	0,381**	1																											
0,401**	-0,026	-0,273*	-0,233	0,332*	0,411**	0,404**	-0,045	1																										
0,264	0,258	-0,184	-0,183	-0,337*	0,265	-0,25	-0,006	0,657**	1																									
0,716**	0,587**	0,575**	0,773**	0,443**	0,326*	0,441**	0,843**	-0,049	-0,083	1																								
0,716**	0,596**	0,563**	0,781**	0,451**	0,298*	0,446**	0,856**	-0,048	-0,098	0,987**	1																							
0,717**	0,594**	0,572**	0,778**	0,448**	0,312*	0,444**	0,852**	-0,049	-0,091	0,996**	0,996**	1																						
0,738**	0,362**	0,144	0,197	0,573**	0,968**	0,611**	0,43**	0,392**	0,242	0,289*	0,289*	0,289*	1																					
0,755**	0,616**	0,354**	0,461**	0,402**	0,487**	0,431**	0,709**	0,252	0,181	0,657**	0,648**	0,654**	0,482**	1																				
0,886**	0,664**	0,471**	0,637**	0,56**	0,671**	0,583**	0,871**	0,158	0,072	0,851**	0,846**	0,85**	0,667**	0,86**	1																			
0,153	-0,012	-0,286*	-0,238	0,045	0,184	0,074	0,195	0,194	0,169	0,046	0,034	0,04	0,165	0,14	0,123	1																		
-0,066	-0,118	-0,198	-0,121	-0,061	0,314*	-0,049	-0,202	0,115	0,19	-0,232	-0,231	-0,233	0,288*	-0,193	-0,072	-0,057	1																	
0,016	0,117	0,01	0,11	-0,089	0,032	-0,081	-0,011	0,167	0,257	0,076	0,057	0,067	-0,018	0,204	0,093	-0,048	0,398**	1																
0,257	0,167	-0,014	-0,245	0,129	0,31*	0,2	0,127	0,289*	0,189	-0,062	-0,079	-0,07	0,306*	0,271*	0,152	0,27*	-0,068	-0,226	1															
0,6**	0,025	0,214	0,307*	0,998**	0,549**	0,975**	0,358**	0,325*	-0,347**	0,451**	0,438**	0,453**	0,552**	0,401**	0,033	-0,073	-0,106	0,118	1															
0,313*	0,245	0,656	-0,653	0,113	0,139	0,151	0,153	0,287*	0,307*	0,152	0,183	0,168	0,209	0,178	0,225	0,033	-0,215	-0,154	0,104	0,107	1													
0,179	0,24	0,167	0,057	0,034	0,14	0,085	0,08	0,036	0,106	0,083	0,105	0,084	0,194	0,122	0,176	-0,306*	0,077	-0,152	0,282*	0,038	0,26	1												
0,149	0,413**	0,608**	0,588**	0,06	-0,086	0,028	0,38**	-0,28*	-0,189	0,468**	0,494**	0,493**	-0,042	0,232	0,233*	-0,21	-0,31*	0,001	-0,183	0,074	0,185	0,09	1											
0,074	0,318*	0,382**	0,511**	-0,155	-0,213	-0,182	0,32*	-0,547**	-0,115	0,374**	0,384**	0,381**	-0,192	0,301*	0,265	-0,328*	-0,207	0,155	-0,226	-0,141	-0,016	0,009	0,715**	1										
0,327*	0,164	-0,12	-0,16	0,228	0,416**	0,251	0,218	0,232	0,125	-0,019	-0,012	-0,016	0,396**	0,152	0,203	0,197	-0,072	0,407**	0,213	0,171	0,141	-0,201	-0,183	1										
0,902**	0,69**	0,533**	0,588**	0,543**	0,592**	0,562**	0,806**	0,156	0,081	0,796**	0,797**	0,798**	0,801**	0,666**	0,87**	0,645	-0,016	0,096	0,169	0,539**	0,238	0,213	0,278*	0,195	0,263	1								

** = significativo à 1% (p<0.01), * = significativo à 5% (p<0.05)

DISCUSSÃO

A caracterização dos acessos de um banco de germoplasma é um passo importante no pré-melhoramento de uma espécie, pois possibilita conhecer a sua variabilidade genética e direcionar o programa de melhoramento genético (Simmonds, 1993; Barcelos et al., 2002; Moretzsohn et al., 2002). No presente estudo, 54 progênies de polinização aberta de *A. aculeata* foram caracterizadas quanto a características morfológicas e a divergência entre as progênies estudadas com base em um modelo misto (BLUP) e pelos métodos de PC, Tocher e UPGMA. A avaliação pelo BLUP mostrou-se importante no trabalho uma vez que o método se ajusta aos dados fenotípicos desbalanceados, típico de um banco de germoplasma ativo de plantas perenes como *A. aculeata* (Henderson & Quaas, 1976; Resende, 2002).

Dentre as diversas características analisadas a altura do estipe, o diâmetro do estipe, o número de folhas, o comprimento da folha, o diâmetro da copa, o comprimento da flecha, o número total de folíolos na folha e o número de espinhos na nervura do folíolo representaram a grande proporção da variabilidade observada para *A. aculeata* (Tabela 3). As características supracitadas podem ser consideradas relevantes e serem utilizadas como descritores quantitativos na diferenciação dos diversos acessos, além de representarem descritores de fácil mensuração e de fácil percepção. Foram características utilizadas também como descritores por Mason (1915), Rhouma (1994, 2005), Belguedj (2002), Elhoumaizi et al. (2002), Ould Mohamed Salem et al. (2008) e Mohamed Ahmed et al. (2011) em *Phoenix dactylifera*; Corley & Gray (1976) em *Elaeis guineensis* e *Elaeis oleifera*; Bovi (1990a) e Oliveira et al. (2006) em *Euterpe oleracea*; Sugimura et al. (1997) em *Cocos nucifera*; Farias Neto & Resende (2001) em *Bactris gasipaes*; Oliveira et al. (2003) em *Astrocaryum vulgare*.

Os componentes principais dos três períodos avaliados compartilharam algumas características como importantes tais como DCP, CFO, CPE, ERI, ADE, CFL, CFO, IAF e ABA (Tabela 4,5 e 6). Essas características provavelmente apresentam maior estabilidade às variações sazonais e ontogenéticas e constituem por tanto descritores de maior fidelidade na predição genotípica, uma vez que as avaliações foram realizadas em períodos distintos de seca e de chuva e em três idades ontogênicas das plantas. As demais características avaliadas sofreram maior influência do ambiente e da idade da planta.

Apesar dos dois primeiros componentes principais nas avaliações dos três períodos não acumularem mais que 54,26% da variação total, o estudo de dispersão gráfica foi eficiente em separar grupos de origem geográfica distintos. Isso pode ser observado nas progênies originários do Estado de São Paulo, as quais ficaram separadas das demais progênies. Resultados similares foram relatados por Sugimura et al. (1997) em *Cocos nucifera*; Oliveira et al. (2006) em *Euterpe oleracea* e Ould Mohamed Salem et al. (2008) em *Phoenix dactylifera*.

Os agrupamentos obtidos tanto pelos métodos UPGMA quanto Tocher, para os três períodos avaliados formaram um grupo especificamente composto por progênies do Estado de São Paulo. Porém, nem todas as progênies oriundas do Estado de São Paulo foram agrupadas nesse grupo, demonstrando que há variabilidade genética mesmo entre progênies coletadas nesse estado que se encontra em número menor no BGP-Macaúba. Trabalhos feitos de caracterização da espécie *A. aculeata* com utilização de marcadores microsatélites para as regiões geográficas de São Paulo e Minas Gerais corroboraram com esses resultados (Nucci et al., 2008; Manfio et al., 2012).

As avaliações sazonais podem interferir na formação de grupos pelo método UPGMA. Avaliações realizadas no período de inverno seco (período 1 e 3) compartilham entre si maior número de progênies por grupo formado quando comparado com avaliações realizadas no período verão chuvoso (período 2).

