



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E**  
**TECNOLOGIA DE ALIMENTOS**

**CASSIARA CAMELO ELOI DE SOUZA**

**QUALIDADE, PERFIL ELETROFORÉTICO E DE VOLÁTEIS,**  
**FITOQUÍMICOS BIOATIVOS E ATIVIDADE**  
**ANTIOXIDANTE DE FRUTOS DE GENÓTIPOS DE**  
**MACAIBEIRA (*Acrocomia intumescens* Drude)**

**JOÃO PESSOA**

**2016**

**CASSIARA CAMELO ELOI DE SOUZA**

**QUALIDADE, PERFIL ELETROFORÉTICO E DE VOLÁTEIS,  
FITOQUÍMICOS BIOATIVOS E ATIVIDADE  
ANTIOXIDANTE DE FRUTOS DE GENÓTIPOS DE  
MACAIBEIRA (*Acrocomia intumescens* Drude)**

**JOÃO PESSOA**

**2016**

**CASSIARA CAMELO ELOI DE SOUZA**

**QUALIDADE, PERFIL ELETROFORÉTICO E DE VOLÁTEIS,  
FITOQUÍMICOS BIOATIVOS E ATIVIDADE  
ANTIOXIDANTE DE FRUTOS DE GENÓTIPOS DE  
MACAIBEIRA (*Acrocomia intumescens* Drude)**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Centro de Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba em cumprimento aos requisitos para obtenção do título de Doutor em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

**Orientador (a): Profa. Silvanda de Melo Silva, PhD**

**JOÃO PESSOA**

**2016**

S729q Souza, Cassiara Camelo Eloi de.  
Qualidade, perfil eletroforético e de voláteis, fitoquímicos  
bioativos e atividade antioxidante de frutos de genótipos de  
macaibeira (*Acrocomia intumescens* Drude) / Cassiara Camelo  
Eloi de Souza.- João Pessoa, 2016.  
195f. : il.  
Orientadora: Silvanda de Melo Silva  
Tese (Doutorado) - UFPB/CT  
1. Tecnologia de alimentos. 2. Macaíba. 3. ACP.  
4. Variabilidade genética. 5. Caracterização. 6. Óleo.  
7. Carotenoides.

UFPB/BC

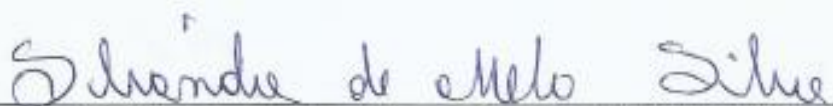
CDU: 664(043)

CASSIARA CAMELO ELOI DE SOUZA

**QUALIDADE, PERFIL ELETROFORÉTICO E DE VOLÁTEIS,  
FITOQUÍMICOS BIOATIVOS E ATIVIDADE ANTIOXIDANTE DE  
FRUTOS DE GENÓTIPOS DE MACAIBEIRA (*Acrocomia intumescens*  
Drude)**

Tese de Doutorado, APROVADA em 26 de fevereiro de 2016.

**BANCA EXAMINADORA**



Profa. Silvana de Melo Silva, PhD (PPGCTA/CT/UFPB)

Coordenadora da Banca Examinadora



Profa. Marta Suely Madruga, PhD (PPGCTA/CT/UFPB)

Examinador Interno



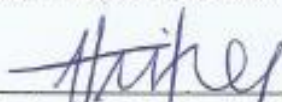
Prof. Carlos Alberto de Almeida Gadelha (PPGCTA/CT/UFPB)

Examinador Interno



Prof. Dr. Walter Esfrain Pereira (DCFS/CCA/UFPB)

Examinador Externo



Prof. Dr. Alexandre Paiva da Silva (DSER/CCA/UFPB)

Examinador Externo

***A DEUS***, meu Senhor e Rei

Aos meu pais, Jonas Camelo de Souza (*in memorian*) e Lucia Maria Camelo de Souza

Ao meu tio (*in memorian*), Floriano Camelo de Souza Neto

Ao meu esposo, Luiz Eloi da Silva

As minhas filhas, presente de DEUS, Ana Lúcia e Ana Vitória

***DEDICO***

## **AGRADECIMENTOS**

A DEUS, Todo Poderoso, Rei da Glória, Pai de amor, que me capacitou, renovou minhas forças, avivou minha fé, deu-me ânimo, coragem, saúde, sabedoria, esperança e vida para prosseguir nesta caminhada com seu amor incondicional e seu cuidado sobre mim. A ELE, toda honra, louvor, ações de graças e adoração pelos séculos dos séculos. AMÉM.

A minha mãe, Lúcia, que me conduziu desde cedo com seu exemplo de mestre para a área do ensino e acima de tudo, pelo amor, dedicação, cuidado, esforço e renúncias realizadas para que eu chegasse até aqui;

Ao meu esposo, Eloi, pelo amor, zelo e generosidade para comigo sempre me incentivando a fazer as atividades com excelência e me apoiando nos momentos de desafio ao longo da nossa jornada de doutorado. Sua presença e seu carinho tornaram o fardo mais leve e a vida mais feliz;

As minhas filhas, Ana Lúcia e Ana Vitória, pelo seu amor puro, carinho e por serem uma mola propulsora das minhas conquistas proporcionando experiências maravilhosas de crescimento, superação, novidade, amor e alegria. Obrigada por me fazerem tão feliz!!!

Aos meus irmãos, pelo carinho, atenção e boas risadas ao longo da vida, me ajudando na coleta das amostras e me motivando a ser uma pessoa melhor;

A minha irmã, Vênia, que divide comigo anos de estudo e labuta, sempre me incentivando a não desistir e a enfrentar as dificuldades da vida. Muitos foram os momentos de alegria e em especial, o nascimento e convivência de nossos filhos que me deram esperança e me fizeram refletir sobre os milagres de DEUS em nossas vidas;

A todos os meus tios e familiares e em especial a Medeiros, Cassinha e Zezé, que torcem por mim e têm me encorajado a alcançar meus objetivos, lutar pelos meus sonhos, dividindo comigo dores e alegrias e sendo exemplo de esforço, união e superação;

A minha orientadora, Profa. Silvanda de Melo Silva, pelo exemplo de garra, trabalho e inteligência. Obrigada pelas orientações na elaboração da tese repassadas através de um olhar científico apurado, mas também pela paciência, carinho, ensinamentos e conselhos ao longo destes quatro anos;

A todos os meus primos, pela amizade e carinho, principalmente pelos encontros cheios de alegria e de recordações da nossa infância querida;

À Universidade Federal da Bahia (UFBA), especialmente ao Instituto Multidisciplinar em Saúde (IMS), pela concessão do afastamento para qualificação docente;

À Universidade Federal da Paraíba (UFPB), em especial ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos (PPGCTA), pela oportunidade de realização do Doutorado;

À coordenação do PPGCTA, pela disponibilidade, orientações e busca pela qualidade da pesquisa na área de Ciência e Tecnologia de Alimentos;

Aos professores do PPGCTA, principalmente Prof. Flávio Honorato, Profa. Rita Queiroga e Marta Madruga, pelos ensinamentos, confiança, apoio, disponibilidade e profissionalismo;

Às bancas de qualificação e defesa, pelas contribuições e sugestões dadas para o aperfeiçoamento deste trabalho.

Aos professores do PPGCTA, Maria Elieidy, Carlos Alberto, Marta Madruga e Ângela Triburzy e ao Prof. Heber Sivini Ferreira do Departamento de Materiais, pela disponibilidade em colaborar com a execução de análises importantes deste trabalho;

Aos docentes, discentes e funcionários do laboratório de Biologia e Tecnologia Pós-Colheita do Centro de Ciências Agrárias da UFPB, pela colaboração na montagem dos experimentos e condução das análises. Em especial, Renato Pereira Lima, Alex Sandro, Gracinha e Luciana;

Aos Engenheiros agrônomos Renato Lima Dantas, Renato Pereira e Ana Dantas, pelo suporte nas análises estatísticas;

À turma de mestrado e doutorado 2012.1, pelos momentos compartilhados de estudo, pesquisa, dedicação e alegria principalmente à Luciana Trigueiro e Alline Priscilla;

Às amigas, Ana Caroliny, Edilza, Mercia Galvão e Alline Pontes, pelo apoio na realização das análises e interpretação dos dados, além dos momentos de diálogo, desabafo, risadas, companheirismo e orações;

Aos discentes, Suellen, Ana Rita, Natali, Bruno Ranyere e Alex, pelo suporte nas análises de ácidos graxos e fenólicos;

Às funcionárias, June e Joelma Balbino, pelo suporte na realização de ensaios químicos e termogravimétricos;

À equipe do LAQA pelo acolhimento, colaboração e apoio na realização das análises;

À secretária do PPGCTA, Lindalva Nóbrega, pela atenção e disponibilidade;

Aos amigos, Dora e Erivando, pela força, incentivo e orações compartilhadas;

A todos os amigos e irmãos em Cristo Jesus, pela atenção e constantes orações;

A todos, que direta ou indiretamente, contribuíram para a realização desta pesquisa.

**OBRIGADA.**



*“Porque o Senhor dá a sabedoria, e da sua boca vem a  
inteligência e o entendimento.”*

*Provérbios 2:6*

## RESUMO

O objetivo desta pesquisa foi avaliar a qualidade de frutos de sete genótipos de macaibeira nativos da Mata Atlântica e entorno, por meio da caracterização física, química, capacidade antioxidante, perfil de ácidos graxos (GC-FID), fenólicos (HPLC-UV) e voláteis (SPME-GC-MS) com vistas a obter dados sobre potencial de utilização e variabilidade desta espécie. A polpa e amêndoa podem ser consideradas como importante fonte de carboidratos, lipídios, minerais e K, Fe, P e Ca. As amêndoas são ricas em globulinas e não possuem inibidores de tripsina e/ou atividade hemaglutinante. A polpa apresentou elevados teores de AGI (89,81%) sendo mais abundantes os ácidos oleico ( $8,09 \text{ g.100g}^{-1}$ ), linoleico ( $1,56 \text{ g.100g}^{-1}$ ) e palmítico além de excelentes índices de qualidade nutricional. A amêndoa, também rica em ácido oleico ( $7,61 \text{ g.100g}^{-1}$ ) contém teores significativos de AGS ( $14,35 \text{ g.100g}^{-1}$ ), sobretudo láurico, mirístico e palmítico. Os óleos possuem boa estabilidade térmica até  $230^\circ\text{C}$  com curvas de DTA de caráter exotérmico. A polpa possui teores muito elevados de carotenoides totais ( $8,64 \text{ mg.100g}^{-1}$ ) e pode ser considerada rica em vitamina C ( $47,60 \text{ mg.100g}^{-1}$ ). As maiores concentrações de fenólicos totais foram observados na casca ( $274,55 \text{ mg.100g}^{-1}$ ) e na amêndoa ( $147,23 \text{ mg.100g}^{-1}$ ). A correlação significativa e positiva mais forte ocorreu entre ABTS<sup>•+</sup> e PET. Os ácidos fenólicos e flavonóis foram os compostos majoritários nas frações pesquisadas. A catequina foi o único fenólico encontrado em todas as amostras. No entanto, a miricetina foi o fenólico identificado com a maior concentração. O genótipo 6 destacou-se por conter as maiores concentrações de carotenoides totais, flavonoides amarelos e PET na casca, ácido ascórbico e flavonoides amarelos na polpa e maior atividade antioxidante na casca. O genótipo 7 tem o maior teor de carotenoides totais e PET na polpa. Através do sistema HS-SPME-GC-MS foram identificados pela primeira vez (62) compostos voláteis na polpa. Terpenos, aldeídos e álcoois foram os principais. O teor de álcoois oscilou de 1,5 a 44,99%; os dioxalanes estiveram presentes em todos os genótipos; o hexanal foi o principal representante dos aldeídos. A polpa de macaíba apresenta aroma forte e exótico e elevados teores de  $\beta$ -Cis-Ocimene,  $\beta$ -Trans-Ocimene e Allo-aromadendrene. A ACP se mostrou eficiente para indicar as características mais significativas na diferenciação entre os genótipos que apresentaram variabilidade genética. Este fruto, portanto, pode contribuir substancialmente para o fornecimento de nutrientes, enriquecimento da dieta, fonte de bioativos e agregação de valor aos recursos naturais da Mata Atlântica brasileira pelo seu consumo fresco ou processado.

**Palavras-chave:** macaíba; ACP; variabilidade genética; caracterização; óleo; carotenoides.

## ABSTRACT

The objective of this research was to evaluate the fruit quality of seven native genotypes macaw Atlantic Forest and environment, through physical, chemical, antioxidant capacity, fatty acid profile (GC-FID), Phenolic (HPLC-UV) and volatile (SPME-GC-MS) in order to obtain data on potential use and variability of this species. The pulp and almond can be considered as an important source of carbohydrates, lipids, minerals and K, Fe, Ca and P. Almonds are rich in globulin and do not have trypsin inhibitors and/or haemagglutinating activity. The pulp showed high levels of UFA (89.81%) being more abundant oleic acid (8.09 g.100g<sup>-1</sup>), linoleic (1.56 g.100g<sup>-1</sup>) and palmitic acid as well as excellent nutritional quality index. Almond also rich in oleic acid (7.61 g.100g<sup>-1</sup>) contains significant levels of AGS (14.35 g.100g<sup>-1</sup>), especially lauric, myristic and palmitic acid. The oils have good thermal stability up to 230 °C with DTA curves of exothermic character. The pulp has very high levels of carotenoids (8.64 mg.100g<sup>-1</sup>) and can be considered rich in vitamin C (47,60 mg.100g<sup>-1</sup>). The highest concentrations of total phenolics were observed in the peel (274.55 mg.100g<sup>-1</sup>) and almond (147.23 mg.100g<sup>-1</sup>). The strongest positive and significant correlation occurred between ABTS<sup>•+</sup> and PET. Phenolic acids and flavonols were the main components in the studied fractions. The phenolic catechin was only found in all samples. However, the phenolic myricetin was identified with the highest concentration. Genotype 6 stood out to contain the highest concentrations of carotenoids, yellow flavonoids and PET in the peel, ascorbic acid and yellow flavonoids in the pulp and antioxidant activity in the peel. Genotype 7 has the highest content of carotenoids and PET in the pulp. Through the HS-SPME-GC-MS system was first identified (62) Volatile compounds in the pulp. Terpenes, aldehydes and alcohols were the main. The alcohol content ranged from 1.5 to 44.99%; the dioxalanes were present in all genotypes; the hexanal was the main representative of the aldehydes. The pulp macaw has a strong and exotic aroma and high levels of  $\beta$ -Cis-Ocimene,  $\beta$ -Trans-Ocimene and Allo-aromadendrene. The PCA was efficient to indicate the most significant features in the differentiation between the genotypes that showed genetic variability. This fruit can therefore contribute substantially to the supply of nutrients, dietary enrichment of bioactive source and adding value to natural resources in the Brazilian Atlantic Forest for its fresh or processed consumption.