O método de Tocher permitiu formar 15 grupos distintos no primeiro período de avaliação. Nos demais períodos esse número foi reduzido para 4 grupos. A redução do número de grupos da primeira avaliação para os demais pode ser devido a mudanças morfológicas geradas pela maturação ontogênica das progênies. Durante essa maturação muitas diferenças morfológicas observadas na fase juvenil da planta se reduzem tornando-se imperceptível ao longo do desenvolvimento. Os resultados demonstraram a importância de uma avaliação precoce das progênies no campo, pois a avaliação na fase juvenil das plantas mostrou ser mais informativa e discriminatória. Além disso, as plantas juvenis são de mais fácil mensuração e conseqüentemente as atividades desenvolvidas e os custos são menores. Os resultados obtidos também foram observados por Abreu et al. (2009) em estudos de variabilidade genética de *Jatropha curcas*.

O método de Otimização de Tocher alocou as progênies previamente definidos como mais divergentes de forma isolada em grupos distintos. Este acontecimento pode ser explicado porque o método de Tocher preconiza sempre as maiores distâncias entre

grupos em relação à distâncias dentro dos grupos sendo considerado um método exclusivo na formação de grupos de progênie (Bertan et al., 2006). O UPGMA associado ao método de Tocher fornece suporte mais eficiente para determinação de divergência, visto que Tocher discrimina cada grupo e o UPGMA discrimina cada progênie.

A correlação de Pearson indica que o número de características avaliadas pode ser reduzido, uma vez que muitos se mostraram redundantes, apresentando associações maiores que 75% entre elas. Das associações obtidas entre as características morfológicas avaliadas as mais relevantes foram: ABA, DCP, CFO, LFO, NFH, CFL, CRA e TFO (Tabela 8). Trabalhos obtidos com essas variáveis são encontrados em outras palmeiras como *Bactris gasipaes* Bovi et al. (1990a, 1990b) e em *Euterpe oleracea* Oliveira et al. (2003).

CONCLUSÕES

Existe elevada divergência dentro das progênie estudadas de *A. aculeata* do BGP-Macaúba.

Progênie do Estado de São Paulo constituem um grupo genético diferente das progênie do Estado de Minas Gerais.

A primeira avaliação (Período 1) se mostrou mais informativa que as demais avaliações realizadas quando a diversidade é estudada pelo método de Tocher.

Avaliações sazonais interferiram na formação de grupos pelo método de UPGMA.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abreu, F.B., Resende, M.D.V. de, Anselmo, J.L., Saturnino, H.M., Brenha, J.A.M., Freitas, F.B. de., 2009. Variabilidade genética entre acessos de pinhão-mansão na fase juvenil. *Magistra* 21: 36-40.
- Aquino, F.G., Silva, M.R., Ratter, J.A., et al., 2008. Distribuição geográfica das espécies *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Mart. e *Caryocar brasiliense* Cambess no Bioma Cerrado. In: Anais do IX Simpósio Nacional do Cerrado e II

- Simpósio Internacional de Savanas Tropicais, EMBRAPA Cerrados, Brasília, p. 6.
- Batista, A.C.F., 2006. Biodiesel no Tanque http://www.ambientebrasil.com.br/composer.php3?base=./energia/index.html&conteudo=./energia/artigos/óleo_vegetal.html (17 julho 2006).
- Barcelos, E., Amblard, P., Berthaud, J., Seguin, M., 2002. Genetic diversity and relationship in American and African oil palm as revealed by RFLP and AFLP molecular markers. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira* 37: 1105-1114.
- Belguedj, M., 2002. Les ressources génétiques du palmier dattier. Caractéristiques des cultivars de dattiers du Sud-Est du Sahara algérien. *Dossiers-Documents-Débats* No.1. Alger: éditions INRAA.
- Bertan, I., Carvalho, F.I.F. de, Oliveira, A.C. de, Vieira, E.A., Hartwig, I., Silva, J.A.G. da, Shimidt, D.A.M., Valério, I.P., Busato, C.C., Ribeiro, G., 2006. Comparação de métodos de agrupamento na representação da distância morfológica entre genótipos de trigo. *Revista Brasileira de Agrociência* 12: 279-286.
- Bovi, M.L.A., Júnior, G.G., Spiering, S.H., Camargo, S.B., 1990a. Relação entre caracteres da planta e do palmito de açazeiros. *Bragantia*, Campinas 49: 69-81.
- Bovi, M.L.A., Godoy Júnior, G., Spiering, S.H., Camargo, S.B., 1990b. Correlações fenotípicas entre caracteres avaliados nos estádios juvenil e adulto de açazeiros. *Bragantia*, Campinas 49: 321-334.
- CETEC-Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais, 1983. Produção de combustíveis líquidos a partir de óleos Vegetais. Volume 1: Estudo das oleaginosas nativas de Minas Gerais Relatório final de projeto Convênio STI-MIC / Governo do Estado de Minas Gerais / Secretaria de Estado de Ciência Tecnologia.
- Ciconini, G., Palma, S., F., Roscoe, R., 2012. Caracterização de frutos e óleo de polpa de macaúba dos biomas Cerrado e Pantanal do estado de Mato Grosso do Sul, Brasil.
- Corley, R.H.V., Gray, B.S., 1976. Yield and yield components. In: *Oil palm research*. Corley, R. H. V.; Hardon, J. J.; Wood, B. J. (Ed.). Amsterdam: Elsevier, p. 77-86.
- Cruz, C.D., 2013. Genes: a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. *Acta Scientiarum, Agronomy* 35: 271-276.
- Cruz, C.D., Carneiro, P.C.S., 2003. Modelos Biométricos Aplicados ao Melhoramento Genético volume 2, 1th. Editora UFV, Viçosa, 585 p.

- Cruz, C.D., Regazzi, A.J., 1994. Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético. 2.ed. Viçosa: UFV, 390p.
- Elhoumaizi, M.A., Saaidi, M., Oihabi, A., Cilas, C., 2002. Phenotypic diversity of date-palm cultivars (*Phoenix dactylifera* L.) from Morocco. Genetic Resources and Crop Evolution 49: 483-490.
- Farias-Neto, J.T., Resende, M.D.V., Oliveira, M.S.P., Nogueira, O.L., Falcão, P.N.B., Santos, N.S.A., 2008. Estimativas de parâmetros genéticos e ganhos de seleção em progênies de polinização aberta de açaizeiro. Revista Brasileira de Fruticultura 30: 1051-1056.
- Farias-Neto, J.T., Resende, M.D.V., 2001. Aplicação da metodologia de modelos mistos (REML/BLUP) na estimação de componentes de variância e predição de valores genéticos em pupunheira (*Bactris gasipaes*). Revista Brasileira de Fruticultura 23: 320-324.
- Henderson, A., Galeano, G., Bernal, R., 1995. Field guide to the palms of the Americas. Princeton University Press, Princeton, NJ. 352 p.
- Henderson, C.R., Quaas, R.L., 1976. Multiple trait evaluation using relatives records. Journal of Animal Science 3: 1188-1197.
- Jolliffe, I.T., 1973. Discarding variables in a principal component analysis. II. Real data. Applied Statistics 22: 21-31.
- Manfio, C.E., Motoike, S.Y., Resende, M.D.V., Santos, C.E.M. dos, Sato A.Y., 2012. Avaliação de progênies de macaúba na fase juvenil e estimativas de parâmetros genéticos e diversidade genética. Pesquisa Florestal Brasileira 32: 63-68.
- Mason, S.C., 1915. Botanical characters of the leaves of date-palm used in distinguishing cultivated varieties. United States Department of Agriculture, Bulletin 223.
- Milligan, G.W., Cooper, M.C., 1985. An examination of procedures for determining the number of clusters in a data set. Psychometrika 50: 159-179.
- Miragaya, J.C.G., 2005. Biodiesel: tendências no mundo e no Brasil. Informe Agropecuário, Belo Horizonte 26: 7-13.
- Mohamed Ahmed, M.V.O., Bouna, Z.E.O., Mohamed Lemine, F.M., Djeh, T.K.O., Mokhtar, T., Mohamed Salem, A.O., 2011. Use of multivariate analysis to assess phenotypic diversity of date palm (*Phoenix dactylifera* L.) cultivars. Scientia Horticulturae 127: 367-371.

- Mojena, R., 1977. Hierarchical grouping method and stopping rules: an evaluation. *The Computer journal* 20: 359-363.
- Moretzsohn, M.C., Ferreira, M.A., Amaral, Z.P.S., Coelho, P.J.A., Grattapaglia, D., Ferreira, M.E., 2002. Genetic diversity of Brazilian oil palm (*Elaeis oleifera* H.B.K.) germplasm collected in the Amazon Forest. *Euphytica* 124: 35-45.
- Motoike, S.Y., Kuki, K.N., 2009. The potential of macaw palm (*Acrocomia aculeata*) as source of biodiesel in Brazil. *International Review of Chemical Engineering* 1: 632-635.
- Motta, P.E.F., Curi, N., Oliveira-Filho, A.T., Gomes, J.B.V., 2002. Occurrence of macaúba in Minas Gerais, Brazil: relationship with climatic, pedological and vegetation attributes. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 37: 1023-1031.
- Nucci, S.M., Azevedo-Filho, J.A., Colombo, C.A., Priolli, R.H.G., Coelho, R.M., Mata, T.L., Zucchi, M.I., 2008. Development and characterization of microsatellites markers from the macaw. *Molecular Ecology Resources* 8: 224-226.
- Oliveira, M.S.P., Neto, J.T.F., do Nascimento, W.M.O., 2003. Parâmetros Genéticos para Caracteres Germinativos em Vinte Progênes de Açaizeiro Promissoras para Palmito *Boletim de Pesquisa Florestal* 46: 105-113.
- Oliveira, M. do S.P. de, Ferreira, D.F., Santos, J.B. dos., 2006. Seleção de descritores para caracterização de germoplasma de açaizeiro para produção de frutos. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira* 41: 1133-1140.
- Ould Mohamed Salem, A., Rhouma, S., Zehdi, S., Marrakchi, M., Trifi, M., 2008. Morphological variability of Mauritanian date-palm (*Phoenix dactylifera* L.) cultivars as revealed by vegetative traits. *Acta Botanica Croatica* 67: 81-90.
- Pimentel, D.L., Bruckner, H.C., Martinez, H.E.P., Teixeira, C.M., Motoike, S.Y., Neto, J.C.P., 2011. Recomendação de adubação e calagem para o cultivo da macaúba: 1a aproximação. *Informe Agropecuario, Belo Horizonte* 32: 20-31.
- R Development Core Team (2012) *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Ratter, J.A., Bridgewater, S., Ribeiro, J.F., 2003. Analysis of the floristic composition of the Brazilian cerrado vegetation III: comparison of the woody vegetations of 376 areas. *Edinburgh Journal of Botany* 60: 57-109.
- Resende, M.D.V. de., 2002. *Genética biométrica e estatística: no melhoramento de plantas perenes*. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 975 p.

- Resende, M.D.V. de., 2007. Matemática e estatística na análise de experimentos e no melhoramento genético. Colombo: Embrapa Florestas, 435 p.
- Rhouma, A., 1994. Le palmier dattier en Tunisie I. Le patrimoine génétique, Tunis, Arabesques, INRA Tunisie, GRIDAO France, PNU D/FAO, vol. 1, 254 p.
- Rhouma, A., 2005. Le palmier dattier en Tunisie I. Le patrimoine génétique, Tunis, Arabesques, IPGRI, Rome, Italy., vol. 2, 275 p.
- Scariot, A.O., Lleras, E., Hay, J.D., 1991. Reproductive biology of the palm *Acrocomia aculeata* in Central Brazil. *Biotropica* 23:12-22.
- Simmonds, N.W., 1993. Introgression and incorporation: strategies for the use of crop genetic resources. *Biological Review*, New York 68: 539-562.
- Sugimura, Y., Itano, M., Salud, C.D., Otsuji, K., Yamaguchi, H., 1997. Biometric analysis on diversity of coconut palm: cultivar classification by botanical and agronomical traits. *Euphytica* 98: 29-35.
- Wandeck, F.A., Justo P.G., 1982. A macaúba, fonte energética e insumo industrial - sua significação econômica no Brasil. 52 p.
- Wandeck, F.A., Justo P.G., 1988. A macaúba, fonte energética e insumo industrial: sua significação econômica no Brasil. In: Simposio Sobre O Cerrado, Savanas, 6., Brasília. Anais. Planaltina: Embrapa, CPAC, p. 541-577.

CAPÍTULO 2

HERDABILIDADE, REPETIBILIDADE E GANHO GENÉTICO DE CARACTERÍSTICAS MORFO-AGRONÔMICAS NO MELHORAMENTO EM MACAÚBA

Herdabilidade, repetibilidade e ganho genético de características morfo-agronômicas no melhoramento em macaúba

RESUMO

A macaúba, [*Acrocomia aculeata* (Jacq. Lodd. Ex. Mart.) (Arecales: Arecaceae)] é uma espécie oleaginosa de grande potencial de produção de matéria prima para processos bioenergéticos, industriais e alimentícios. Em programa de melhoramento dessa espécie é indispensável avaliar as características morfológicas das progênies e o desempenho agronômico, sendo importante distinguir indivíduos superiores e divergentes. O objetivo deste estudo foi estimar os parâmetros genéticos de variáveis morfológicas avaliadas em progênies de macaúba. Cinquenta e quatro progênies de *A. aculeata* pertencentes ao banco de germoplasma de palmáceas BGP-Macaúba (Araponga, Minas Gerais, Brasil) foram avaliadas com utilização de 18 características morfo-agronômicas quantitativas na fase vegetativa. Os parâmetros genéticos estimados foram: herdabilidade individual no sentido restrito, coeficiente da variância genética entre famílias, coeficiente de determinação dos efeitos de ambiente permanente, coeficiente de determinação dos efeitos de interação progênies por medições, coeficiente de repetibilidade, correlação genética por meio das medidas repetidas e ganhos esperados com a seleção baseada em valores genéticos preditos pelo método da melhor predição linear não viciada BLUP. Os resultados do trabalho desenvolvido sustentaram a presença de excelente potencial seletivo e variabilidade genética suficiente para o melhoramento genético da população estudada a médio e a longo prazo. De maneira geral, a maioria das características apresentou alta herdabilidade, alta repetibilidade e baixa interação progênies por medições. Foram identificadas progênies superiores para uso em dois sistemas de cultivo: monocultura e silvipastoril.

PALAVRAS-CHAVE: *Acrocomia aculeata*, genética quantitativa, melhoramento genético, parâmetros genéticos.

INTRODUÇÃO

A maior parte da energia consumida no mundo provém do petróleo, carvão mineral e gás, que são fontes não renováveis e emissores dos gases do efeito estufa. A crescente preocupação com aquecimento global no mundo tem promovido a criação de políticas públicas para a mitigação dos efeitos das mudanças climáticas (IPCC, 2013). Esta preocupação induziu o governo brasileiro a criar o Programa Nacional de Produção e uso de Biodiesel (PNPB). Este programa tem como propósito o desenvolvimento integrado das tecnologias de produção, industrialização e uso do biodiesel, a partir de óleos vegetais (PNPB, 2014).

O Brasil apresenta grande potencial para produção de biocombustíveis porque possui localização privilegiada na região tropical e uma ampla área de expansão agrícola, além de inúmeras espécies nativas que produzem óleo. Dentre estas espécies destaca-se a macaúba [*Acrocomia aculeata* (Jacq. Lodd. Ex. Mart.) (Arecales: Arecaceae)] uma palmeira neotropical de grande distribuição geográfica com alto potencial econômico, tanto para o setor agrícola como para o setor industrial. A macaúba ocorre naturalmente desde o sul do México e do Caribe até o Paraguai e norte da Argentina (Scariot et al., 1991; Henderson et al., 1995). No Brasil, populações nativas de macaúba são distribuídas principalmente em regiões de Minas Gerais, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Goiás (Motta et al., 2002; Ratter et al., 2003; Lorenzi et al., 2004; Aquino et al., 2008).