**Keywords:** macaw; PCA; genetic variability; characterization; oil; carotenoids.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 1.</b> Estrutura da <i>A. intumescens</i> (A); Inflorescência (B); Cachos com frutos (C) .....	21
<b>Figura 2.</b> Fruto íntegro (A); Polpa (B); Amêndoas (C); Amêndoas revestidas por endocarpo (D).....	22
<b>Figura 3.</b> Estrutura química de carotenoides .....	30
<b>Figura 4.</b> Classificação dos compostos fenólicos .....	31
<b>Figura 5.</b> Estrutura química de um flavonoide .....	32
<b>Figura 6.</b> Genótipos de macaibeira e frações analisadas.....	38
<b>Figura 7.</b> Planejamento experimental em frutos de macaibeira .....	39

## ARTIGO 2

<b>Figura 1.</b> Peel percentage, pulp, endocarp and almond fruits of different genotypes of the macaiba tree. Areia-PB, 2016.....	111
<b>Figura 2.</b> Circle eigenvectors of variables related to the physical characteristics (A), chemical (B) and mineral profile (C) macaw fruit (pulp and almond) and dispersion of genotypes (1-7) based on the principal component scores. Areia-PB, 2016.....	112
<b>Figura 3.</b> Dendrogram dissimilarity between genotypes evaluated macaw through cluster analysis by Ward method, based on the scores of the physical characteristics (A), physical-chemical pulp and almond (B) and minerals from the pulp and almond profile (C). Areia-PB, 2016.....	113
<b>Figura 4.</b> Electrophoretic profile (SDS/PAGE) of protein extract macaw almonds. (1) Molecular marker; (G1-G7) genotypes 1, 2, 3, 4, 5, 6 and 7 respectively.....	113

## ARTIGO 3

<b>Figura 1.</b> Valores de correlação entre as variáveis relacionadas com os índices de qualidade nutricional da fração lipídica da polpa e amêndoa de <i>A. intumescens</i> . .....	143
---	-----

<b>Figura 2.</b> Curvas TG (A) e DTA (B) dos óleos brutos de macaíba.....	<b>143</b>
<b>Figura 3.</b> Círculo de autovetores das variáveis relacionadas ao conteúdo de ácidos graxos na polpa (A) e amêndoa (B) de macaibeira e dispersão dos genótipos (1-7) com base nos escores de dois componentes principais: CP1 e CP2.....	<b>144</b>
<b>Figura 4.</b> Círculo de autovetores das variáveis relacionadas aos índices de qualidade nutricional da fração lipídica na polpa (A) e amêndoa (B) de macaibeira e dispersão dos genótipos (1-7) com base nos escores de dois componentes principais: CP1 e CP2 .....	<b>145</b>
<b>Figura 5.</b> Dendograma de dissimilaridade entre genótipos de macaibeira avaliados através de análise de cluster pelo método Ward's, com base no perfil de ácidos graxos (A e B) e nos índices de qualidade nutricional (C e D) da fração lipídica de frutos de <i>A. intumescens</i> .....	<b>146</b>

#### ARTIGO 4

<b>Figura 1.</b> Atividade antioxidante pelos métodos DPPH <sup>•</sup> e ABTS <sup>•+</sup> das frações casca, polpa e amêndoa de genótipos de <i>A. intumescens</i> . ....	<b>172</b>
<b>Figura 2.</b> Correlação de Pearson entre compostos bioativos e atividade antioxidante da casca, polpa e amêndoa de sete genótipos de <i>A. intumescens</i> .....	<b>173</b>
<b>Figura 3.</b> Autovetores e formação de grupos de genótipos de <i>A. intumescens</i> com base nos escores de dois componentes principais (CP1 e CP2) para as variáveis relacionadas aos compostos bioativos e atividade antioxidante.....	<b>174</b>
<b>Figura 4.</b> Dendograma resultante da análise hierárquica de agrupamentos com base na distribuição das 18 variáveis relacionadas aos compostos bioativos e atividade antioxidante dos sete genótipos de <i>A. intumescens</i> .....	<b>174</b>

#### ARTIGO 5

<b>Figura 1.</b> Autovetores e formação de grupos de genótipos de <i>A. intumescens</i> com base nos escores de dois componentes principais (CP1 e CP2) para as variáveis relacionadas ao perfil de compostos voláteis .....	<b>192</b>
<b>Figura 2.</b> Dendograma de agrupamento hierárquico dos sete genótipos de macaibeira com mapa de cor detalhando a contribuição individual dos compostos voláteis.....	<b>193</b>

## LISTA DE TABELAS

### ARTIGO 1

<b>Tabela 1.</b> Oxidative Stress: definition, specific forms and classification according to the intensity. ....	<b>79</b>
<b>Tabela 2.</b> Pathologies related to the production of ROS .....	<b>80</b>
<b>Tabela 3.</b> Biological antioxidant systems .....	<b>81</b>
<b>Tabela 4.</b> Content of carotenoids present in Brazilian tropical fruits .....	<b>82</b>

### ARTIGO 2

<b>Tabela 1.</b> Biometrics and fresh weight of fruit, pulp, and almonds of fruits of the macaiba tree.....	<b>104</b>
<b>Tabela 2.</b> Coloration of the peel and fruit pulp of different genotypes of the macaiba tree.....	<b>105</b>
<b>Tabela 3.</b> Physicochemical characterization of fresh fruit pulp of different genotypes of the macaiba tree.....	<b>106</b>
<b>Tabela 4.</b> Physicochemical characterization of fruits of almond on fresh basis of different genotypes of the macaiba tree .....	<b>106</b>
<b>Tabela 5.</b> Mineral profile present in the pulp and almond fruit of the macaiba tree .....	<b>107</b>
<b>Tabela 6.</b> Eigenvectors of two principal components (CP1 and CP2) variables related to the physical quality of fruits of seven genotypes of the macaiba tree.....	<b>108</b>
<b>Tabela 7.</b> Eigenvectors of two principal components (CP1 and CP2) variables related to the physicochemical characteristics of the pulp and almond of fruits seven genotypes of the macaiba tree. ....	<b>109</b>
<b>Tabela 8.</b> Eigenvectors of three principal components (CP1, CP2 and CP3) variables related to the mineral content in the pulp and almond of fruits seven genotypes of the macaiba tree .....	<b>110</b>

### ARTIGO 3

<b>Tabela 1.</b> Composição de ácidos graxos da polpa de <i>A. intumescens</i> . ....	<b>136</b>
<b>Tabela 2.</b> Composição de ácidos graxos da amêndoa de <i>A. intumescens</i> .....	<b>137</b>
<b>Tabela 3.</b> Índices de qualidade nutricional da fração lipídica da polpa e amêndoa de diferentes genótipos de macaibeira .....	<b>138</b>
<b>Tabela 4.</b> Dados das curvas TG, DTA dos óleos brutos da polpa e amêndoa de macaíba....	<b>139</b>
<b>Tabela 5.</b> Autovetores de dois componentes principais (CP1 e CP2) de variáveis relacionadas com o conteúdo de ácidos graxos na polpa de frutos de sete genótipos de macaibeira .....	<b>140</b>
<b>Tabela 6.</b> Autovetores de dois componentes principais (CP1 e CP2) de variáveis relacionadas com o conteúdo de ácidos graxos na amêndoa de frutos de sete genótipos de macaibeira .....	<b>141</b>
<b>Tabela 7.</b> Autovetores de dois componentes principais (CP1 e CP2) de variáveis relacionadas com os índices de qualidade nutricional da fração lipídica de frutos de diferentes genótipos de macaibeira .....	<b>142</b>

### ARTIGO 4

<b>Tabela 1.</b> Compostos bioativos de sete genótipos de <i>A. intumescens</i> (mg.100g <sup>-1</sup> base úmida).....	<b>168</b>
<b>Tabela 2.</b> Compostos fenólicos de casca, polpa e amêndoa de <i>A. intumescens</i> . (mg/100g base úmida).....	<b>169</b>
<b>Tabela 3.</b> Autovetores de dois componentes principais (CP1 e CP2) de variáveis relacionadas com o conteúdo de bioativos e capacidade antioxidante de sete genótipos de macaibeira .....	<b>171</b>

### ARTIGO 5

<b>Tabela 1.</b> Compostos voláteis extraídos por SPME em polpa de <i>Acrocomia intumescens</i> ...	<b>187</b>
<b>Tabela 2.</b> Autovetores de dois componentes principais (CP1 e CP2) de variáveis relacionadas com o perfil de compostos voláteis de sete genótipos de <i>A. intumescens</i> .....	<b>191</b>

## LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

<b>AAT</b>	Atividade antioxidante total
<b>ABTS</b>	2,2'- azinobis(3-etilbenzotiazolina-6-ácido-sulfônico)
<b>ACP</b>	Análise de componentes principais
<b>AGD</b>	Ácidos graxos desejáveis
<b>AGMI</b>	Ácidos graxos monoinsaturados
<b>AGPI</b>	Ácidos graxos polinsaturados
<b>AGI</b>	Ácidos graxos insaturados
<b>AGS</b>	Ácidos graxos saturados
<b>ARA</b>	Ácido araquidônico
<b>BSA</b>	Albumina de soro bovino
<b>CAT</b>	Catalase
<b>CH<sub>2</sub></b>	Metileno
<b>CT</b>	Colesterol total
<b>DFI</b>	2,6-dicloro-fenol-indofenol
<b>DNA</b>	Ácido desoxirribonucleico
<b>DHA</b>	Ácido docosahexaenóico
<b>DPPH</b>	1,1-difenil-2-picrilhidrazil
<b>DTA</b>	Análise térmica diferencial
<b>EC<sub>50</sub></b>	50% da concentração efetiva
<b>EPA</b>	Ácido eicosapentaenóico
<b>ERO</b>	Espécies reativas de oxigênio
<b>ERN</b>	Espécies reativas de nitrogênio
<b>FID</b>	Detector de ionização de chama
<b>FRAP</b>	Poder antioxidante de redução do ferro
<b>GPx</b>	Glutathione peroxidase
<b>HCl</b>	Ácido clorídrico
<b>HClO</b>	Ácido hipocloroso
<b>HDL</b>	Lipoproteína de alta densidade
<b>H<sub>2</sub>O<sub>2</sub></b>	Peróxido de hidrogênio
<b>HH</b>	hipocholesterolêmicos/hipercolesterolêmicos
<b>HS/SPME</b>	headspace/microextração em fase sólida
<b>IA</b>	Índice de aterogenicidade
<b>IT</b>	Índice de trombogenicidade
<b>LDL</b>	Lipoproteína de baixa densidade
<b>LRI</b>	Índice de retenção linear
<b>MAPA</b>	Ministério de Agricultura e Meio Ambiente
<b><sup>1</sup>O<sub>2</sub></b>	Oxigênio singlete
<b>SDS-PAGE</b>	Dodecil-sulfato de sódio-eletroforese em gel de poliacrilamida
<b>NADPH</b>	Nicotinamida adenina dinucleotídeo fosfato oxidase
<b>PA</b>	Padrão analítico
<b>PDMS/DVD</b>	Polydimethylsiloxane Divinylbenzene
<b>PET</b>	Polifenóis extraíveis totais
<b>RNA</b>	Ácido ribonucleico
<b>SOD</b>	Superóxido dismutase
<b>TEAC</b>	Capacidade antioxidante equivalente ao Trolox
<b>TG</b>	Termogravimetria
<b>UV VIS</b>	Ultravioleta visível



## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO GERAL .....</b>	<b>18</b>
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>20</b>
2.1 PALMEIRAS .....	20
2.2. MACAÍBA .....	21
2.3. QUALIDADE E CARACTERIZAÇÃO DE FRUTOS .....	23
2.4. ÓLEOS VEGETAIS E ESTABILIDADE .....	25
2.5. ESTRESSE OXIDATIVO E ANTIOXIDANTES.....	26
2.6 COMPOSTOS BIOATIVOS, BIOACESSIBILIDADE, BIODISPONIBILIDADE .....	28
2.7. VOLÁTEIS E SPME.....	34
2.8. ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS .....	36
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>37</b>
3.1 ORIGEM DOS FRUTOS E CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO.....	37
3.2. DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	37
3.3. AVALIAÇÕES .....	40
3.3.1 Avaliações físicas .....	40
3.3.2 Avaliações químicas .....	40
3.3.3 Determinação de compostos fenólicos e atividade antioxidante total .....	42
3.3.4 Perfil de fenólicos .....	44
3.3.5 Perfil de minerais .....	44
3.3.6 Eletroforese de proteínas .....	45
3.3.7 Ensaio de inibição de tripsina .....	45
3.3.8 Atividade hemaglutinante .....	46
3.3.9 Análise do perfil de ácidos graxos .....	46
3.3.10 Índices de qualidade nutricional dos lipídios .....	47
3.3.11 Avaliação térmica dos óleos brutos de polpa e amêndoa .....	47

3.3.12 Determinação do perfil de compostos voláteis .....	48
<b>4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>49</b>
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>60</b>
ARTIGO 1 .....	61
ARTIGO 2 .....	83
ARTIGO 3 .....	114
ARTIGO 4 .....	147
ARTIGO 5 .....	175
<b>6. CONCLUSÃO .....</b>	<b>194</b>

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

O Brasil é o país que apresenta a maior biodiversidade do mundo permitindo o acesso a inúmeras espécies frutíferas. Muitas delas são praticamente desconhecidas e, por tal motivo, são muito pouco exploradas comercialmente. As regiões Norte e Nordeste do país abrigam o berço maior dessa biodiversidade (MATTIETTO; LOPES; MENEZES, 2010).

No município de Areia, Microrregião do Brejo Paraibano, encontra-se o Parque Estadual Mata do Pau Ferro, criado em 2005 e formado por um fragmento de 607 hectares, representado pelo bioma Mata Atlântica. O Parque abriga também a Barragem Vaca Brava (MMA, 2016) e em seu conjunto florístico encontram-se as palmeiras nativas de macaibeira (*Acrocomia intumescens* Drude).

A *Acrocomia intumescens* apresenta duas porções comestíveis: polpa e amêndoa, sendo reconhecida pelo sabor e aroma exóticos e intensos. Na literatura científica foram reportadas apenas duas pesquisas com esta espécie. Bora; Rocha (2004) observaram na polpa 34,6% de lipídios, 43,5% de carboidratos e teores elevados de isoleucina, leucina, fenilalanina e treonina e na amêndoa, 49,20% de lipídios e 30,40% de fibras, sendo considerada rica em isoleucina e fenilalanina. De acordo com Silva et al. (2015), a polpa apresenta 138 µg/g de carotenoides e elevados teores de ácido oleico e a amêndoa 1,9 µg/g de carotenoides e 45,44% de ácido láurico.

A produção de frutos exóticos e tropicais tem aumentado nos últimos anos devido às suas propriedades sensoriais atraentes e porque são reivindicados como boas fontes de vitaminas e outros compostos bioativos como polifenóis e carotenoides. Portanto, o consumo de frutas tropicais está aumentando nos mercados nacionais e internacionais devido ao crescente reconhecimento do seu valor nutritivo e terapêutico. Devido a este mercado novo e emergente, existe um interesse crescente de estudos sobre o consumo e os potenciais benefícios de saúde destas frutas. No entanto, quando comparado com outras frutas tradicionais, ainda existe lacunas a serem preenchidas pela pesquisa (PIERSON et al., 2012; SILVA et al., 2014).

As palmeiras produtoras de óleo são espécies com elevado potencial nutricional e comercial. No entanto, para muitas delas ainda são escassos os dados relativos às características botânicas, ecológicas e agrônômicas; informações quanto à composição química e atividade antioxidante e, principalmente, conhecimento tecnológico que possibilite aplicação sustentável e o máximo potencial destas espécies.

Além disso, o conhecimento sobre a atividade antioxidante e teor de compostos bioativos em diferentes genótipos de frutas pode ser útil para programas de melhoramento genético para selecionar as variedades com valores nutricionais mais elevados (DENARDIN et al., 2015).