A macaúba produz frutos ricos em óleo do qual pode se extrair diferentes produtos e coprodutos como azeite rico em ácido oléico do mesocarpo, azeite rico em ácido láurico da amêndoa, carvão de alta densidade do endocarpo, além de tortas protéicas com alto valor nutricional (CETEC, 1983). Apresenta produtividade agrônômica elevada com produção estimada de 5t. ha⁻¹ ano⁻¹ de óleo. É considerada uma planta rústica que pode ser facilmente encontradas em ambientes intemperados e de evidente déficit hídrico, como das regiões de cerrado (Henderson et al., 1995; Lopes, 2011).

A pesar do grande potencial da macaúba, a exploração é ainda restrita ao extrativismo e necessita ser melhorada geneticamente para ser cultivada em um sistema agrícola. Nesse sentido a Universidade Federal de Viçosa (UFV) estabeleceu um banco ativo de germoplasma de macaúba para a conservação de diversidade genética e para o melhoramento genético da espécie. O banco de germoplasma se encontra situado no

município de Araponga - Minas Gerais e é constituído por 253 acessos de diferentes estados brasileiros e do Paraguai. Neste momento, os trabalhos se concentram na caracterização genética das progênies por meio de diversas características morfo-agronômicas as quais permitirão a seleção das melhores progênies para formação da coleção nuclear e subsidiar estratégias no programa de melhoramento genético da macaúba no Brasil.

Estudos de parâmetros genéticos tais como variâncias genética aditiva e não-aditiva, correlações e herdabilidades são importantes em programas de melhoramento de plantas, pois permite conhecer a estrutura genética das populações para fins de seleção. Adicionalmente, a determinação da magnitude das estimativas de herdabilidade fornece subsídios para definição das estratégias de seleção bem como auxiliam a predição de ganhos obtidos (Fehr, 1987; Cruz & Carneiro, 2004). No entanto, a avaliação e seleção em plantas perenes apresentam uma série de particularidades que influenciam no melhoramento genético. Um fator inerente do melhoramento de plantas perenes tal como de *A. aculeata* é a redução da taxa de sobrevivência nos experimentos ao longo dos anos, com geração de dados desbalanceados para a estimação de parâmetros genéticos e predição de valores genotípicos (Resende et al., 2007).

Nesse sentido, este trabalho teve como objetivo a obtenção de parâmetros genéticos e fenotípicos tais como variâncias genéticas e fenotípicas, coeficientes de herdabilidade, repetibilidade e a resposta a seleção de progênies de *A. aculeata* conservados no Banco de germoplasma de Macaúba da UFV na fase vegetativa do ciclo fenológico. Os dados obtidos serão utilizados como subsídios para auxiliar o programa de melhoramento genético da macaúba no Brasil.

MATERIAL E MÉTODOS

Material experimental

Foram avaliados 54 progênies de polinização aberta de *A. aculeata* estabelecidos no banco ativo de germoplasma de Macaúba da UFV, localizado no município de Araponga, Minas Gerais, Brasil, nas coordenadas de 20°39'11,1" S, 42°32'04,1" W e 839 m de altitude. O banco de germoplasma é representado por progênies cultivadas desde fevereiro de 2009, proveniente de sementes coletadas nos estados de Minas Gerais e São Paulo (Tabela 1). As progênies são cultivadas em espaçamento de 5,0 m

entre plantas e 5,0 m entre linhas. O clima da região segundo a classificação de Köppen é temperado chuvoso, sendo novembro, dezembro e janeiro o período mais chuvoso e o mais seco, nos meses de junho, julho e agosto. A temperatura média anual de 18°C e precipitação média anual de 1339 mm. As adubações do plantio foram realizadas de acordo com análises de solo e recomendações de Motoike et al. (2013).

Tabela 1. Identificação, procedência, latitude (Lat.), longitude (Long.), altitude (Alt.) e número de plantas por progênie (Nip) avaliadas do banco de germoplasma de macaúba.

BAG	Procedências	Lat.	Long.	Alt.(m)	Nip
BGP1	SJDR-Lavras após trevo de Nazareno	21°16'22,5"S	044°35'23,5"W	957	4
BGP2	Sabará-Caeté	19°53'19,8"S	043°41'14,5"W	992	5
BGP3	Boate Azul – São João Del Rei	21°11,4'54"S	044°19,5'45"W	925	4
BGP4	Ribeirão das Neves-Sete Lagoas	19°41'52,2"S	044°10'33,8"W	876	5
BGP5	Barroso-Tiradentes	21°09'51,9"S	044°08'52,5"W	922	5
BGP6	Boate Azul – São João Del Rei	21°11,4'54"S	044°19,5'45"W	924	7
BGP7	BR-262 (Betim-Esmeralda)	19°55'24,1"S	044°16'15,7"W	769	6
BGP8	Entre Rio de Minas (saída p/ Lafaiete)	20°38'57,7"S	044°01'18,5"W	960	9
BGP9	Piranga	20°39,3'34"S	043°18,8'02"W	679	8
BGP10	Montes Claros				10
BGP11	Cachoeira do Campo-Itabirito (Trevo de Amarantina)	20°17,7'04"S	043°42,5'65"W	942	9
BGP12	Ibiá - Araxá	19°33'11,5"S	046°51'13,4"W	917	10
BGP13	Sítio Paraíso				9
BGP14	Boate Azul – São João Del Rei	21°11,4'54"S	044°19,5'47"W	925	1
BGP15	Barroso - em frente a uma bica d'água	21°10'02,2"S	044°08'21,0"W	906	10
BGP16	Martinho Campos - Abaeté	19°16'12,9"S	045°17'15,2"W	620	9
BGP17	Pereirinhas-Entre Rio de Minas	20°40'32,0"S	044°12'09,6"W	995	10
BGP18	Viçosa	20°42,3'71"S	043°00,2'17"W	622	1
BGP19	Janaúba				2
BGP20	Pitangui - Martinho Campos	19°24'34,4"S	045°09'28,0"W	681	8
BGP21	BH-Sabará (Polícia Estadual)	19°52'33,6"S	043°52'23,5"W	709	9
BGP22	Abaeté - Cedro do Abaeté	19°07'15,9"S	045°51'40,0"W	991	9
BGP23	NAO IDENTIFICADO				1
BGP24	SJDR-Lavras após pão de queijo	21°14'39,2"S	044°26'59,2"W	1049	2
BGP25	Montes Claros	20°50'12,7"S	042°54'30,1"W	592	9
BGP26	Itaúna-Pará de Minas	19°56'28,6"S	044°36'15,1"W	989	10
BGP27	Abaeté - Cedro do Abaeté	19°09'19,1"S	045°41'34,5"W	851	9
BGP28	Pará de Minas - Onça do Pitangui	19°48'51,8"S	044°38'55,9"W	743	1
BGP29	Prudente de Moraes-Matozinhos	19°29'20,8"S	044°08'02,5"W	748	8
BGP30	Ponte Rio Paroapeba-Trevo Juatuba	19°58'14,8"S	044°1'43,5"W	759	1
BGP31	3 Marias - Felixlândia	18°19'48,4"S	045°06'28,3"W	733	9
BGP32	Martinho Campos - Abaeté	19°09'29,5"S	045°25'27,9"W	626	10
BGP33	Pará de Minas - Onça do Pitangui	19°46'28,8"S	044°45'34,7"W	668	1
BGP34	São Paulo	22°25,1'74"S	050°34,7'84"W	511	6
BGP35	São Paulo	21°09,8'22"S	051°08,3'08"W	411	2