Neste contexto e diante da escassez de dados relativos à espécie *Acrocomia intumescens*, objetivou-se com esta pesquisa avaliar a qualidade de frutos de sete genótipos de macaibeira nativos da Mata Atlântica e entorno, por meio da caracterização física, química, capacidade antioxidante, perfil de ácidos graxos, fenólicos e voláteis com vistas a obter dados sobre potencial de utilização e variabilidade desta espécie.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 PALMEIRAS

A Mata Atlântica é formada por um conjunto de formações florestais (Florestas: Ombrófila Densa, Ombrófila Mista, Estacional Semidecidual, Estacional Decidual e Ombrófila Aberta) e ecossistemas associados como as restingas, manguezais e campos de altitude, que se estendiam originalmente por aproximadamente 1.300.000 km<sup>2</sup> em 17 estados do território brasileiro. Hoje os remanescentes de vegetação nativa estão reduzidos a cerca de 22% de sua cobertura original e encontram-se em diferentes estágios de regeneração. Além de ser uma das regiões mais ricas do mundo em biodiversidade, tem importância vital para aproximadamente 120 milhões de brasileiros que vivem em seu domínio, onde são gerados aproximadamente 70% do PIB brasileiro, prestando importantíssimos serviços ambientais. Regula o fluxo dos mananciais hídricos, assegura a fertilidade do solo, suas paisagens oferecem belezas cênicas, controla o equilíbrio climático e protege escarpas e encostas das serras, além de preservar um patrimônio histórico e cultural imenso. Neste contexto, as áreas protegidas, como as Unidades de Conservação e as Terras Indígenas, são fundamentais para a manutenção de amostras representativas e viáveis da diversidade biológica e cultural da Mata Atlântica (BRASIL, 2016).

A família Arecaceae compreende 2.522 espécies e 252 gêneros distribuídos ao longo dos trópicos e subtropicais do mundo (DRANSFIELD et al., 2008). Apresenta grande importância na região tropical, devido à variedade de produtos obtidos, especialmente aqueles relacionados aos seus frutos e sementes, sendo uma das principais fontes de recursos para alimento, medicamentos caseiros, combustível, cobertura de casas, utensílios de cozinha e matéria-prima para indústrias locais (LORENZI, 2006). No Brasil, existem naturalmente 38 gêneros e cerca de 270 espécies de palmeiras (LORENZI et al. 2010).

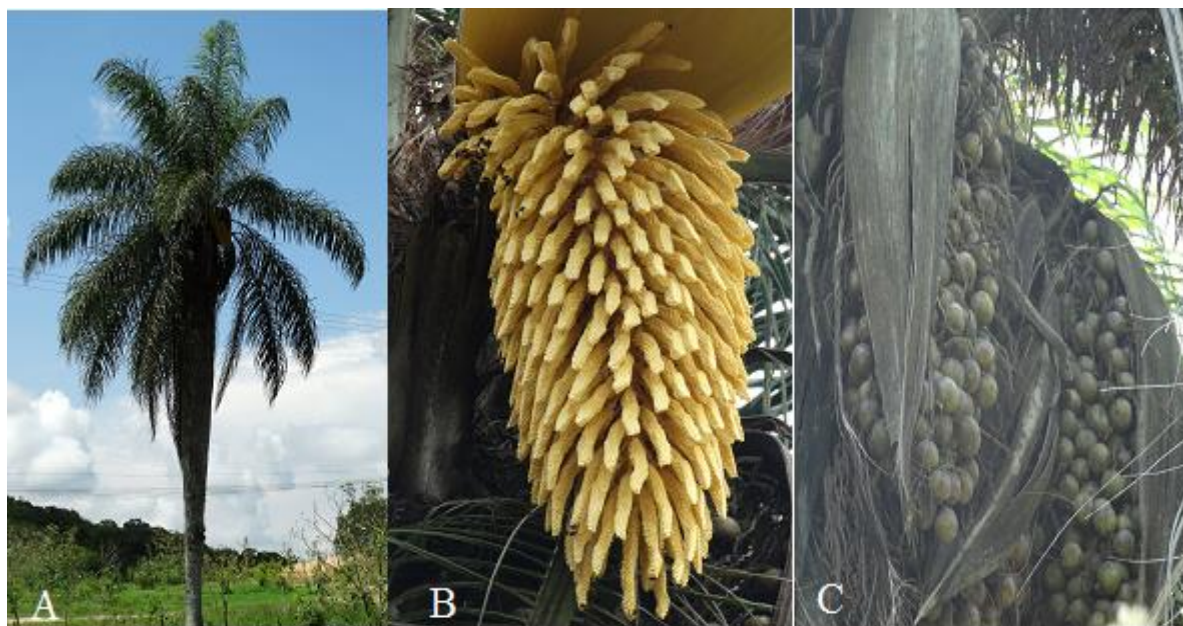
No Brasil, existe uma grande diversidade de genótipos de macaíba que são considerados ecotipos ou espécies. *Acrocomia intumescens*, *Acrocomia aculeata totai* e *Acrocomia aculeata sclerocarpa* apresentam diferenças morfológicas, fisiológicas e na produtividade dos frutos (MACHADO et al., 2015). De acordo com Leitman (2015), seis espécies ocorrem no Brasil: *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Mart., *Acrocomia emensis* (Toledo) Lorenzi, *Acrocomia glaucescens* Lorenzi, *Acrocomia hassleri* (Barb.Rodr.) W.J.Hahn, *Acrocomia intumescens* Drude e *Acrocomia totai* Mart.

## 2.2 MACAÍBA – *Acrocomia intumescens* Drude

A *Acrocomia intumescens*, nativa e endêmica do Brasil, apresenta distribuição geográfica com ocorrência confirmada no Nordeste (Alagoas, Bahia, Ceará, Paraíba, Pernambuco) e Sudeste (Rio de Janeiro, São Paulo), habitando um tipo de vegetação de floresta ombrófila nos domínios fitogeográficos da Mata Atlântica (LEITMAN et al., 2015).

A *Acrocomia intumescens*, popularmente conhecida como macaíba, macaúba ou palmeira barriguda, é uma palmeira solitária que alcança 8 m de altura na maturidade. Seu caule é revestido de espinhos nas plantas jovens e liso nas maduras, mas nunca apresenta bases foliares persistentes, como se observa em *A. aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Mart. Apresenta um número médio de 25 folhas no capitel, sendo as mesmas decíduas (Figura 1A). Suas inflorescências são interfolias, com flores pistiladas nas bases dos ramos e flores estaminadas nos dois terços superiores dos mesmos (Figura 1B). A espécie apresenta fruto em formato globoso a subgloboso de epicarpo duro e lenhoso (LORENZI et al., 2004; LORENZI et al., 2010). As frutas externamente possuem uma casca dura (epicarpo) que envolve uma camada secundária amilácea (mesocarpo ou polpa) e como centro da amêndoa, existe um endocarpo duro com uma ou duas sementes (SILVA; ANDRADE, 2013) (Figura 2).

**Figura 1.** Estrutura da *A. intumescens* (A); Inflorescência (B); Cachos com frutos (C).



Fonte: Própria (2016).

**Figura 2.** Fruto íntegro (A); Polpa (B); Amêndoas (C); Amêndoas revestidas por endocarpo (D).



Fonte: Própria (2016).

A ecofisiologia das palmeiras não é bem conhecida, particularmente quanto aos aspectos como propagação e desempenho fotossintético (MEDEIROS et al., 2015). A *Acrocomia intumescens* é uma das plantas nativas oriunda de fragmentos de vegetação que dispersa suas sementes para locais não-pavimentados em espaços públicos em todo o fragmento e quintais da borda da vegetação de origem e estabelece descendentes de forma autônoma (MORO; WESTERKAMP; DE ARAÚJO, 2014), por isso são encontradas dispersas em muitas cidades nordestinas. Foram encontrados besouros polinizadores em plantas de *Acrocomia intumescens* de florestas secundárias do estado de Pernambuco. No entanto, por apresentar sementes grandes, foram provavelmente não só dispersas por animais selvagens, mas também por seres humanos e animais domésticos que forragearam os locais quando eles foram usados como pastagens (KIMMEL et al., 2010).

A obtenção de estimativas confiáveis de parâmetros genéticos, incluindo dados relacionados à variabilidade das populações sob melhoramento, é essencial para se elucidar a estrutura genética das populações e para se inferir sobre sua variabilidade genética e seu potencial de melhoramento (DOMICIANO et al., 2015).

As pesquisas com a espécie *Acrocomia intumescens* são escassas e existem poucos dados sobre composição química, suas propriedades e potenciais de utilização. No entanto, para *Acrocomia aculeata*, existem mais informações científicas. Portanto, por apresentarem características fenotípicas semelhantes, estão descritas a seguir, características da *A. aculeata*.

Macaúba (*A. aculeata*) é uma espécie endêmica de palmeira brasileira cujos frutos são comestíveis e apresentam elevados teores de óleo na sua polpa e amêndoa. Uma importante quantidade de óleo é obtida a partir das amêndoas com rendimentos de produtividade entre 1.500 e 5.000 kg de óleo por hectare/ano, que é a segunda maior produtividade após o óleo de palma (*Elaeis guineensis*) (NAVARRO-DÍAZ et al., 2014). Pesquisas envolvendo macaúba e seus coprodutos estão aumentando devido à sua alta produtividade e múltiplas possibilidades,

tais como a produção de óleo de cozinha, substituto para gordura hidrogenada e componente de diversos doces, além de ser uma alternativa no cenário energético. No entanto, a cadeia produtiva da macaúba ainda está emergindo. A extração do óleo, muitas vezes é realizada mecanicamente e de forma rudimentar (REZZADORI et al., 2015). O processamento inadequado dos frutos é um dos fatores limitantes à sua utilização em vários segmentos industriais. Isto infere a necessidade de buscar e implementar novas tecnologias que possam aperfeiçoar todas as fases do processo produtivo (colheita, armazenamento, descascamento, despulpamento, secagem e obtenção de óleo) (SANTOS, 2014).

A macaúba tem um grande potencial como matéria-prima para produção de biocombustível sólido, principalmente devido ao seu elevado rendimento e elevada produção de energia primária gerada pelos resíduos obtidos durante o processamento dos frutos para extrair o óleo (EVARISTO et al., 2016). Apesar da macaúba (*A. aculeata*) ser uma palmeira nativa com grande potencial para produção de cosméticos, alimentos e biocombustíveis, sua exploração efetiva ocorre principalmente em grandes populações naturais. Para permitir a sua utilização para fins comerciais e em grande escala, é indispensável a criação de campos de produção e processamento do fruto, incentivando os produtores a fornecer material com a qualidade, quantidade e consistência da demanda do mercado e garantir a sua disponibilidade para o uso a longo prazo (LOPES et al., 2013). As características descritas acima podem ser estendidas à espécie *A. intumescens*.

### 2.3 QUALIDADE E CARACTERIZAÇÃO DE FRUTOS

O termo qualidade é um conceito abrangente e subjetivo podendo assumir várias definições. Qualidade é um conjunto de características peculiares de cada produto, apresentando grande variedade de conceitos, podendo ser relacionada a fatores subjetivos e objetivos. Os fatores objetivos incluem características sensoriais, nutricionais e segurança no uso do alimento. Referindo-se à qualidade ótima dos vegetais, pode-se dizer que esta é atingida num determinado grau de amadurecimento ou desenvolvimento em que a combinação de atributos físicos e componentes químicos apresenta o máximo de aceitação pelo consumidor (CHITARRA; CHITARRA, 2005).

O aumento da procura por parte dos consumidores por alimentos mais saudáveis e seguros está guiando a indústria de alimentos em um novo caminho. De implementação da melhoria do controle de qualidade dos alimentos e da prevenção dos perigos através de novas tecnologias de processamento. As propriedades dos bioativos naturais de certos alimentos



estão se tornando o foco da pesquisa e inovação. A atenção mais recente está sendo dedicada aos produtos naturais e às necessidades tecnológicas para a sua bioatividade e à maximização dos potenciais efeitos à saúde (SOUSA et al., 2014).

A caracterização física e química dos frutos e a quantificação de componentes bioativos são importantes para o conhecimento do valor nutricional e do ponto de vista comercial para agregar valor e qualidade ao produto final (YAHIA, 2010). A cor é uma característica importante dos alimentos. A liberação de uma boa impressão através da cor vai determinar a aceitabilidade dos consumidores e sua decisão de compra. Além disso, a cor desempenha um importante papel como indicador de qualidade (WIBOWO et al., 2015a). O aroma de frutas também é um indicador importante que reflete a qualidade do sabor. As frutas sintetizam e emitem uma grande variedade de compostos voláteis como terpenóides e derivados de ácidos graxos como as classes dominantes (EL HADI et al., 2013).

A colheita de frutas e hortaliças ocorre em diferentes épocas do ano e depende da cultivar, regime hídrico, condições climáticas, controle de pragas, práticas culturais, exposição à luz solar direta, controle de temperatura e índice de maturidade entre outros fatores pré-colheita importantes. A fim de minimizar as variações indesejáveis nos parâmetros de qualidade durante o período de pós-colheita, os produtores e empresários podem adotar uma série de técnicas para estender a vida de prateleira de produtos vegetais perecíveis. A tecnologia de pós-colheita compreende diferentes métodos de colheita, embalagem, refrigeração rápida, armazenamento sob refrigeração, atmosfera modificada e controlada e meios de transporte em condições controladas, entre outras tecnologias importantes (MORETTI et al., 2010). O amadurecimento corresponde, basicamente, às mudanças nos fatores sensoriais de sabor, odor, cor e textura que tornam o fruto aceitável para o consumo. Algumas dessas mudanças podem ser detectadas por análise ou observação das transformações físicas visíveis (CHITARRA; CHITARRA, 2005).

Atributos fisiológicos, bioquímicos, microbiológicos e sensoriais relatados como índices de qualidade foram utilizados para caracterizar e acompanhar as mudanças de deterioração com sucesso em abacaxi, morango, kiwi e melão e o frescor foi caracterizado como excelente aparência visual, aroma e firmeza. A deterioração caracterizou-se, em sua maior parte pelo aumento da ruptura do tecido (níveis de exsudado e permeabilidade celular), perda de firmeza, maior desenvolvimento de off-odor, perda de cor (escurecimento e translucidez) e altas contagens microbianas (FINNEGAN; O'BEIRNE, 2015). Finalmente, cada alimento possui atributos específicos que garantem a sua qualidade ótima.

## 2.4 ÓLEOS VEGETAIS E ESTABILIDADE

Os óleos são compostos por triglicerídeos de ácidos graxos diferentes, acompanhados por mono, diglicerídeos e ácidos graxos livres. Em pequenas quantidades podem conter fosfolipídios, esteróis livres, tocoferóis, tocotrienóis, álcoois triterpênicos, hidrocarbonetos e vitaminas lipossolúveis (KARAK, 2012). Os óleos vegetais desempenham um papel importante na dieta humana devido às suas propriedades nutricionais e sensoriais. Eles também são um dos principais ingredientes de uma vasta gama de produtos alimentares como sorvetes, salsichas e margarinas (SHAHIDI; ZHANG, 2010).

Uma vez que os seres humanos não podem produzir de forma eficiente as formações de dessaturação moleculares específicas para o metabolismo de ácidos graxos poli-insaturados (AGPIs) de cadeia longa, os respectivos precursores dietéticos de 18 carbonos, alfa-linolênico e linoleico e seus respectivos derivados de cadeia mais longa da série  $\omega$ -3, ácido eicosapentaenóico (EPA) e ácido docosahexaenóico (DHA) e o ácido araquidônico (ARA) da série  $\omega$ -6 são todos classificados como ácidos graxos essenciais por muitos pesquisadores (JANSSEN; KILIAAN, 2014).