BGP36	Sítio Paraíso					10
BGP37	Pitangui - Martinho Campos	19°40'51,7"S	044°54'29,5"W	674		10
BGP38	Esmeralda-BR-040	19°47'19,0"S	044°13'16,8"W	804		7
BGP39	São Paulo	21°35,4'18"S	049°02,2'47"W	477		2
BGP40	Pitangui - Martinho Campos	19°33'26,5"S	044°57'43,7"W	658		9
BGP41	NAO IDENTIFICADO					10
BGP42	São Paulo	21°08,7'70"S	051°06,7'62"W	393		1
BGP43	Barroso 100m restaurante trem mineiro	21°10'10,0"S	044°07'46,7"W	919		5
BGP44	Ponte Nova-Acaiaca	20°24'12,0"S	043°07'50,5"W	574		3
BGP45	Unaí	20°50'12,7"S	042°54'30,1"W	593		9
BGP46	Abaeté - Cedro do Abaeté	19°09'30,0"S	045°46'54,4"W	753		9
BGP47	São Paulo	22°29,2'30"S	050°46,3'36"W	399		6
BGP48	Mateus Leme-Azurita	20°00'15,9"S	044°28'07,5"W	823		4
BGP49	Bocaiuva					7
BGP50	Abaeté - Cedro do Abaeté	19°10'07,7"S	045°29'25,1"W	612		10
BGP51	São Paulo	21°32,0'70"S	048°44,4'73"W	509		6
BGP52	Rio Piracicaba-Avinópolis	19°58'16,3"S	043°08'23,0"W	650		4
BGP53	SJDR-Lavras antes trevo de Itumirim	21°17'20,2"S	044°49'15,8"W	930		8
BGP54	Felixlândia - trevo antes de Paroapeba	19°05'01,5"S	044°39'16,9"W	672		8

Estimação de parâmetros genéticos

As mensurações das progênies foram realizadas aos dois e três anos de idade, obtendo-se dados de dezoito características morfo-agronômicas quantitativas (Tabela 2). O delineamento experimental foi inteiramente ao acaso, sem repetições. Os dados foram submetidos à análise de modelos mistos (REML/BLUP) conforme Resende (2002), devido ao número desuniforme de plantas na constituição das progênies do BAG-Macaúba. A estimativa dos componentes de variância foi obtida por máxima verossimilhança restrita (REML) e a predição dos valores genéticos pela melhor predição linear não viciada (BLUP).

Tabela 2. Características morfo-agronômicas quantitativas avaliadas nas 54 progênies do banco de germoplasma de macaúba.

Características		Unidade	Código
	Altura da planta	cm	ADE
	Diâmetro da estipe	cm	DDE
	Diâmetro da copa	cm	DCP
	Índice de área foliar	cm ²	IAF
Folha	Folhas	número	NFH
	Ângulo basal	cm	ABS
	Comprimento da folha	cm	CFO
	Largura da folha	cm	LFO
	Largura do ráquis	cm	LRA
	Comprimento do pecíolo	cm	CPE
Foliolo	Total de folíolos	número	TFO
	Comprimento do folíolo	cm	CDF
	Largura do folíolo	cm	LFL
	Clorofila total	icf	CLT
Espinhos	Espinho na parte superior da nervura do folíolo	número	ENA
	Espinho na parte inferior da nervura do folíolo	número	ENI
	Espinho na parte superior do ráquis	número	ERA
	Espinho na parte inferior do ráquis	número	ERI

ud: unidade; icf: índice de clorofilafalker

O seguinte modelo estatístico foi empregado:

$$y = Xu + Za + Wi + Tp + e$$

Em que:

y : vetor de dados;

u : escalar de efeito fixo (média geral);

a : vetor de efeitos genéticos aditivos (aleatórios);

i : vetor de efeitos da interação progenies por medições (aleatórios);

p : vetor de efeitos permanentes de indivíduos (aleatórios);

e : vetor de erros aleatórios.

X , Z , W e T : matrizes de incidência para u , a , i e p , respectivamente;

No ajuste desse modelo misto, a matriz de parentesco genético aditivo foi composta considerando a espécie com sistema reprodutivo misto e taxa de autofecundação de 47%.

Os seguintes parâmetros genéticos foram estimados:

$$h^2 = \hat{\sigma}_a^2 / (\hat{\sigma}_a^2 + \hat{\sigma}_i^2 + \hat{\sigma}_p^2 + \hat{\sigma}_e^2): \text{herdabilidade individual no sentido restrito};$$

$r = (\hat{\sigma}_a^2 + \hat{\sigma}_p^2) / (\hat{\sigma}_a^2 + \hat{\sigma}_i^2 + \hat{\sigma}_p^2 + \hat{\sigma}_e^2)$: repetibilidade individual;

$r_{gmed} = \hat{\sigma}_a^2 / (\hat{\sigma}_a^2 + \hat{\sigma}_i^2)$: correlação genética através das medições;

$c_p^2 = \hat{\sigma}_p^2 / (\hat{\sigma}_a^2 + \hat{\sigma}_i^2 + \hat{\sigma}_p^2 + \hat{\sigma}_e^2)$: coeficiente de determinação dos efeitos de ambiente permanente;

$\hat{\sigma}_a^2$: variância genética aditiva;

$\hat{\sigma}_p^2$: variância dos efeitos de ambiente permanente;

$\hat{\sigma}_i^2$: variância dos efeitos da interação progênes por medições;

$\hat{\sigma}_e^2$: variância residual.

As análises foram realizadas nos programas SELEGEN (REML/BLUP) (Resende, 2002) e GENES (Cruz, 2013).

RESULTADOS

Os resultados evidenciam a presença de ampla variabilidade genética entre as 54 progênes de polinização aberta de *A. aculeata* para as características morfo-agronômicas ADE, LFO, TFO CDF, ENA e DCP, com disponibilidade de altos valores de herdabilidade ao nível individual. Os valores moderados de herdabilidade foram estimados nas características DDE, NFH, CFO, LRA, ERA, ERI e CLT. As características CPE, LFL, IAF e ENI, apresentaram herdabilidade baixa. Na característica ABS a herdabilidade observada foi nula (Tabela 3).

As estimativas do coeficiente de variância genética apresentaram-se maiores que 10% entre famílias quando se assumiu uma taxa de autofecundação de 0,47. Coeficientes de determinação dos efeitos de interação genótipo por medição com valor superior a 0,20 foi observado nas características IAF, ABS ENI e ERA. Nas demais características os valores observados da interação genótipo por medição foram menor que 0,20. Correlações genéticas através de medidas repetidas foram superiores a 0,70 nas características como ADE, NFH, CFO, LFO, TFO, CDF, ENA, CLT e DCP. As demais características apresentaram correlações genéticas menores que 0,70 (Tabela 3).

As características DDE, NFH, CFO, LFO, LRA, TFO, CDF, ENI, ERA, ERI e CLT apresentarem valores de repetibilidade entre 0,96 e 0,45. Já nas características CPE, LFL, IAF e ABS o coeficiente de repetibilidade foi menor que 0,30 (Tabela 3).

Tabela 3. Estimativas dos parâmetros genéticos (h^2) herdabilidade individual no sentido restrito, ($CVg\%$) porcentagem do coeficiente da variância genética entre famílias cujos componentes de variância genética aditiva e variância genética de dominância dependem da taxa de autofecundação, (c^2_i) coeficiente de determinação dos efeitos de populações, (c^2_p) coeficiente de determinação dos efeitos de interação progênes por medição, (r) coeficiente de repetibilidade, (rg) correlação genética através das medidas repetidas e (Média) média geral do experimento nas características morfo-agronômicas avaliadas em *A. aculeata*.

Características	h^2	$CVg(\%)$	c^2_i	c^2_p	r	r_{gmed}	Média
ADE	0,8160	312,9160	0,0310	0,4540	*	0,9634	83,7920
DDE	0,2582	77,8875	0,1479	0,3951	0,6533	0,6358	31,3738
DCP	0,6635	88,4555	0,0204	0,4777	*	0,9702	15,3995
IAF	0,0792	37,5285	0,2054	0,0500	0,1292	0,2783	11,0249
NFH	0,3784	51,3290	0,0945	0,4551	0,8335	0,8001	12,8892
ABS	0,0081	14,3945	0,2470	0,0334	0,0416	0,0319	18,0302
CFO	0,3992	144,8774	0,1130	0,3018	0,7010	0,7795	248,5558
LFO	0,5622	146,7970	0,1555	0,2603	0,8225	0,7833	120,8281
LRA	0,2807	15,0027	0,1288	0,2593	0,5401	0,6855	2,4528
CPE	0,1247	49,5676	0,1342	0,1661	0,2908	0,4816	22,6468
TFO	0,7175	229,7774	0,0568	0,2388	0,9563	0,9266	288,5698
CDF	0,4036	58,0807	0,0640	0,3438	0,7474	0,8631	61,8653
LFL	0,1262	7,6797	0,0660	0,1725	0,2987	0,6567	2,5235
CLT	0,2881	37,3238	0,0330	0,5837	0,8717	0,8972	51,6063
ENA	0,5822	115,5230	0,0045	0,5371	*	0,9923	2,2984
ENI	0,0945	33,6808	0,0554	0,8508	0,9453	0,6305	0,9384
ERA	0,2332	56,2930	0,2764	0,2217	0,4548	0,4576	9,8751
ERI	0,2573	56,4458	0,1874	0,2159	0,4732	0,5786	14,0627

*Estimativa maior que 1.