Ao longo das duas últimas décadas, os dois índices principais utilizados para avaliar a qualidade nutricional da fração de lipídios alimentares têm sido as razões AGPI/AGS e  $\omega$ 6/ $\omega$ 3. Uma dieta com baixos valores de AGPI/AGS não é apropriada, uma vez que favorece o aumento do colesterol plasmático. Por outro lado, a razão  $\omega$ 6/ $\omega$ 3 deve ser baixa a fim de evitar o estado pró-trombótico e pró-agregação induzida por um nível elevado de AGPI  $\omega$ 6 (LIRA et al., 2014). Assim, as proporções de AGPI/AGS devem ser superiores a 0,45, enquanto  $\omega$ 6/ $\omega$ 3 deve ser inferior a 4,0 para promover benefícios à saúde (DIAS et al., 2014).

No entanto, o critério das razões AGPI/AGS e  $\omega$ 6/ $\omega$ 3 não deve ser considerado sozinho porque entre outros fatores, não consideram os efeitos benéficos dos ácidos graxos monoinsaturados e do C18:0, apesar deste último ser um ácido graxo saturado (LIRA et al., 2014). Os valores mais baixos dos índices de aterogenicidade (IA) e trombogenicidade (IT) implicam em uma melhor qualidade nutricional dos ácidos graxos. Assim, dietas com baixos valores de IA e IT poderiam potencialmente diminuir o risco de doença coronariana (FILHO et al., 2010).

Em relação à *A. aculeata*, Berton (2013) em simulação de um plantio racional com 400 plantas/ha, verificou em um dos genótipos estudados, o valor de 13 toneladas de óleo por ha.ano-1 ultrapassando, portanto, o rendimento do óleo de palma que é de 5.950 L (ATABANI et al., 2012; BERGMANN et al., 2013). O óleo da polpa de macaúba atualmente

disponível não atende aos padrões de qualidade exigidos pelo Ministério de Agricultura e Meio Ambiente (MAPA). Para solucionar este problema, a pesquisa das boas práticas de colheita dos frutos, pós-colheita, prensagem e refino do óleo da polpa, resultaram em óleos brutos e refinados ricos em ácido oleico com baixo desenvolvimento de oxidação e de acidez. Os valores de índice de qualidade estavam dentro dos limites determinados pelos órgãos reguladores para óleos vegetais comestíveis, mas o alto conteúdo restante de fosfolipídios no óleo refinado indica que outro melhoramento no passo de degomagem é necessário para obter uma qualidade global desejável (NUNES et al., 2015).

A deterioração oxidativa afeta negativamente a aparência, sabor, odor e prazo de validade dos alimentos. Além disso, a oxidação lipídica degrada compostos funcionais e nutricionais dos alimentos, danifica os ácidos graxos essenciais e produz polímeros oxidados que poderiam suscitar preocupações de segurança (WARDHANI et al., 2013). Durante este mecanismo de auto-oxidação, hidroperóxidos são formados como produtos de oxidação primários. A degradação destes hidroperóxidos leva à formação de uma grande variedade de compostos de baixo peso molecular, tais como alcanos, alcenos, aldeídos, cetonas, álcoois, ésteres, epóxidos e ácidos carboxílicos cada um caracterizado por aromas distintos (GÓMEZ-CORTÉS; SACKS; BRENNAN, 2015).

Na verdade, certos processos metabólicos que envolvem mudanças no perfil de triglicerídeos, ácidos graxos, tocoferóis, polifenóis, clorofilas e carotenoides ocorrem à medida que o amadurecimento avança. Estas variações refletem-se nas características sensoriais, especialmente no aroma, na estabilidade oxidativa e/ou no valor nutricional do produto final, e claro, no grau de qualidade dos óleos (FUENTES DE MENDOZA et al., 2013).

Os mais importantes fatores extrínsecos catalisadores da oxidação lipídica são as condições de armazenamento, incluindo temperatura, disponibilidade de O<sub>2</sub>, tempo, exposição à luz e umidade relativa do ar (TORRES et al., 2014). A proporção MUFA/AGPI bem como a razão C18:1/C18:2 são dois parâmetros importantes capazes de indicar a qualidade e a estabilidade dos azeites. A alta taxa de MUFA/PUFA favorece a resistência à deterioração oxidativa (REBOREDO-RODRÍGUEZ et al., 2015)

## 2.5 ESTRESSE OXIDATIVO E ANTIOXIDANTES

O desequilíbrio entre compostos oxidantes e antioxidantes pode causar estresse oxidativo das biomoléculas se os mecanismos de defesa antioxidante do organismo não são

adequados (GAWLIK-DZIKI, 2012). No entanto, no caso de um excesso de produção sustentada de espécies reativas oxidantes, um desequilíbrio redox também é gerado, o qual pode provocar danos à célula e/ou tecido. Além disso, espécies reativas de oxigênio (ERO) e espécies reativas de nitrogênio (ERN) podem ser rapidamente interconvertidas. Por exemplo,  $O_2$  pode ser convertido em  $O_2^{\bullet-}$  por vários sistemas enzimáticos e químicos, que é então convertido em  $H_2O_2$ , tanto espontaneamente quanto catalisada por superóxido dismutase.  $H_2O_2$  podem então ser convertido em radicais hidroxila ( $\bullet OH$ ) pelas reações de Fenton ou de Haber-Weiss e estes radicais livres podem reagir com Cl para produzir hipoclorito ou HOCl (CANNIZZO et al., 2011). O estresse oxidativo tem sido associado com o envelhecimento e o desenvolvimento de doenças crônicas, inflamatórias e degenerativas (GAWLIK-DZIKI, 2012).

Não se sabe ainda o grau em que os alimentos previnem doenças, mas existe uma estimativa que é comumente aceita pelos peritos que pelo menos um terço dos casos de câncer e de cerca de metade das doenças de coração, artérias e hipertensão podem ser atribuídas à dieta (LUZIA; JORGE, 2013). Portanto, o consumo de frutas e verduras é importante para a saúde e análise das propriedades destes compostos é fundamental para entender suas contribuições à saúde (BAE et al., 2012).

Por definição, um antioxidante é uma molécula que inibe a oxidação de outras moléculas. A proteção fornecida por qualquer composto antioxidante depende da sua concentração, mas principalmente de sua reatividade frente a determinadas espécies reativas de oxigênio que está sendo considerada (BITTENCOURT et al., 2015). Atualmente, a capacidade antioxidante dos alimentos vegetais tem sido tomada como um indicador dos seus efeitos benéficos sobre a saúde humana (PRIOR; WU, 2013).

Devido à crescente busca por substâncias bioativas que substituam produtos sintéticos, um grande número de ensaios *in vitro* têm sido desenvolvidos recentemente a fim de avaliar a atividade antioxidante, embora muitos destes métodos nem sempre apresentem uma correlação com a capacidade que os compostos têm de inibir a deterioração oxidativa *in vivo*. Este fato pode ser justificado porque a atividade antioxidante depende não só da reatividade química, mas também de fatores como a localização física, a interação com outros componentes e as condições ambientais (SILVA; JORGE, 2014).

## 2.6 COMPOSTOS BIOATIVOS, BIOACESSIBILIDADE E BIODISPONIBILIDADE

Os extratos vegetais contendo compostos bioativos são de interesse crescente para serem consumidos diretamente na dieta dos seres humanos ou para a formulação de alimentos funcionais e também como matéria-prima para produção de medicamentos e cosméticos (BARROS et al., 2016). Os fitoquímicos consumidos através de frutas frescas ou seus produtos derivados têm sido indicados por ter uma ampla variedade de funções biológicas, incluindo ação antioxidante, anti-inflamatória, anti-mutagênica, anti-cancerígena e antienvelhecimento para a saúde humana (KE et al, 2015; RAJENDRAN et al, 2014; ZHANG et al., 2015).

A produção de metabólitos secundários em espécies diferentes depende do seu processo de crescimento e os requisitos específicos da espécie. Vários estudos têm mostrado que a produção de metabólitos secundários depende também das condições do clima, solo e da cultura (por exemplo, plantas que crescem em ambientes desfavoráveis produzem um número maior de antioxidantes) (AZMIR et al., 2013). As plantas são afetadas por diversos fatores de estresse. A radiação UV pode ser considerada tanto como um fator de estresse como um fator regulador afetando significativamente o crescimento das plantas e a qualidade nutricional. Assim, UV-B é um importante fator ambiental abiótico que pode causar muitos efeitos diretos e indiretos nas plantas (TSURUNAGA et al., 2013).

Resíduos do processamento de frutas e vegetais são os mais estudados substratos para a extração de antioxidantes. O descarte desses materiais geralmente representa um problema e tem efeitos negativos sobre o meio ambiente. Assim, os novos aspectos em relação ao uso desses coprodutos de exploração adicional na produção de ingredientes alimentares com alto valor nutritivo apresentam interesse crescente. Portanto, a sua recuperação como produtos de alto valor pode proporcionar benefícios econômicos (GALANAKIS, 2012).

A avaliação da biodisponibilidade é fundamental para um melhor conhecimento dos riscos e benefícios associados ao consumo de alimentos. A este respeito, entre os métodos atualmente utilizados para a estimativa da biodisponibilidade ou fatores que discutem sobre isso, as técnicas *in vitro* em sua enorme variedade oferecem ampla produtividade, flexibilidade e âmbito experimental. A abordagem *in vivo* exige muito tempo, requer grandes recursos para um controle experimental adequado e tem algumas restrições éticas e analíticas. No entanto, sempre que possível, os estudos *in vivo* devem ser utilizados para a validação de modelos *in vitro*. Esta conclusão é reforçada por algumas limitações dos métodos *in vitro*, tais como a subestimação do efeito de refeições prévias que podem influenciar as concentrações

enzimáticas e pH. Por outro lado, um grande progresso foi feito na ponderação estatística das variáveis que contribuem para o binômio risco x benefício. As novas ferramentas estatísticas podem fornecer uma avaliação mais realista deste binômio se eles são acoplados com os fatores de biodisponibilidade dos vários componentes dos alimentos. Portanto, uma avaliação mais confiável dos riscos e benefícios associados ao consumo de alimentos pode inaugurar uma nova era no domínio da saúde pública, ou seja, através da promoção de uma reformulação das orientações dietéticas (CARDOSO et al., 2015).

A biodisponibilidade para os carotenoides refere-se à porção do composto que é absorvida, entra na circulação sistêmica e se torna disponível para utilização em funções fisiológicas normais ou para armazenamento no corpo humano. No entanto, a bioacessibilidade refere-se à proporção de carotenoides ingerida que é liberada a partir da matriz alimentar e incorporada em micelas no trato gastrointestinal e, portanto, disponível para absorção intestinal (RODRIGUEZ-AMAYA, 2015). A respeito dos fenólicos, a bioacessibilidade é definida como a quantidade de polifenóis ingerida que está disponível para absorção no intestino após digestão (AHMAD-QASEM et al., 2014) enquanto que a biodisponibilidade é definida como a fração de polifenóis secretada na circulação que está disponível para absorção e metabolismo tecidual (RODRÍGUEZ-ROQUE et al., 2014). Os compostos bioativos vegetais são representados por uma gama de substâncias enzimáticas e não enzimáticas antioxidantes. Dentre os compostos não enzimáticos, fenólicos, carotenoides, vitaminas C e E, fibras e minerais são os principais responsáveis pelas atividades biológicas.

### **2.6.1 Carotenoides**

Os carotenoides juntamente com os pigmentos de clorofila são os mais abundantes na natureza e estão presentes em muitos organismos, embora sejam geralmente sintetizados por espécies fotossintéticas. Em complexos fotossintéticos, as funções dos carotenoides envolvem a absorção de luz na região de 400-500 nm, alargando assim a gama de absorção do comprimento de onda da clorofila, proteção do sistema contra o estresse fotooxidativo e espécies reativas de oxigênio (CEREZO et al, 2012), além de serem moléculas sinalizadoras, precursoras de compostos voláteis, corantes e atuarem atraindo polinizadores (NISAR et al., 2015).

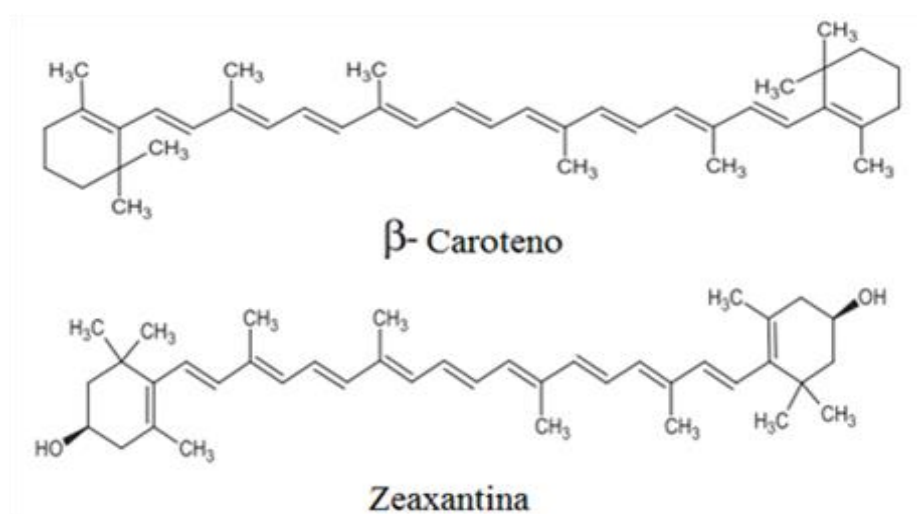
Os estudos epidemiológicos demonstraram que o consumo de dietas ricas em carotenoides está associado a uma menor incidência de câncer, doenças cardiovasculares, degeneração macular relacionada com a idade e formação da catarata (MEYERS et al, 2014;

SHARONI et al, 2012). Os seres humanos e os animais são incapazes de sintetizar carotenoides de modo que precisam ser introduzidos em sua dieta (FERNANDEZ-OROZCO et al., 2013).

Os carotenoides são triterpenóides encontrados em todo o reino vegetal como o principal pigmento responsável pela cor vermelha, laranja ou amarela de frutos e são importantes precursores de vitamina A (PIERSON et al., 2012). O pool de carotenoides em frutos, sementes e flores é determinada pela velocidade de síntese, taxa de degradação e disponibilidade dos locais de armazenamento ou dissipadores (CAZZONELLI; POGSON, 2010). O processamento de alimentos geralmente resulta em degradação, isomerização e oxidação de carotenoides (SHEN et al., 2015).

Em geral, os vegetais são uma fonte comparativamente mais rica de carotenoides do que as frutas. No entanto, os carotenoides das frutas são mais biodisponíveis. Diferentes fatores pré e pós-colheita estão relacionados com a bioacessibilidade dos carotenoides e juntamente com a biodisponibilidade, a função antioxidante e mecanismo de ação devem ser mais estudados. Fatores relacionados à bioacessibilidade, tais como o processamento térmico, barreiras estruturais nos alimentos (matriz, integridade da parede celular, bio-encapsulamento), além dos lipídios são os fatores mais cruciais para determinar a biodisponibilidade dos carotenoides (SAINI; NILE; PARK, 2015). A Figura 3 apresenta a estrutura de um caroteno e uma xantofila.

**Figura 3.** Estrutura química de carotenoides.

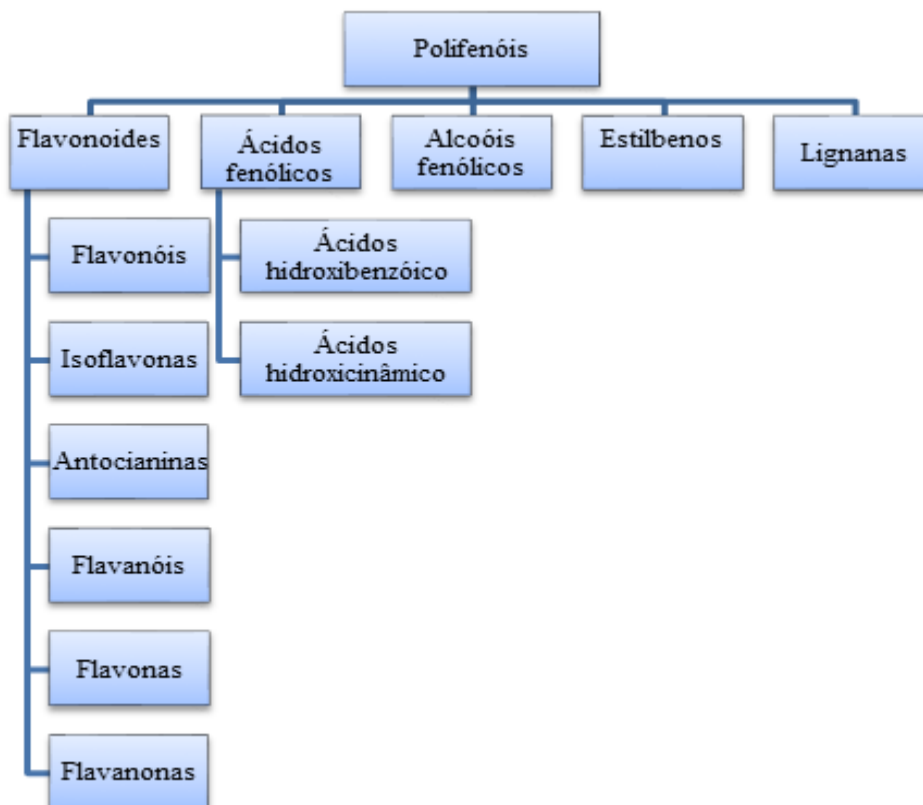


Fonte: (NIRANJANA et al., 2015).

### 2.6.2 Compostos fenólicos

Os compostos fenólicos representam um grande grupo que pode ser dividido em dois subgrupos principais: flavonoides e não flavonoides. A classe dos não flavonoides não apresenta uma estrutura básica em comum e, portanto, configura-se como muito heterogênea (CHEYNIER, 2005). Todos os polifenóis contêm um ou mais anéis aromáticos com um ou mais grupos hidroxila como substituintes. Dependendo do número destes anéis fenólicos e os elementos estruturais ligados a eles, os polifenóis são classificados em diferentes grupos (Figura 4). Os principais grupos são: flavonoides, ácidos fenólicos, álcoois fenólicos, estilbenos e lignanas (D'ARCHIVIO et al., 2007). Fenólicos são presumivelmente boas moléculas antioxidantes, devido aos seus extensivos sistemas de elétrons  $\pi$  conjugados que facilitam a doação de elétrons a partir das hidroxilas para as espécies radicais oxidantes (BITTENCOURT et al., 2015).

**Figura 4.** Classificação dos compostos fenólicos.

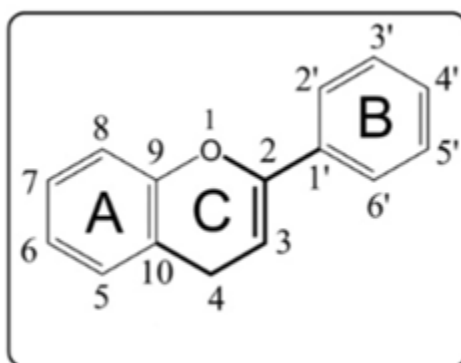


Fonte: (FORBES-HERNÁNDEZ et al., 2014).



Os flavonoides (Figura 5) são formados por 15 átomos de carbono no seu núcleo fundamental (estrutura C6-C3-C6) consistindo de dois anéis aromáticos (A e B) ligados por um anel heterocíclico oxigenado (C) (CERQUEIRA; MEDEIROS; AUGUSTO, 2007). Os flavonoides apresentam diferenças na estrutura dos três átomos de carbono que ligam os anéis aromáticos. As características distintivas desta cadeia de C3 estão associadas com a presença ou ausência de dupla ligação, de uma porção carbonila ou carboxila e a possibilidade de formação de um anel C penta ou hexagonal (TARAHOVSKY et al., 2014).

**Figura 5.** Estrutura química de um flavonoide



Fonte: Tarahovsky et al. (2014).

A evidência atual sugere fortemente uma contribuição dos polifenóis para a prevenção de diversas doenças crônicas degenerativas, como câncer, aterosclerose, doenças cardiovasculares e distúrbios do sistema nervoso central, bem como o envelhecimento (GIOVANNINI; MASELLA, 2012). Os compostos fenólicos também estão entre os componentes mais importantes sobre a qualidade do fruto. Contribuem para características organolépticas como cor e sabor (ZIELINSKI et al., 2014). Além disso, são utilizados na conservação dos alimentos contra alterações por microrganismos ou por oxidações lipídicas (MAQSOOD; BENJAKUL; SHAHIDI, 2013) sendo portanto, envolvidos na formulação de muitos suplementos, aditivos alimentares e medicamentos e suas fontes naturais são de grande interesse (PASSO TSAMO et al., 2015).

Os compostos fenólicos podem atuar por meio de mecanismos diferentes da função antioxidante, tal como a sinalização celular, expressão de genes e modulação da atividade enzimática (MILENKOVIC et al., 2011). A ação dos polifenóis é associada com a modulação de importantes parâmetros fisiológicos, tais como atividade vascular e função plaquetária, pressão arterial, perfil lipídico plasmático, como resultado da melhoria da resistência ao

estresse oxidativo, inflamação e disfunção endotelial (GARCÍA-ALONSO et al., 2006; VAN DUYNHOVEN et al., 2010).

Os polifenóis são muito sensíveis ao calor e à luz e apresentam baixa solubilidade em água (PARISI et al., 2014). São extensivamente metabolizados pela microflora intestinal (RASTMANESH, 2011). A hidrólise ácida de conjugados de polifenóis pela microflora no intestino é realmente requerida para a produção de compostos biodisponíveis a partir de estruturas fenólicas primárias. Enquanto o metabolismo oxidativo e conjugativo de polifenóis no fígado gera produtos de biotransformação de peso elevado e hidrofílicos, o metabolismo anaeróbico e redutor dos microrganismos intestinais gera produtos de baixo peso molecular não polares (SOUSA et al., 2008), os quais ultrapassam as membranas celulares mais facilmente.

Os compostos fenólicos são conhecidos como fitoquímicos de elevada atividade antioxidante e efeitos antiperoxidação conforme verificado *in vitro* e *in vivo* (BOAVENTURA et al., 2013; TOALDO et al., 2013). Os resultados reportados por Toaldo et al. (2015) sugerem que a melhoria da defesa antioxidante verificada em indivíduos saudáveis promovida pela ingestão do suco de uva da região Sul do Brasil foi devido à capacidade dos compostos fenólicos em eliminar os radicais livres e impedir a peroxidação lipídica pelo sequestro de radicais peroxila em fosfolipídios da membrana celular (GRIS et al., 2013).

### 2.6.3 Vitamina C

A vitamina C é uma vitamina hidrossolúvel, antioxidante que tem uma estrutura de  $\gamma$ -lactona e representa o L enantiômero do ácido ascórbico, a forma bioquimicamente e fisiologicamente ativa. O ácido ascórbico é o composto biológico eletroativo mais comum, sendo facilmente oxidado e isso constitui a base da sua determinação eletroquímica (PISOSCHI et al., 2014) sendo sua capacidade redutora característica de suas ações biológicas.

A vitamina C é um captador natural de radicais livres que pode efetivamente eliminar várias ERO e liberar o ácido semi-dehidroascórbico, varrendo o  $^1\text{O}_2$  e reduzindo os radicais de enxofre (AMITAVA; KIMBERLY, 2014). O ácido ascórbico é capaz de eliminar ERO/ERN que têm potencial para danificar os ácidos nucléicos e promover a carcinogênese (MAMEDE et al., 2011). Além disso, tem sido relatado que o ácido ascórbico está envolvido em funções celulares e respostas imunes. Altas doses de ácido ascórbico (concentrações milimolares)

acumulam-se no interior das células do sistema imunológico, tais como células B, células T, monócitos, neutrófilos e macrófagos (JEONG et al., 2011).

Cabe salientar que o ácido ascórbico tem outros diversos destinos, além do papel antioxidante. *In vivo*, o ácido ascórbico é utilizado como cofator de enzimas, o que inclui as hidroxilases de prolina e lisina, envolvidas na biossíntese do colágeno e a dopamina-beta-hidroxilase, a qual converte a dopamina em adrenalina (LEVINE, PADAYATTY, & ESPEY, 2011) e afeta positivamente a absorção do ferro a nível intestinal através da sua redução a íon ferroso (GENEVOIS; FLORES; DE ESCALADA PLA, 2014).

## 2.7 VOLÁTEIS E SPME

O sabor é uma percepção simultânea de gosto, odor e estímulos químicos. A natureza e quantidade relativa de compostos ativos de sabor voláteis e não-voláteis, a sua disponibilidade para os sentidos em função do tempo e o mecanismo de detecção determina a percepção de sabor (HEINIÖ, 2014).

Em sua matriz original, moléculas voláteis naturais costumam atuar como sinais químicos que atraem polinizadores, detectam inimigo e atuam como feromônios, além de outras propriedades. Em frutas e vegetais, os voláteis que representam o seu sabor característico são geralmente ésteres, aldeídos, álcoois, terpenos ou seus derivados. Por vezes, uma substância isolada é capaz de refletir o sabor aproximado de um produto e, neste caso, é chamado de "composto de impacto". Mas, em algumas circunstâncias, é a combinação de substâncias que em conjunto interagem com os receptores da mucosa nasal e é interpretado pelo cérebro para criar uma impressão sensorial típica para cada produto. Em todos os casos, compostos de aroma são extremamente importantes para a indústria e são usados para a elaboração de diferentes produtos como alimentos, bebidas, cosméticos e perfumes (BICAS et al., 2011).

Alguns compostos voláteis são, provavelmente, comuns a quase todas as frutas e outros são específicos para apenas uma ou algumas frutas relacionadas. A produção de compostos voláteis é marcadamente influenciada por vários fatores e até o momento existe uma compreensão limitada de como esses fatores interagem para determinar a composição volátil real resultando no sabor da fruta. De um modo geral, mais de uma via bioquímica é responsável pela mistura de compostos voláteis liberados a partir de diferentes frutos. Dentro deste contexto, mais informações sobre os genes que estão envolvidos na síntese de voláteis responsáveis pelo aroma devem ser revistos (EL HADI et al., 2013).

Uma vez que o odor (olfato ortonasal) e o aroma (olfato retronasal) também são fatores importantes de preferência dos consumidores, a sua previsão através de parâmetros instrumentais são úteis. As diferenças olfativas percebidas pelos provadores ou consumidores estão ligadas com a natureza e a concentração dos compostos voláteis e também com a sua interação com os compostos não-voláteis (BUGAUD; ALTER, 2016).

Existindo regularmente produtos de degradação dos principais componentes dos alimentos como açúcar, gordura e nutrientes, as substâncias voláteis podem ser abordadas não só para a compreensão de mudanças químicas na fração volátil em si, mas também como uma testemunha para o que está acontecendo em outras frações dos alimentos (por exemplo, fração líquida). Além disso, as mudanças em compostos voláteis contribuem para o aroma percebido e são importantes para a qualidade sensorial dos produtos alimentícios em geral (WIBOWO et al., 2015b)

Por causa do perfil de compostos voláteis, GC-FID ou GC-MS não pode revelar o aroma real da amostra, como compostos diferentes têm diferentes limiares de odor e a área nem sempre reflete a sua atividade odorífera, GC-Olfatometria é a escolha para caracterizar o aroma (MASTELLO; JANZANTTI; MONTEIRO, 2015). A micro extração em fase sólida (SPME) tem experimentado um rápido desenvolvimento e crescimento das áreas de aplicação desde a sua criação há mais de 20 anos. Teve um grande impacto sobre as práticas de amostragem em análise química, de alimentos, bioanálise e ciências ambientais (BOJKO et al., 2012).

Neste contexto, entre todos os métodos analíticos utilizados para estabelecer a qualidade do sabor, a micro extração em fase sólida (SPME) tem demonstrado ser uma técnica simples, rápida, sensível e livre de solventes (CUEVAS et al., 2016). Várias pesquisas têm sido feitas para extração de voláteis utilizando a SPME com diferentes matrizes alimentares, a saber: carne (LYTE et al., 2016), queijo (VALDIVIELSO et al., 2016), resíduos de camarão (CAI et al., 2016), chocolate (MENEZES et al., 2016), uvas (YUAN; QIAN, 2016) e muitas outras frutas. Para resumir o status atual dos métodos de micro extração na análise de compostos aromáticos, a posição de liderança da SPME é indiscutível, porém mais impacto na análise quantitativa iria explorar todas as vantagens desta técnica (JELENÍ; MAJCHER; DZIADAS, 2012).

## 2.8 ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS

A Análise de Componentes Principais (ACP) é considerada como um método de análise multivariada não supervisionada, o que significa que o modelo não está orientado em uma direção predeterminada. Além disso, a ACP é vista como uma medida iterativa de observação do "mundo real", através do qual um conjunto de dados é resolvido em uma matriz na forma de componentes principais (CPs) que podem ser tratados por métodos estatísticos clássicos, visualizados e interpretados para extrair a informação especial requerida (WANG et al., 2012).

A ACP e Análise Hierárquica de Agrupamentos (AHA) fornecem diferenciação amostral qualitativa rápida e automática, em particular quando a quantificação e caracterização de componentes específicos da matriz não são necessários (CAGLIERO et al., 2012). Normalmente, apenas os dois primeiros CPs respondem por variação significativa. Portanto, somente CPI e CPII são comumente mantidos e interpretados em uma estrutura simples bidimensional. Além disso, porque as unidades de medida das variáveis avaliadas são diferentes, os dados são frequentemente centrados e padronizados para variância unitária, de forma a ter um peso igual na análise, com a ilustração resultante referida como uma matriz de correlação. As cargas produzidas irão mostrar um padrão semelhante, embora suas diferenças absolutas sejam diferentes, com variáveis plotadas ao longo de CPI e CPII exibindo diferentes construções que compartilham os mesmos significados conceituais, respectivamente, ou seja, de boa e de má qualidade. Em termos de interpretação, uma carga negativa para um atributo no CPI, por exemplo, significa que ao longo do CPI, todas as cargas negativas correlacionam-se positivamente com outras variáveis no mesmo plano do eixo e negativamente com outras variáveis carregadas positivamente. Portanto, conclui-se que a ACP pode formar a base de uma compreensão mais aprofundada dos efeitos de fatores intrínsecos e extrínsecos sobre a qualidade de frutas frescas de corte e ajudar a otimizar a qualidade do produto (FINNEGAN; O'BEIRNE, 2015).