Altura da planta (ADE), diâmetro do estipe (DDE), número de folhas (NFH), comprimento da folha (CFO), largura da folha (LFO), largura da ráquis (LRA), comprimento do pecíolo (CPE), total de folíolos (TFO), comprimento do folíolo (CDF), largura do folíolo (LFL), índice de área foliar (IAF), ângulo basal (ABS), espinho na parte superior da nervura do folíolo (ENA), espinho na parte inferior na nervura do folíolo (ENI), espinho na parte superior do ráquis (ERA), espinho na parte inferior do ráquis (ERI), clorofila total (CLT) e diâmetro da copa (DCP).

Estudos de repetibilidade dos dados indicaram que as características ADE, ENA e DCP podem ser obtidas de forma precisa com apenas uma única medição. As características DDE, NFH, CFO, LFO, TFO, CDF, ENI e CLT necessitam pelo menos de duas medições para alcançar precisão superior a 0,70. Já as características CPE, LFL, IAF e ABS necessitam de mais de 8, 25 e 80 medições, respectivamente (Tabela 4).

Tabela 4. Estimativa de repetibilidade (r), número de medições (m) e repetibilidade esperada com uso de m medições (r_m) em 18 características morfo-agronômicas avaliadas de *A. aculeata*.

Características	r	m	r_m
ADE	1,00	1	1,00
DDE	0,65	2	0,79
DCP	1,00	1	1,00
IAF	0,13	25	0,79
NFH	0,83	2	0,91
ABS	0,04	80	0,78
CFO	0,70	2	0,82
LFO	0,82	2	0,90
LRA	0,54	3	0,78
CPE	0,29	8	0,77
TFO	0,96	2	0,98
CDF	0,75	2	0,86
LFL	0,30	8	0,77
CLT	0,87	2	0,93
ENA	1,00	1	1,00
ENI	0,95	2	0,99
ERA	0,45	4	0,77
ERI	0,47	4	0,78

Altura da planta (ADE), diâmetro do estipe (DDE), número de folhas (NFH), comprimento da folha (CFO), largura da folha (LFO), largura da ráquis (LRA), comprimento do pecíolo (CPE), total de folíolos (TFO), comprimento do folíolo (CDF), largura do folíolo (LFL), índice de área foliar (IAF), ângulo basal (ABS), espinho na parte superior da nervura do folíolo (ENA), espinho na parte inferior na nervura do folíolo (ENI), espinho na parte superior do ráquis (ERA), espinho na parte inferior do ráquis (ERI), clorofila total (CLT) e diâmetro da copa (DCP).

Foram escolhidas as dez melhores progênies para formar um ideótipo a ser usado em um sistema silvipastoril, tendo em conta as quatro características morfo-agronômicas mais importantes para esse sistema. Os maiores valores genéticos foram representados nas características ADE e DDE. Os menores valores genéticos foram estimados para as características ENA e DCP. As acurácias demonstraram níveis elevados apresentando-se valores entre 0,68 e 0,93 em ADE; entre 0,45 e 0,75 em DDE; entre 0,81 e 0,93 em ENA e 0,73 e 0,93 em DCP. Os ganhos genéticos esperados na característica ADE apresentaram valores entre 32% e 79%. Na característica DDE os ganhos genéticos foram entre 44% e 75%. Os ganhos genéticos nas características ENA e DCP apresentarem valores superiores a 73%. As progênies 2, 4, 7 e 12 foram selecionadas nas características ADE e DDE. Já nas características ENA e DCP foram selecionadas as progênies 49, 52 e 53 (Tabela 5).

Tabela 5. Ganho genético esperado nas características altura do estipe (ADE) diâmetro do estipe (DDE), espino na parte superior da nervura do folíolo (ENA) e diâmetro da copa (DCP), com a seleção de progênie de *A. aculeata* a um sistema silvipastoril praticada com base na metodologia de máxima verossimilhança restrita (REML).

Ordem	ADE			DDE			ENA			DCP									
	Progênie	VG	Acurácia	Ordem	Progênie	VG	Acurácia	Ordem	Progênie	VG	Acurácia	Ordem	Progênie	VG	Acurácia	G %			
1	26	150,68	0,93	79,82	1	44	36,85	0,62	61,86	50	17	0,78	0,93	93,30	54	51	6,29	0,92	91,99
2	22	135,14	0,92	61,29	2	7	36,47	0,71	70,62	49	36	0,85	0,93	92,64	53	34	6,84	0,92	91,99
3	12	126,77	0,93	51,29	3	4	35,41	0,69	68,57	48	6	1,00	0,85	84,91	52	47	10,16	0,92	91,99
4	4	125,33	0,89	49,58	4	12	35,30	0,75	75,32	47	38	1,01	0,88	87,65	51	39	10,17	0,83	82,81
5	24	119,32	0,79	42,40	5	13	34,98	0,74	74,47	46	52	1,02	0,82	82,18	50	9	10,36	0,93	93,37
6	2	114,84	0,89	37,06	6	28	34,97	0,45	44,53	45	53	1,04	0,90	90,48	49	42	10,47	0,73	73,07
7	6	114,50	0,91	36,64	7	43	34,94	0,72	71,62	44	49	1,05	0,85	85,12	48	18	10,92	0,73	73,07
8	23	114,24	0,68	36,34	8	2	34,63	0,69	68,57	43	54	1,14	0,89	88,75	47	53	12,00	0,93	93,37
9	7	113,38	0,90	35,31	9	19	34,57	0,56	55,72	42	41	1,22	0,92	92,41	46	52	12,59	0,88	88,48
10	27	111,19	0,92	32,70	10	10	34,37	0,75	75,32	41	1	1,30	0,81	80,60	45	49	12,66	0,93	92,77

Variação genética (VG), porcentagem de ganho genético (%G)

Tabela 6. Ganho genético esperado nas características altura do estipe (ADE) diâmetro do estipe (DDE), espino na parte superior da nervura do folíolo (ENA) e diâmetro da copa (DCP), com a seleção de progênie de *A. aculeata* a um sistema de monocultura praticada com base na metodologia de máxima verossimilhança restrita (REML).

Ordem	ADE			DDE			ENA			DCP									
	Progênie	VG	Acurácia	Ordem	Progênie	VG	Acurácia	Ordem	Progênie	VG	Acurácia	Ordem	Progênie	VG	Acurácia	G %			
54	54	42,04	0,92	91,80	1	44	36,85	0,62	61,86	50	17	0,78	0,93	93,30	54	51	6,29	0,92	91,99
53	52	43,38	0,91	90,52	2	7	36,47	0,71	70,62	49	36	0,85	0,93	92,64	53	34	6,84	0,92	91,99
52	51	46,46	0,90	90,07	3	4	35,41	0,69	68,57	48	6	1,00	0,85	84,91	52	47	10,16	0,92	91,99
51	53	47,41	0,92	91,80	4	12	35,30	0,75	75,32	47	38	1,01	0,88	87,65	51	39	10,17	0,83	82,81
50	49	47,92	0,91	91,04	5	13	34,98	0,74	74,47	46	52	1,02	0,82	82,18	50	9	10,36	0,93	93,37
49	46	52,37	0,93	92,89	6	28	34,97	0,45	44,53	45	53	1,04	0,90	90,48	49	42	10,47	0,73	73,07
48	34	52,43	0,90	90,07	7	43	34,94	0,72	71,62	44	49	1,05	0,85	85,12	48	18	10,92	0,73	73,07
47	48	53,46	0,87	86,88	8	2	34,63	0,69	68,57	43	54	1,14	0,89	88,75	47	53	12,00	0,93	93,37
46	9	58,20	0,92	91,80	9	19	34,57	0,56	55,72	42	41	1,22	0,92	92,41	46	52	12,59	0,88	88,48
45	38	59,20	0,91	91,04	10	10	34,37	0,75	75,32	41	1	1,30	0,81	80,60	45	49	12,66	0,93	92,77

Variação genética (VG), porcentagem de ganho genético (%G)

Para um sistema de monocultura as progênies foram selecionadas com os menores valores fenotípicos nas características ADE, ENA e DCP; enquanto que no DDE foram utilizados os maiores valores genotípicos. Os valores genéticos na característica ADE encontraram-se entre 42,04 e 59,20; em DDE foram entre 34,37 e 36,85; em ENA foram entre 0,78 e 1,30 e DCP foi entre 6,29 e 12,66. As acurácias foram superiores a 0,87 em ADE, 0,45 em DDE, 0,81 em ENA e 0,73 em DCP. Os ganhos genéticos esperados nas características ADE, ENA e DCP foram maiores a 73%. Já o ganho genético esperado na característica DDE foi entre 44% e 75% (Tabela 6).