Estudos recentes têm mostrado a eficácia da ACP para avaliar a influência do genótipo no perfil de ácidos graxos (CICATELLI et al., 2013), na caracterização física e química de frutas (ŠAMEC et al., 2016), nas alterações da fração volátil e de bioativos durante o armazenamento (WIBOWO et al., 2015a; WIBOWO et al., 2015b) e na diferenciação de cultivares (HASNAOUI; WATHELET; JIMÉNEZ-ARAUJO, 2014).

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 ORIGEM DOS FRUTOS E CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO

O presente estudo foi conduzido com a investigação da espécie vegetal *Acrocomia intumescens* Drude cujos frutos no estágio maduro foram colhidos manualmente com a ajuda de varas em plantas de porte alto nas primeiras horas do dia de diferentes cachos presentes na copa. A colheita foi realizada antes da abscisão da planta em frutos de sete genótipos de ocorrência espontânea provenientes do Parque Estadual Mata do Pau Ferro (G1, G2, G3 e G4) e entorno (G5, G6 e G7) em julho de 2013. Os sete genótipos representaram as sete plantas de macaíbeira onde foram coletados os frutos e o entorno foram os sítios localizados próximos ao Parque.

O Parque Estadual Mata do Pau-Ferro está situado no município de Areia-PB, na Microrregião do Brejo Paraibano, entre as coordenadas geográficas 6° 58'12"Latitude Sul e 35° 42'15" Longitude W de Greenwich em uma altitude variável entre 400 e 600 m.

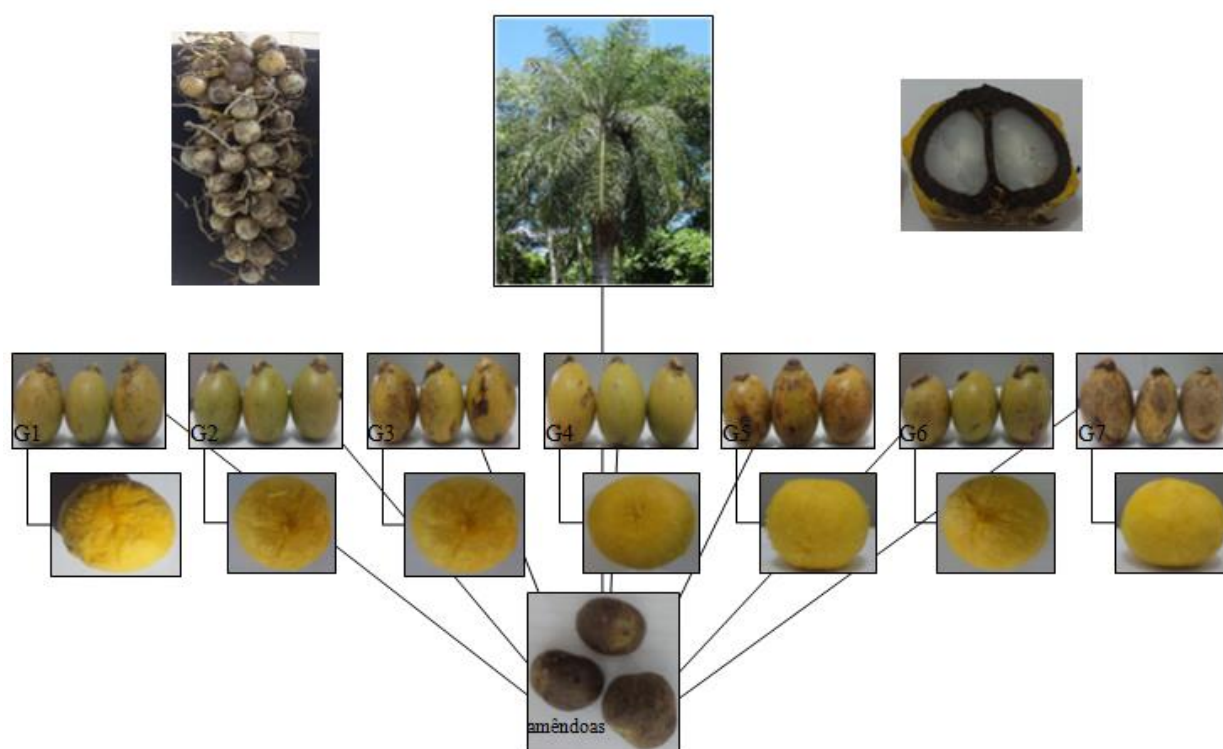
Após a colheita, os frutos foram transportados ao laboratório de Biologia e Tecnologia Pós-Colheita do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Paraíba (CCA/UFPB), lavados e secos à temperatura ambiente. Em seguida, foram selecionados quanto à ausência de injúrias, processados manualmente e separados em casca, polpa, amêndoa e endocarpo (Figura 6) sendo este último descartado. Estas frações foram homogeneizadas separadamente e armazenadas sob refrigeração (-18 °C) até o momento das análises. O material estudado foi identificado e registrado no Herbário Jayme Coêlho de Moraes da Universidade Federal da Paraíba, sob o número 21694.

#### 3.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E ANÁLISE ESTATÍSTICA

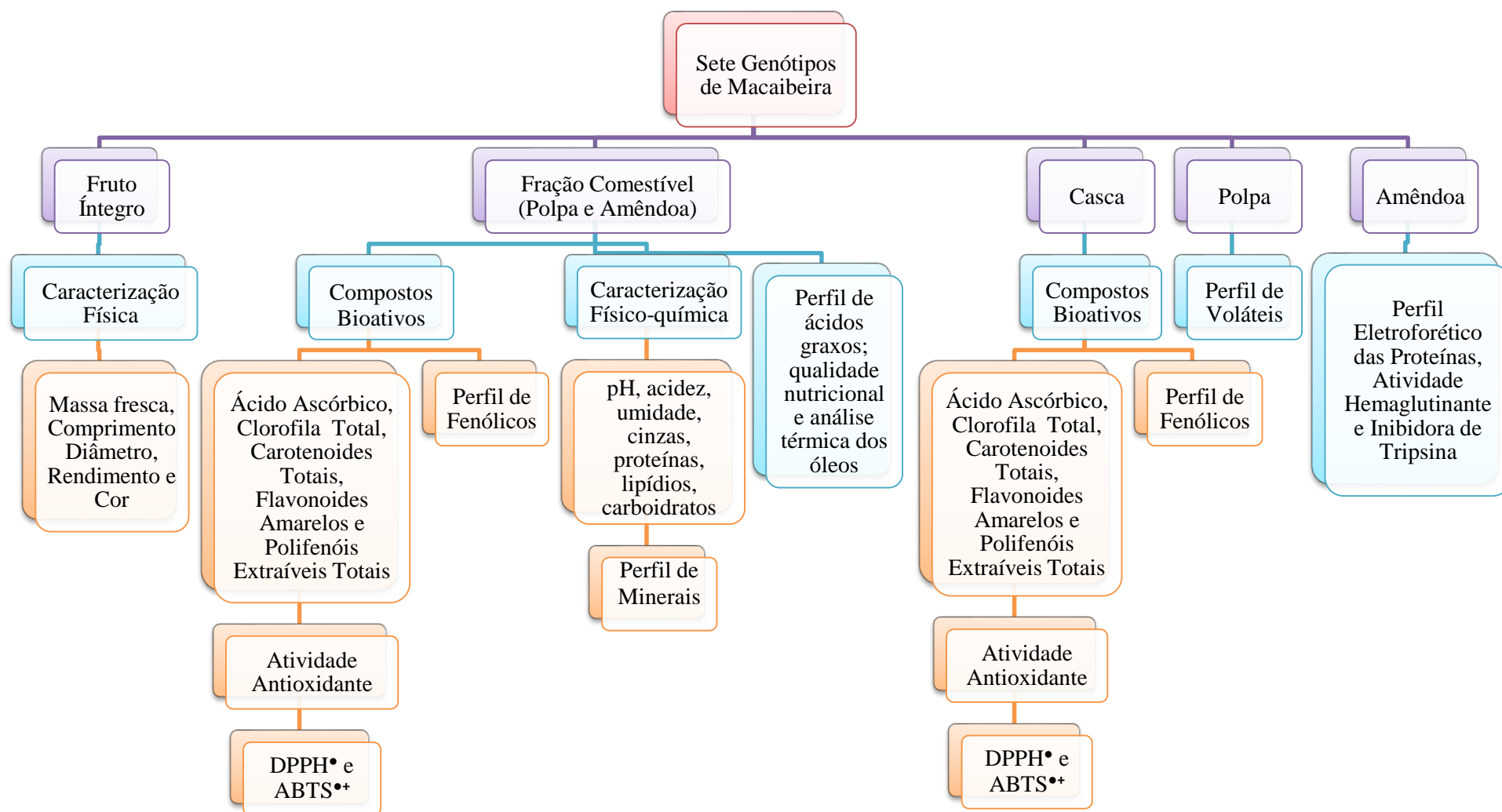
A pesquisa foi direcionada de acordo com o planejamento experimental esquematizado na Figura 7. O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado com três repetições. As características físicas foram determinadas através de avaliação individual de 60 frutos e cada fruto representou uma repetição. Para avaliação química foram utilizadas a casca, polpa e amêndoas da macaíba obtidas de três repetições constituídas de 20 frutos por genótipo. Foi considerada uma injeção nas análises cromatográficas.

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F e as médias entre genótipos comparadas pelo teste de Scott Knott em até 5% de probabilidade. Realizou-se análise multivariada de componentes principais (ACP) e análise de *cluster* pelo método de Ward para agrupar os genótipos que possam apresentar similaridade em relação às características estudadas. Em relação aos voláteis, foi utilizada a análise de agrupamento hierárquico com um algoritmo baseado estreitamente no método Sokal; Michener (1958) para agrupar os genótipos. Realizou-se análise de correlação de Pearson para as variáveis relacionadas com os índices de qualidade nutricional e atividade antioxidante. Utilizou-se os softwares SAS 9.22 (2010) e o JMP 10 Demo para as análises.

**Figura 6.** Genótipos de macaibeira e frações analisadas. Areia-PB, 2016.



Fonte: Própria (2016).



**Figura 7.** Planejamento experimental em frutos de macaíbeira.



### 3.3 AVALIAÇÕES

#### 3.3.1 Avaliações físicas

**Massa fresca (g):** Foi determinada através da pesagem individual do fruto, polpa e semente em balança semi-analítica, sendo os resultados expressos em gramas.

**Comprimento e Diâmetro dos frutos (mm):** Foram determinados com o auxílio de paquímetro digital.

**Rendimento do fruto (%):** Foi obtido pelo somatório da massa da polpa e da amêndoa dividindo-se pela massa do fruto multiplicado por 100.

**Percentuais de casca, polpa, endocarpo e amêndoa (%):** Foram obtidos pela relação entre a massa da casca (g) e a massa do fruto (g); a massa da polpa (g) e a massa do fruto (g); a massa do endocarpo (g) e a massa do fruto (g) e; a massa das amêndoas (g) e a massa do fruto (g) multiplicado por 100.

**Coloração da casca e polpa:** efetuaram-se duas leituras para cada porção do fruto, casca e polpa. Os parâmetros de cor ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ) foram determinados a partir de colorímetro Minolta CM-508d. Os valores de Cromaticidade (C) e  $^{\circ}H$  matizes, cujos ângulos  $0^{\circ}$  = vermelho,  $90^{\circ}$  = amarelo,  $180^{\circ}$  = verde,  $270^{\circ}$  = azul foram determinados segundo Minolta (1998).

**Atividade de água:** determinada pelo método 978.18 (AOAC, 2000), utilizando higrômetro AQUALAB CX (Decagon Devices, Washington, EUA).

#### 3.3.2 Avaliações químicas

**Potencial Hidrogeniônico - pH:** Foi determinado utilizado-se potenciômetro digital, conforme metodologia do Instituto Adolfo Lutz- IAL (2008).

**Acidez Titulável (g. ácido cítrico.100 g<sup>-1</sup> de polpa):** Determinada por titulometria através da diluição de 5 g de polpa e 2,5 g de amêndoa para 50 ml de água destilada titulando-se com solução de NaOH 0,1 M conforme metodologia do Instituto Adolfo Lutz- IAL (2008).

**Umidade (g.100 g<sup>-1</sup>):** O teor de umidade foi determinado em estufa a  $105^{\circ}C \pm 2^{\circ}C$  até peso constante, segundo o procedimento analítico descrito no item nº 950.46.41 da AOAC (2000).

**Cinzas (g.100 g<sup>-1</sup>):** O teor de cinzas foi determinado pelo método gravimétrico, em que as amostras foram incineradas em mufla a 550 °C ± 10 °C segundo a metodologia descrita no item nº 920.153 da AOAC (2000).

**Proteínas (g.100 g<sup>-1</sup>):** A determinação quantitativa de proteína bruta foi realizada utilizando o método de Kjeldhal. O teor de proteínas foi calculado utilizando o fator de 6,25 para a conversão do nitrogênio total em nitrogênio proteico, segundo o procedimento analítico descrito no item nº 928.08 da AOAC (2000).

**Proteínas solúveis (mg/mL):** Foram determinadas pelo método de Bradford (1976). Pesou-se 50 mg de amêndoas de macaíba delipidada em um tudo de ensaio. Adicionou-se 1 mL de NaCl 0,15 M, agitou-se por 2 h em velocidade lenta e os extratos foram centrifugados por 10 minutos a 5.000 rpm. O sobrenadante foi utilizado para quantificar as proteínas solúveis utilizando albumina sérica bovina (BSA) como padrão analítico. A leitura de quantificação proteica foi realizada em espectrofotômetro a 595 nm.

**Lipídios (g.100 g<sup>-1</sup>):** Os lipídeos totais foram dosados por extração de 10 g de polpa e 2 g de amêndoa em mistura de clorofórmio/metanol (2:1), seguindo-se de evaporação em estufa operando a 105 °C ± 2 °C até peso constante (FOLCH; LESS; STANLEY, 1957).

**Ácido Ascórbico (mg.100 g<sup>-1</sup>):** Determinado logo após o processamento por titulometria utilizando-se solução de DFI (2,6 dicloro-fenolindofenol 0,002%) de acordo com Strohecker; Henning (1967). Utilizou-se 1 g de polpa e 2,5 g de amêndoa diluídas em 50 mL de ácido oxálico a 0,5% para preparo do extrato. Os resultados foram calculados pela fórmula:  $(V \times F/1000) \times 100/P$  sendo V= volume de DFI gasto na titulação; F = fator do DFI; e P= peso da amostra.

**Clorofila total (mg.100 g<sup>-1</sup>):** Foi determinada na casca conforme metodologia de Bruinsma (1963). Os extratos foram preparados a partir da maceração de 3 g de casca em 10 mL de acetona a 80% permanecendo protegidos da luz durante 12 horas sob refrigeração para posterior leitura em espectrofotômetro a 652 nm. Os resultados foram calculados pela equação de Engel; Poggiani (1991).

**Carotenoides Totais (mg.100 g<sup>-1</sup>):** Foram determinados pelo método de Higby (1962). Os extratos foram preparados utilizando-se 3 g de casca, 1 g de polpa e 4 g de amêndoa maceradas em 10 mL de hexano PA e carbonato de cálcio os quais permaneceram protegidos da luz durante 12 horas sob refrigeração. Em seguida, procedeu-se a centrifugação a 8.000 rpm durante 10 minutos para posterior leitura em espectrofotômetro a 450 nm. Os extratos da casca foram previamente macerados com acetona a 50%, a qual foi desprezada e adicionou-se areia calcinada. Os resultados foram calculados utilizando a fórmula: Carotenoides totais =

$(A_{450} \times 100)/(250 \times L \times W)$ , sendo  $A_{450}$  = absorvância;  $L$  = largura da cubeta em cm; e  $W$  = quociente entre a massa da amostra em gramas e o volume final da diluição em mL.

**Flavonoides Amarelos ( $\text{mg.100 g}^{-1}$ ):** Foram determinados conforme método de Francis (1982). Os extratos foram preparados a partir da maceração de 1 g de casca, 1 g de polpa e 3 g de amêndoa em 10 mL de solução extratora (etanol PA: HCl 1,5 M - 85:15), os quais permaneceram protegidos da luz durante 12 horas sob refrigeração. Em seguida, foi feita a centrifugação a 9.000 rpm por 15 min para posterior leitura em espectrofotômetro a 374 nm. Os resultados foram calculados através da fórmula: fator de diluição x absorvância/76,6.

### 3.3.3 Determinação de compostos fenólicos e atividade antioxidante total

#### 3.3.3.1 Preparo dos extratos

Os extratos provenientes da casca, polpa e amêndoa utilizados para a determinação da atividade antioxidante e polifenóis extraíveis totais (PET) foram obtidos conforme Larrauri *et al.* (1997). Pesou-se 1 g de casca e amêndoa e 3 de polpa e adicionou-se 4 mL de metanol 50%, deixando-se em repouso por 1 hora para extração e seguiu-se de centrifugação por 15 minutos a 15.000 rpm. Em seguida, foi retirado o sobrenadante, colocando-o em tubo de ensaio graduado. Adicionou-se 4 mL de acetona 70% ao resíduo, deixando-se extrair por 1 hora, sendo centrifugado por 15 minutos a 15.000 rpm. O sobrenadante foi retirado e colocado junto com o primeiro sobrenadante, completando o volume para 10 mL com água destilada. Todo procedimento foi realizado na ausência de luz.

#### 3.3.3.2 Polifenóis Extraíveis Totais (PET)

A determinação foi realizada conforme Obanda; Owuor (1997) utilizando-se o reagente de Folin- Ciocalteau e leitura em espectrofotômetro a 700 nm. Tomou-se uma alíquota do extrato fenólico, completando-se o volume para 1.000  $\mu\text{L}$  com água destilada. Esta diluição foi adicionada de 1 mL do reagente Folin-Ciocalteau, 2 mL de carbonato de sódio 20% e 2 mL de água destilada. Após agitação, incubou-se a solução, contendo o extrato por 30 minutos na ausência de luz. Os resultados foram expressos em mg de ácido gálico equivalente (AGE)/100g.

### 3.3.3.3 Atividade antioxidante - Método DPPH•

A partir de extrato fenólico obtido anteriormente, foram preparadas três diluições (200, 600 e 1000  $\mu\text{L} \cdot \text{mL}^{-1}$ ) em triplicata, determinadas através de testes prévios, tomando como base a curva padrão do DPPH• (concentração final variando de 0 a 60  $\mu\text{M}$ , diluída e metanol PA). De cada diluição, utilizou-se uma alíquota de 100  $\mu\text{L}$  à qual foi adicionado 3,9 mL do radical DPPH• (60  $\mu\text{M}$ ). Como controle, utilizou-se 100  $\mu\text{L}$  da solução controle (álcool metílico 50% + acetona 70% + água destilada – 4:4:2). Para calibração do espectrofotômetro (Geneses TM 10s UV VIS) no comprimento de onda de 515 nm, utilizou-se álcool metílico PA.

As diluições foram incubadas à temperatura ambiente, na ausência da luz por 50 minutos, tomando como base a estabilização de absorbância. Para calcular a ATT (g polpa. g DPPH•<sup>-1</sup>), foi determinada a equação da reta, a partir da absorbância das três diluições, substituindo-se em seguida na equação a absorbância equivalente a 50% da concentração do DPPH• (abs. inicial do controle/2), encontrando-se a quantidade da amostra necessária para reduzir em 50% a concentração inicial do radical DPPH• (EC<sub>50</sub>). Os resultados foram expressos como EC<sub>50</sub> em g fruta/g DPPH = (EC<sub>50</sub> (mg/L) / 1.000 x 1) / g DPPH• (RUFINO et al., 2007a).

### 3.3.3.4 Atividade antioxidante - Método ABTS•<sup>+</sup>

A atividade antioxidante total (AAT) foi determinada através de ensaio com o radical livre ABTS•<sup>+</sup> preparado pela reação de 5 mL de ABTS•<sup>+</sup> (7 mM) com 88  $\mu\text{L}$  de persulfato de potássio (140 mM). O sistema foi mantido em repouso, à temperatura ambiente (25°C) durante 16 horas na ausência de luz. Uma vez formado o radical ABTS•<sup>+</sup>, o mesmo foi diluído com etanol PA até se obter valor de absorbância de 700 nm a 734 nm. Usando uma alíquota de 30  $\mu\text{L}$  do extrato + água, foram adicionados 3 mL da solução com absorbância a 700 nm (radical ABTS•<sup>+</sup> + etanol PA) na ausência de luz.

O decréscimo da absorbância a 734 nm foi medido depois de 6 minutos. Os resultados foram expressos como TEAC (Atividade Antioxidante Equivalente ao Trolox) em  $\mu\text{M}$  de Trolox/g de polpa fresca (RUFINO et al., 2007b).

### **3.3.4 Perfil de fenólicos**

#### *3.3.4.1 Extração*

Utilizou-se 5 g de amostra (polpa, casca e amêndoa) e adicionou-se 20 mL de metanol (50%). Em seguida, as amostras foram homogeneizadas durante 2 minutos em vortex. A mistura foi deixada em repouso por uma hora à temperatura ambiente e seguiu para centrifugação a 9.000 rpm durante 15 minutos a 25 °C. O sobrenadante foi reservado em tubo de ensaio devidamente protegido da luz. Adicionou-se 20 mL de acetona (70%) ao precipitado e repetiu-se o procedimento descrito acima. O segundo sobrenadante foi adicionado ao primeiro e concentrado em estufa a 40°C.

#### *3.3.4.2 Identificação*

A separação e quantificação dos compostos fenólicos foi realizada em cromatógrafo líquido de alta eficiência em fase reversa usando o módulo de separação (LC-20 AT, Shimadzu Corporation, Japão) equipado com uma coluna C18 (SUPELCO SIL™ LC-PAH HPLC Column, 250 x 4,6 mm, tamanho de partícula 5 µm, Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, EUA) e um detector UV-VISÍVEL a 280 nm (Rheodyne, EUA). As amostras foram eluídas em um sistema gradiente que consiste nas seguintes fases móveis: solvente A (2% de ácido acético, v/v) e solvente B (acetonitrila: metanol, 2:1, v/v), em fluxo constante de 1 mL/min. O sistema gradiente iniciou-se a partir de 90% de A a 0 minutos a 80% de A em 10 minutos, 70% de A em 15 min, 60% de A em 25 min, 50% de A em 30-40 min, 75% A a 42 min e 90% de A em 44 min. A temperatura da coluna foi mantida a 40 °C e o volume de injeção foi de 20 µL (NAGENDRA PRASAD et al., 2009). A identificação dos fenólicos foi feita por comparação com os padrões.

### **3.3.5 Perfil de minerais**

Os minerais foram analisados por Espectrômetro de Fluorescência de Raios-X por Energia Dispersiva (Shimadzu EDX - 720, EDX), no Laboratório de Bioquímica e Biotecnologia de Alimentos (CES/UFCG), Campus de Cuité/PB. Inicialmente, as amostras foram submetidas à carbonização, seguida de incineração em forno mufla a 550 °C, para a obtenção das cinzas. Estas foram colocadas em cubetas cobertas por um filme de

polipropileno de 5 µm de espessura e, posteriormente, estas amostras foram submetidas à vácuo. Foram utilizadas as seguintes condições de operação do equipamento: tensão do tubo de 15 keV (Na a Sc) e 50 keV (Ti a U) e um colimador de 10 mm, com um detector de estado-sólido tipo Si (Li), com resfriamento por nitrogênio líquido.

### **3.3.6 Eletroforese de proteínas**

O perfil molecular das proteínas presentes nas amêndoas de macaíba foi determinado por meio de gel de poliacrilamida (SDS-PAGE) de acordo com o método de Laemmli (1970). As proteínas foram extraídas em solução salina de NaCl 0,15 mol/L e solubilizadas em tampão de Tris-HCl 0,0625, contendo 2% de SDS, 2% de 2-mercaptoetanol, 10% de glicerol e 0,010% de azul de bromofenol, seguidas pela aplicação de uma alíquota num gel de empilhamento de 4 g/100 g e 12,5 g/100 g em gel de corrida de poliacrilamida (10 x 10,5 cm, com espaçadores de 0,30 mm). Alíquotas foram aplicadas de acordo com o teor proteico de cada amostra e o gel foi submetido a uma corrente constante de 25 mA por aproximadamente 2 horas. Foi utilizado como padrão de massa molecular o marcador BlueStep Broad Range Protein Marker (Amresco) de 9-200 kDa. Após a corrida, o gel foi corado segundo procedimento descrito por Weber; Osborn (1969). A solução corante foi preparada usando-se Comassie Blue R-250 (Sigma Chemical Co.) a 1%, metanol 40%, ácido acético 10% em água destilada. O descoramento foi feito com uma solução contendo ácido acético 10 % e metanol 20% em água destilada.

### **3.3.7 Ensaio de inibição de tripsina**

O ensaio de inibição de tripsina foi realizado utilizando o método descrito por Xavier-Filho et al. (1989). A atividade inibitória foi realizada através de ensaio enzimático com tripsina suína (Sigma-Aldrich) e o substrato BAPNA (benzoyl-arginina-paranitroanilida). No meio de pré- incubação adicionou-se, sob banho de gelo, 10 µL de tripsina 0,3 mg/ml (volume determinado a partir da curva de melhor atividade enzimática), 120 µL de HCl 2,5 mM, alíquotas de 370 µL de tampão Tris-HCl 0,05 M pH 7,5 e 100 µL das amostras. Ressalta-se que nos tubos de controle negativo, acrescentou –se 100 µL do tampão e não de amostras.

A pré-incubação ocorreu durante 10 minutos a 37 °C. Após este período foi adicionado 500 µL do substrato cromogênico BAPNA aos tubos testes, prosseguindo-se a incubação por mais 15 minutos nas mesmas condições de temperatura. A reação foi interrompida pela adição

de 120 µL de ácido acético 30% (v/v), seguida da adição de 500 µL do BAPNA nos brancos. A hidrólise do substrato pela enzima foi acompanhada fotometricamente a 410 nm. Todos os ensaios foram realizados em triplicata e acompanhados com a realização dos respectivos controles negativos, em duplicata.

### **3.3.8 Atividade hemaglutinante**

A atividade hemaglutinante dos diferentes extratos proteicos foram determinados por meio de diluições dupla-seriadas com NaCl 0,15 M e, a cada 100 µL de cada diluição, adicionou-se igual volume de uma suspensão de eritrócitos de coelhos a 2% em NaCl 0,15 M (CORREIA; COELHO, 1995). Os tubos foram então incubados em estufa a 37 °C por 30 minutos e, em seguida, deixados em repouso à temperatura de 25 °C por 24 horas.

### **3.3.9 Análise do perfil de ácidos graxos**

#### *3.3.9.1 Procedimentos de transesterificação dos ácidos graxos*

Foi utilizada a metodologia de transesterificação de Hartman; Lago (1973) conforme descrição a seguir: Tomou-se uma alíquota de 3 mL dos extratos lipídicos, adicionou-se 1 mL do padrão interno (C19:0) e 4 mL da solução de saponificação (KOH). Levou-se a aquecimento em refluxo por 4 minutos. Em seguida, foram adicionados 7,5 mL da solução de esterificação, aquecendo em refluxo por mais 3 minutos. Retirou-se o balão, deixando-o esfriar para as subseqüentes lavagens com éter, hexano e água destilada até obter-se um extrato que foi acondicionado em vidro âmbar e submetido à secagem até completa evaporação dos solventes. Após a secagem, fez-se a suspensão em 1 mL de hexano e acondicionou-se no vial para posteriores análises cromatográficas.

#### *3.3.9.2 Identificação dos ácidos graxos*

A identificação dos ésteres metílicos foi realizada no cromatógrafo gasoso (Varian 430GC) equipado com detector de ionização de chama (FID) e coluna capilar de sílica fundida (CP WAX 52 CB Varian) com dimensões de 60 m de comprimento por 0,25 mm de diâmetro interno e 0,25 µm de espessura do filme da fase estacionária. Os parâmetros utilizados nas análises cromatográficas do perfil de ácidos graxos da polpa e da amêndoa após

verificação da melhor condição de separação dos picos ficaram assim estabelecidos: temperaturas do injetor 250 °C e detector de 260 °C. A temperatura da coluna foi programada a 60 °C, seguindo por uma rampa de 2,5 °C min<sup>-1</sup> até atingir 240 °C que permaneceu por 15 minutos. O tempo total de análise foi de 87 minutos. As vazões dos gases para o detector foram de 30 ml min<sup>-1</sup> para o hidrogênio, 25 ml min<sup>-1</sup> para o hélio e 300 ml min<sup>-1</sup> para o ar sintético. Os volumes de injeção foram de 1,0 µL e a divisão de amostras (Split) foi de 1:50. Os cromatogramas foram registrados em um software tipo *Galaxie Chromatography Data System*. A identificação dos ésteres metílicos de ácidos graxos foi realizada por comparação do tempo de retenção dos ésteres metílicos das amostras com os padrões de ésteres metílicos de ácidos graxos (Mix C4-24-18919-1AMP Supelco). Os resultados dos ácidos graxos foram quantificados por normalização das áreas dos ésteres metílicos e expressos em mg.100g<sup>-1</sup> de amostra.

### 3.3.10 Índices de qualidade nutricional dos lipídios

A fração lipídica da polpa e da amêndoa foi avaliada nutricionalmente utilizando-se três índices determinados a partir do perfil de ácidos graxos: Índice de Aterogenicidade (IA) =  $[(C12:0 + (4 \times C14:0) + C16:0)]/(\Sigma AGMI + \Sigma \omega 6 + \Sigma \omega 3)$ ; Índice de Trombogenicidade (IT) =  $(C14:0 + C16:0 + C18:0)/[(0,5 \times \Sigma AGMI) + (0,5 \times \Sigma \omega 6 + (3 \times \Sigma \omega 3) + (\Sigma \omega 3/\Sigma \omega 6)]$  (ULBRICHT; SOUTHGATE, 1991); e razão entre ácidos graxos hipocolesterolêmicos e hipercolesterolêmicos (HH) =  $(C18:1cis9 + C18:2\omega 6 + C20:4\omega 6 + C18:3\omega 3 + C20:5\omega 3 + C22:5\omega 3 + C22:6\omega 3)/(C14:0 + 16:0)$ , segundo Santos-Silva; Bessa; Santos-Silva (2002). Os valores de ácidos graxos desejáveis (AGD) foram calculados pela seguinte fórmula: AGD = AGM+AGP+C18:0.