Com a utilização do índice de rank, adaptado de Mulamba e Mock (1978) para a formação de um ideótipo usado em um sistema silvipastoril, foi evidenciado ganhos genéticos superiores a 100% nas progênies 6 e 4. Nas progênies 8 e 44 apresentaram ganhos genéticos superiores a 82% (Tabela 7). Já para a formação de um ideótipo usado em um sistema de monocultura, evidencio ganhos genéticos superiores a 100% as progênies 44, 53, 11 e 34. As progênies 38, 48, 49, 52, 54 e 18 apresentaram ganhos superiores a 75% (Tabela 8).

Tabela 7. Estimativas dos ganhos e rank médio pelo método de Mulamba & Mock 1978 na seleção das dez melhores progênies de *A. aculeata* com as características do ideótipo em um sistema silvipastoril.

Ordem	Progênie	Rank-Medio	Ganho	% Ganho
1	6	12,50	12,50	120,00
2	4	15,00	13,75	100,00
3	8	16,00	14,50	89,66
4	44	16,75	15,06	82,57
5	47	17,50	15,55	76,85
6	19	19,25	16,17	70,10
7	7	19,75	16,68	64,88
8	28	19,75	17,06	61,17
9	3	20,00	17,39	58,15
10	11	20,00	17,65	55,81

Tabela 8. Estimativas dos ganhos e rank médio pelo método de Mulamba & Mock 1978 na seleção das dez melhores progênies de *A. aculeata* com as características do ideótipo em um sistema monocultura.

Ordem	Progênie	Rank-Medio	Ganho	% Ganho
1	44	10,50	10,50	161,90
2	53	13,75	12,13	126,80
3	11	14,75	13,00	111,54
4	34	15,00	13,50	103,70
5	38	15,25	13,85	98,56
6	48	15,25	14,08	95,27
7	49	16,00	14,36	91,54
8	52	17,25	14,72	86,84
9	54	19,25	15,22	80,66
10	18	20,00	15,70	75,16

DISCUSSÃO

A obtenção de estimativas de parâmetros genéticos como a herdabilidade, principalmente no sentido restrito por envolver genes aditivos, e o coeficiente de variação genética é de grande importância nos trabalhos de melhoramento de plantas perenes, pois expressa o grau de confiança do valor fenotípico como indicador do valor genético. Quando os valores do coeficiente de herdabilidade são considerados altos, indicam grande contribuição dos fatores genéticos no controle das características, fato que é favorável ao melhoramento genético. Valores maiores que 0,40 de herdabilidade sugerem considerável progresso genético em resposta a seleção entre indivíduos. Por outro lado, estimativas de herdabilidade individual no sentido restrito entre 0,15 e 0,40 são de moderada magnitude e valores menores a 0,15 representam baixa herdabilidade (Resende, 2002). Ao observar a Tabela 3, verifica-se que para as características ADE, LFO, TFO CDF, ENA e DCP, a herdabilidade observada foi alta, indicando a existência de variabilidade genética nas progênies de *A. aculeata* para essas características. Os resultados observados evidenciam também que os trabalhos de melhoramento podem resultar em sucesso na seleção das progênies de interesse, uma vez que as características apresentaram forte controle genético e tem grandes possibilidades de serem transmitidos para gerações futuras sem grandes modificações. Outros trabalhos com *Arecaceae* como *Cocos nucifera* (Cambuí et al., 2007, Pedroso et al., 2007 e Carvalho et al., 2008); *Bactris gasipaes* (Yokomizo & Neto, 2003) apresentaram herdabilidades elevadas para características morfo-agronômicas. Contudo, valores de herdabilidade inferiores a 0,15

foram observados em *Euterpe oleracea* (Farias Neto et al., 2008), valor que indica maior efeito ambiental do que genético na variação fenotípica para a espécie.

A menor contribuição dos efeitos genéticos nas características ABS e IAF deve-se aos altos efeitos ambientais e altas variações das interações dos genótipos por medições (Tabela 3).

O coeficiente de herdabilidade per se não reflete necessariamente a quantidade de variação existente nas progênes, e conseqüentemente, o ganho esperado com seleção. A predição do ganho depende ainda da amplitude de variação que afeta o diferencial de seleção, Resende (2002) sugere que seja utilizado o coeficiente de variação genético juntamente com a herdabilidade para comparação da variabilidade genética de diferentes progênes e diferentes características, bem como para se ter uma idéia do ganho esperado com seleção. De acordo com o autor, o ganho esperado é uma função do coeficiente de variação genético, do coeficiente de herdabilidade e do diferencial de seleção. Grande diferença nas características avaliadas entre progênes gerará maiores estimativas de coeficiente de variação genética, fator que possibilita maior distinção entre progênes. No presente trabalho o coeficiente de variação obtido foi alto pelo fato das progênes não ter sido submetidas a seleção anterior, ou seja as progênes são oriundas de coletas realizadas aleatoriamente em populações naturais, o que ajuda a preservar a alta variabilidade genética. Trabalhos realizados em *Bactris gasipaes* (Yokomizo & Neto, 2003); *Euterpe oleracea* (Farias-Neto et al., 2008) e *Elaeis guineensis* (Soh et al., 2003; Lopes et al., 2011) apresentaram coeficientes de variação genética abaixo de 100%. Coeficiente de variação genética superiores a 100% foram estimadas para ADE, CFO, LFO, TFO e ENA em *A. aculeata*.

O coeficiente de determinação dos efeitos das interações genótipos por medições (c^2_i) foram de baixa magnitude para a maioria das características, revelando a constância do comportamento das progênes ao longo do tempo. Valores altos de c^2_i indicam alta variabilidade da interação genótipo por medição e baixa correlação genotípica entre as observações ao longo do tempo (Resende, 2002). No presente estudo, mesmo para herdabilidades de menores magnitudes como por exemplo ERI, cuja herdabilidade foi igual a 25,73%, o c^2_i é considerado baixo.

A parte relativa ao ambiente que é causada pelas circunstâncias que afetam permanentemente ao indivíduo denomina-se efeito de ambiente permanente (Cruz et al., 2004). Os efeitos de ambiente foram de alta magnitude obtidos para a maioria dos caracteres no presente trabalho conduziu a altas estimativas de repetibilidade.

As estimativas de correlações genóticas entre medições nas 18 características avaliadas, que refletem associações de natureza herdável são apresentadas na Tabela 3. As correlações genóticas de maiores magnitudes apresentaram valores superiores a 0,70. As correlações foram elevadas porque no início do crescimento das plantas de *A. aculeata* o desenvolvimento das progênies é elevado em todas as características morfo-agronômicas. Trabalhos com *Elaeis guineensis* (Lopes et al., 2011) corroboram com essas observações.

O valor de repetibilidade obtido apresentou magnitude elevada, conforme classificação de Resende (2002) (Tabela 3). A repetibilidade obtida demonstra que o trabalho realizado apresenta boa acurácia e que as estimativas de parâmetros genéticos possuem elevada precisão.

A estruturação em progênies de polinização aberta das melhores progênies selecionadas é uma estratégia que permite melhor explorar a variabilidade existente (Galvão et al., 2009). Para a seleção de progênies no melhoramento de *A. aculeata* foram idealizados dois ideótipos possíveis: o ideótipo adaptado a um sistema de monocultura onde ADEs menores favorecem o manejo das plantas e a colheita dos frutos e um sistema silvipastoril onde ADEs maiores favorecem a planta e sua inter-relação com o gado. Somado a essa característica, os valores dos ganhos genéticos de DDE, ENA e DCP, foi possível selecionar 10 melhores progênies para o cultivo solteiro e para o cultivo em sistema silvipastoril (Tabela 5) A característica que diferencia um grupo idealizado do outro é a altura das plantas. Em sistema silvipastoril as plantas de menor porte poderão ser alvo de predação pelo gado, gerando conflito entre a produção de gado e a de macaúba. No sistema solteiro prioriza-se a facilitação do manejo e da colheita, sendo as progênies de menor porte mais indicadas para este sistema de exploração.

CONCLUSÕES

As 54 progênies avaliadas do banco de germoplasma apresentam grande variabilidade genética, fator que permite ganhos genéticos consideráveis no programa de melhoramento de *A. aculeata*.

A herdabilidade das características avaliadas foi elevada, especialmente ADE, TFO, ENA e DCP de grande importância agrônômica.

A maioria dos caracteres apresentou alta herdabilidade, alta repetibilidade e baixa interação progênes por medições.

Foram identificadas progênes superiores para possível uso em dois sistemas de cultivo: monocultura e silvipastoril considerando as características morfo-agronômicas avaliadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aquino, F.G., Silva, M.R., Ratter, J.A., et al., 2008. Distribuição geográfica das espécies *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Mart. e *Caryocar brasiliense* Cambess no Bioma Cerrado. In: Anais do IX Simpósio Nacional do Cerrado e II Simpósio Internacional de Savanas Tropicais, EMBRAPA Cerrados, Brasília, p. 6.
- Cambui, E.V.F., Aragão, W.M., Leal, M.L.S., 2007. Variabilidade genética entre cultivares de coqueiro anão (*Cocos nucifera*, L.- Var. Nana). Revista Brasileira de Biociências, Porto Alegre 5: 165-167.
- Carvalho, E.X., Filho, C.J.D.A., Aragão, W.M., Musser, R.D.S., Ferraz, L.G.B., Reis, O.V.D., Bastos, G.Q., Oliveira, F.J.D., 2008. Variabilidade e comportamento de cultivares de coqueiro anão nos Tabuleiros Costeiros do norte de Sergipe. Bragantia, Campinas 67: 91-100.
- Centro Tecnológico de Minas Gerais CETEC, 1983. Diagnóstico ambiental do estado de Minas Gerais. Belo Horizonte.
- Cruz, C.D., Regazzi, A.J., Carneiro, P.C.S., 2006. Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético. 3. ed. Viçosa: UFV, 480p.
- Cruz, C.D., 2013. Genes: a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. Acta Scientiarum, Agronomy 35: 271-276.
- Farias Neto, J.T. de, Resende, M.D.V.D de, Oliveira, M.S.P. de, Santos, N.S.A., Canuto, E.L., Nogueira, O.L., Muller, A. 2008. Estimativas de parâmetros genéticos e ganhos de seleção em progênes de polinização de açaizero. Revista Brasileira de Fruticultura. Jaboticabal 30: 1051-1056.
- Fehr, W.R., 1987. Principles of cultivar development. New York. MacMillan. 525 p.
- Galvão, F. R., Takami, K.L., Soares, V. E., Cruz, C.D., Rosado, M. A., Rocha, B. R., 2009. Predição de ganhos genéticos em progênes de polinização aberta de

- Eucalyptus urograndis* cultivadas em diferentes ambientes e submetidas a diferentes procedimentos de seleção. Revista Árvore. Viçosa-MG, v. 33, n.2, 255-263p.
- Geraldi, I.O., 1977. Estimação de parâmetros genéticos de caracteres do pendão em milho (*Zea mays* L.) e perspectivas de melhoramento. 1977. 103 p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- Henderson, A., Galeano, G., Bernal, R., 1995. Field guide to the palms of the Americas. Princeton University Press, Princeton, NJ. 352 p.
- IPCC. 2013. Summary for Policymakers. Working Group I Contribution to the IPCC Fifth Assessment Report Climate Change: The Physical Science Basis. http://www.climatechange2013.org/images/uploads/WGIAR5SPM_Approved27Sep2013.pdf
- Lopes, D.C., Neto, S.A.J., 2011. Potential Crops for Biodiesel Production in Brazil: A Review. World Journal of Agricultural Sciences 7: 206-217.
- Lorenzi, H., Souza, H.M., Costa, J.T.M., Cerqueira, L.S.C., Ferreira, E., 2004. Palmeiras brasileiras e exóticas cultivadas. Instituto Plantarum, Nova Odessa.
- Motta, P.E.F., Curi, N., Oliveira-Filho, A.T., Gomes, J.B.V., 2002. Occurrence of macaúba in Minas Gerais, Brazil: relationship with climatic, pedological and vegetation attributes. Pesquisa Agropecuária Brasileira 37: 1023-1031.
- Motoike, S.Y., Lopes, Carvalho, M., Pimentel, L., Kuki, K.N., Paes, J.M., Dias, H., Sato, A.F.A., Sá Junior, A.Q., Carvalho, M., Oliveira, M.A.R., 2013. Processo de germinação e produção de sementes pre-germinadas de palmeiras do gênero *Acrocomia*. Patente: PI0703180-7.
- 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. Egyptian Journal of Genetics and Cytology 7: 40-51.
- Pedroso, G.T., Santos, H.C., Aragão, W.M., 2007. Características da inflorescência de Cultivares de Coqueiro nas épocas secas e chuvosas do ano. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros (Boletim de Pesquisa e desenvolvimento nº 21).
- PNPB - Programa Nacional de Produção e uso de Biodiesel, 2014. Ministério do desenvolvimento agrário. Brasil.

- Ratter, J., Bridgewater, S., Ribeiro, J.F., 2003. Analysis of the floristic composition of the Brazilian Cerrado vegetation. III: comparison of the woody vegetation of 376 areas. *Edinburgh Journal of Botany* 60: 57-109.
- Resende, M.D.V. de., 2002. Genética biométrica e estatística: no melhoramento de plantas perenes. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 975p.
- Resende, M.D.V. de., 2007. Matemática e estatística na análise de experimentos e no melhoramento genético. Colombo: Embrapa Florestas, p. 435.
- Scariot, A., Lleras, E., Hay, J.D., 1991. Flowering and fruiting phenologies of the palm *Acrocomia aculeata*: patterns and consequences. *Biotropica* 27: 168-173.
- Soh, A.C., Gan, H.H., Wong, G., Hor, T.Y., Tan, C.C., 2003. Estimates of within family genetic variability for clonal selection in oil palm. *Euphytica* 133: 147- 163.
- Yokomizo, G.K., Farias Neto, O.J.T. de., 2003. Caracterização fenotípica e genotípica de progênies de pupunheira para palmito. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 38: 67-72.

CONCLUSÕES GERAIS

Existe elevada divergência dentro das progênies estudadas de *A. aculeata* do BGP-Macaúba.

Progênies do Estado de São Paulo constituem um grupo geográfico diferente das progênies do Estado de Minas Gerais.

A primeira avaliação (Período 1) se mostrou mais informativa do que as demais avaliações realizadas quando a diversidade foi estudada pelo método de Tocher.

Avaliações sazonais podem interferir na formação de grupos pelo método de UPGMA.

As 54 progênies avaliadas do banco de germoplasma apresentam grande variabilidade genética, fator que permite ganhos genéticos consideráveis no programa de melhoramento de *A. aculeata*.

A herdabilidade das características avaliadas foi elevada, especialmente em ADE, TFO, ENA e DCP de grande importância agrônoma.

A maioria dos caracteres apresentou alta herdabilidade, alta repetibilidade e baixa interação progênies por medições.

Foram identificadas progênies superiores para uso em dois sistemas de cultivo: monocultura e silvipastoril.