### 3.3.11 Avaliação térmica dos óleos brutos de polpa e amêndoa

Após a extração, cada amostra foi submetida à secagem em estufa de circulação de ar, à temperatura de 40 °C para eliminar o excesso de água. As curvas termogravimétricas e de Análise Térmica Diferencial (DTA) dos óleos brutos de macaíba foram obtidas em Analisador Térmico Simultâneo DTA-TG-DTG, modelo H-60, marca Shimadzu, utilizando-se cerca de 22 mg do óleo de amêndoa e 16 mg do óleo da polpa em cadinho de alumina com as seguintes condições: atmosfera de ar sintético com fluxo de 110 mL.min<sup>-1</sup> e razão de aquecimento de 10 °C.min<sup>-1</sup> até 1.000 °C, a partir de análises não-isotérmicas. A temperatura inicial (T<sub>i</sub>) de perda de massa foi utilizada como parâmetro para determinação da estabilidade térmica.



### 3.3.12 Determinação do perfil de compostos voláteis

#### 3.3.12.1 Extração dos compostos voláteis por HS-SPME

Para extração dos compostos voláteis, 20 g de polpa de macaíba foi colocada em um frasco de vidro de 80 mL, fechado com tampa de rosca contendo um orifício central de 3 mm de raio. O sistema foi submetido a aquecimento de 45 °C em banho-maria por 10 minutos antes da exposição da fibra. Após esse período de aquecimento, a fibra de SPME (Polydimethylsiloxane Divinylbenzene/PDMS/DVB 60 µm, Supelco, Bellefonte, PA, EUA) foi exposta ao *headspace*, fase gasosa acima da amostra, por 50 minutos a 45 °C. Em seguida, a fibra foi retraída para dentro da agulha e transferida para o injetor do cromatógrafo a gás, onde os analitos foram desorvidos por 5 minutos. Preliminarmente às extrações, a fibra extratora foi condicionada no injetor do cromatógrafo a gás na temperatura de 250 °C por 30 min.

#### 3.3.12.2 Cromatografia Gasosa acoplada a Espectrometria de Massa

Para separação e identificação dos compostos extraídos da polpa da macaíba foi utilizado um cromatógrafo a gás Varian Saturn 2000R 3800 acoplado a um detector de massas Varian Saturn 2000R 2000 e uma coluna DB5 (60 m x 0,25 mm x 0,25 µm). A programação da temperatura do forno do cromatógrafo gasoso foi iniciada a 35 °C por 5 min, seguida de rampa de 3 °C/min até atingir 170 °C e nova rampa de 10 °C/min até atingir 220 °C mantendo-se nesta temperatura por 10 minutos. A temperatura do injetor foi mantida a 250 °C. O hélio foi utilizado como gás de arraste a uma vazão constante de 1.0 mL/min. O espectrômetro de massa foi operado por impacto de elétrons com uma temperatura da fonte de 200 °C, e com energia de ionização de 70 V, variação de scan de m/z 29 a m/z 400 a 3.33 scans/s. A identificação dos compostos voláteis foi baseada na comparação de seus espectros de massa com espectros de compostos previamente analisados, com espectros de NIST/EPA/NIH Mass Spectral Database (Version 1.7), ou espectros publicados em periódicos da área. Para a confirmação da identidade de cada componente foi calculado o índice de retenção linear (LRI), utilizando-se o tempo de retenção de uma série homologa de *n*-alcanos C<sub>7</sub> – C<sub>30</sub>, e também por comparação do LRI de compostos autênticos analisados em condições similares.

#### 4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHMAD-QASEM, M. H.; CÁNOVAS, J.; BARRAJÓN-CATALÁN, E.; CARRERES, J. E.; MICOL, V.; GARCÍA-PÉREZ, J. V. Influence of olive leaf processing on the bioaccessibility of bioactive polyphenols. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 62, p. 6190–6198, 2014.

AMITAVA D.; KIMBERLY K. Chapter 15 – **Antioxidant vitamins and minerals. Antioxidants in Food, Vitamins and Supplements**, 2014, p. 277–294.

AOAC. Association of Official Analytical Chemists. **Official Methods of Analysis**. Washington D.C.: AOAC, 1018 p, 2000.

ATABANI, A. E.; SILITONGA, A. S.; BADRUDDIN, I. M.; MAHLIA, T. M. I.; MASJUKI MEKHILEF, S. A comprehensive review on biodiesel as an alternative energy resource and its characteristics. **Renewable & Sustainable Energy Reviews**, v. 16, p. 2070–2093, 2012.

AZMIR, J.; ZAIDUL, I. S. M.; RAHMAN, M. M.; SHARIF, K. M.; MOHAMED, A.; SAHENA, F., et al. Techniques for extraction of bioactive compounds from plant materials: A Review. **Journal of Food Engineering**, v. 117, p. 426–436, 2013.

BAE, H. et al. Variation of antioxidant activity and the levels of bioactive compounds in lipophilic and hydrophilic extracts from hot pepper (*Capsicum* spp.) cultivars. **Food chemistry**, v. 134, n. 4, p. 1912–8, 15 out. 2012.

BARROS, H. D. F. Q. et al. Simultaneous extraction of edible oil from avocado and capsanthin from red bell pepper using supercritical carbon dioxide as solvent. **The Journal of Supercritical Fluids**, v. 107, p. 315–320, jan. 2016.

BERGMANN, J. C.; TUPINAMBA, D. D.; COSTA, O. Y. A.; ALMEIDA, J. R. M. Biodiesel production in Brazil and alternative biomass feedstocks. **Renewable & Sustainable Energy Reviews**, v. 21, p. 411–420, 2013.

BERTON, L.H.C. Avaliação de populações naturais, estimativas de parâmetros genéticos e seleção de genótipos elite de macaúba (*Acrocomia aculeata*). **Tese**. Instituto Agrônomo: Campinas, 2013. 154 fls.

BICAS, J. L. et al. Volatile constituents of exotic fruits from Brazil. **Food Research International**, v. 44, n. 7, p. 1843–1855, ago. 2011.

BITTENCOURT, M. L. F. et al. Metabolite profiling, antioxidant and antibacterial activities of Brazilian propolis: Use of correlation and multivariate analyses to identify potential bioactive compounds. **Food Research International**, v. 76, p. 449–457, out. 2015.

BOAVENTURA, B. C. B. et al. Antioxidant potential of mate tea (*Ilex paraguariensis*) in type 2 diabetic mellitus and pre-diabetic individuals. **Journal of Functional Foods**, v. 5, n. 3, p. 1057–1064, jul. 2013.

BOJKO, B. et al. SPME--quo vadis? **Analytica chimica acta**, v. 750, p. 132–51, 31 out. 2012.

BORA, P.S.; ROCHA, R.V.M. Macaiba Palm: Fatty and amino acids composition of fruits. **Cienc.Tecnol. Aliment.**, v. 4, n. 3, p. 158-162, 2004.

BRADFORD, M. M. A rapid and sensitive method for the quantification of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein–dye binding. **Analytical Biochemistry**, v. 72, p. 248–254, 1976.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Mata Atlântica. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/biomas/mata-atlantica>. Acesso em 16 de janeiro de 2016.

BRUINSMA, J. The quantitative analysis of chlorophylls A and B in plant extracts. **Photochemistry and Photobiology**, Elmsford, v.2, p.241-249, 1963.

BUGAUD, C.; ALTER, P. Volatile and non-volatile compounds as odour and aroma predictors in dessert banana (*Musa* spp.). **Postharvest Biology and Technology**, v. 112, p. 14–23, fev. 2016.

CAGLIERO, C. et al. Fast headspace-enantioselective GC–mass spectrometric-multivariate statistical method for routine authentication of flavoured fruit foods. **Food Chemistry**, v. 132, n. 2, p. 1071–1079, maio 2012.

CAI, L. et al. Change regularity of the characteristics of Maillard reaction products derived from xylose and Chinese shrimp waste hydrolysates. **LWT - Food Science and Technology**, v. 65, p. 908–916, jan. 2016.

CANNIZZO, E. S.; CLEMENTA, C. C.; SAHUA, R.; FOLLO, C.; SANTAMBROGIO, L. Oxidative stress, inflamm-aging and immunosenescence. **Journal of Proteomics**, v. 7, p. 2313–2323, 2011.

CARDOSO, C. et al. Bioaccessibility assessment methodologies and their consequences for the risk–benefit evaluation of food. **Trends in Food Science & Technology**, v. 41, n. 1, p. 5–23, jan. 2015.

CAZZONELLI, C. I.; POGSON, B. J. Source to sink: Regulation of carotenoid biosynthesis in plants. **Trends in Plant Science**, v. 15, n. 5, p. 266–274, 2010.

CEREZO, J.; ZUNIGA, J.; BASTIDA, A.; REQUENA, A.; CERON-CARRASCO, J., ERIKSSON, L. Antioxidant properties of beta-carotene isomers and their role in photosystems: Insights from ab initio simulations. **Journal of Physical Chemistry a**, v. 116, n. 13, p. 3498–3506, 2012.

CERQUEIRA, F.M.; MEDEIROS, M.H.G.; AUGUSTO, O. Dietetic antioxidantes: controversies and perspectives. **Química Nova**, v. 30, p. 441-449, 2007.

CHEYNIER, V. Polyphenols in foods are more complex than often thought. **American Journal of Clinical Nutrition**, v. 81, p. 223S-229S, 2005.

CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutas e hortaliças: fisiologia e manuseio**. Lavras: UFLA, 2005. 785 p.

CICATELLI, A. et al. Oil composition and genetic biodiversity of ancient and new olive (*Olea europea* L.) varieties and accessions of southern Italy. **Plant science : an international journal of experimental plant biology**, v. 210, p. 82–92, set. 2013.

CORREIA, M. T. S.; COELHO, L. C. B. B. Purification of a glucose/mannose specific lectin, isoform 1, from seeds of *Cratylia mollis* mart. (Camaratu Bean). **Applied Biochemistry and Biotechnology**, v. 55, p. 261–273, 1995.

CUEVAS, F. J. et al. Effect of management (organic vs conventional) on volatile profiles of six plum cultivars (*Prunus salicina* Lindl.). A chemometric approach for varietal classification and determination of potential markers. **Food Chemistry**, v. 199, p. 479–484, maio 2016.

D'ARCHIVIO, M.; FILESI, C.; DI BENEDETTO, R.; GARGIULO, R.; GIOVANNINI, C.; MASELLA, R. Polyphenols, dietary sources and bioavailability. **Ann. Ist. Super. Sanita.**, v. 43, p. 348-361, 2007.

DENARDIN, C. C. et al. Antioxidant capacity and bioactive compounds of four Brazilian native fruits. **Journal of Food and Drug Analysis**, v. 23, n. 3, p. 387–398, mar. 2015.

DIAS, M. I.; BARROS, L.; DUEÑAS, M.; ALVES, R. C.; OLIVEIRA, M. B. P. P.; SANTOS-BUELGA, C.; FERREIRA, I. C. F. R. Nutritional and antioxidant contributions of *Laurus nobilis* L. leaves: Would be more suitable a wild or a cultivated sample? **Food Chemistry**, v. 156, p. 339–346, 2014.

DOMICIANO, G. P. et al. Parâmetros genéticos e diversidade em progênies de Macaúba com base em características morfológicas e fisiológicas. **Ciência Rural**, v. 45, n. 9, p. 1599–1605, set. 2015.

DRANSFIELD, J.; UHL, N. W.; ASMUSSEN, C. B.; BAKER, W.J.; HARLEY, M. M.; LEWIS, C. E. **Genera palmarum—the evolution and classification of palms**. Kew Publishing, Royal Botanic Gardens, Richmond, 2008.

EL HADI, M. A. M.; ZHANG, F-J.; WU, F-F.; ZHOU, C-H.; TAO, J. Review Advances in Fruit Aroma Volatile Research. **Molecules**, v. 18, p. 8200-8229, 2013.

ENGEL, V. L.; POGGIANI, F. Estudo da concentração de clorofila nas folhas e seu espectro de absorção de luz em função sombreamento em mudas de quatro espécies florestais. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**. Londrina, v.3, n.1, p.39-45, 1991.

EVARISTO, A. B. et al. Actual and putative potentials of macauba palm as feedstock for solid biofuel production from residues. **Biomass and Bioenergy**, v. 85, p. 18–24, fev. 2016.

FERNANDEZ-OROZCO, R.; GALLARDO-GUERRERO, L.; HORNERO-MÉNDEZ, D. Carotenoid profiling in tubers of different potato (*Solanum* sp.) cultivars: Accumulation of carotenoids mediated by xanthophyll esterification. **Food Chemistry**, v. 141, p. 2864–2872, 2013.

FILHO, M. M. R.; RAMOS, M. I. L.; HIANE, P. A.; SOUZA, E. M. T. D. Nutritional value of seven freshwater fish species from the Brazilian pantanal. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 87, p. 1461–1467, 2010.

FINNEGAN, E.; O'BEIRNE, D. Characterising and tracking deterioration patterns of fresh-cut fruit using principal component analysis – Part I. **Postharvest Biology and Technology**, v. 100, p. 73–80, fev. 2015.

FOLCH, J.; LESS, M.; STANLEY, S.A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. **Journal of Biological Chemistry**, v. 226, p. 497-509, 1957.

FORBES-HERNÁNDEZ, T. Y. et al. The effects of bioactive compounds from plant foods on mitochondrial function: a focus on apoptotic mechanisms. **Food and chemical toxicology : an international journal published for the British Industrial Biological Research Association**, v. 68, p. 154–82, jun. 2014.

FRANCIS, F. J. Analysis of anthocyanins. In: MARKAKIS, P. (ed.). **Anthocyanins as Food Colors**. New York: Academic Press, p.181-207, 1982.

FUENTES DE MENDOZA, M. et al. Chemical composition of virgin olive oils according to the ripening in olives. **Food chemistry**, v. 141, n. 3, p. 2575–81, 1 dez. 2013.

GALANAKIS, C. M. Recovery of high added-value components from food wastes: Conventional, emerging technologies and commercialized applications. **Trends in Food Science & Technology**, v. 26, p. 68–87, 2012.

GARCÍA-ALONSO, J. et al. Acute intake of phenolic-rich juice improves antioxidant status in healthy subjects. **Nutrition Research**, v. 26, n. 7, p. 330–339, jul. 2006.

GAWLIK-DZIKI, U. Changes in the antioxidant activities of vegetables as a consequence of interactions between active compounds. **Journal of Functional Foods**, v. 4, p. 872–882, 2012.

GENEVOIS, C.; FLORES, S.; DE ESCALADA PLA, M. Effect of iron and ascorbic acid addition on dry infusion process and final color of pumpkin tissue. **LWT - Food Science and Technology**, v. 58, n. 2, p. 563–570, out. 2014.

GIOVANNINI, C.; MASELLA, R. Role of polyphenols in cell death control. **Nutritional Neuroscience**, v. 15, p. 134–149, 2012.

GÓMEZ-CORTÉS, P.; SACKS, G. L.; BRENNAN, J. T. Quantitative analysis of volatiles in edible oils following accelerated oxidation using broad spectrum isotope standards. **Food Chemistry**, v. 174, p. 310–318, 2015.

GRIS, E. F. et al. Phenolic profile and effect of regular consumption of Brazilian red wines on in vivo antioxidant activity. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 31, n. 1, p. 31–40, ago. 2013.

HARTMAN, L.; LAGO, R.C.A. Rapid preparation of fatty acids methyl esters. **Laboratory Practice**, v. 22, p. 475-476, 1973.

HASNAOUI, N.; WATHELET, B.; JIMÉNEZ-ARAUJO, A. Valorization of pomegranate peel from 12 cultivars: dietary fibre composition, antioxidant capacity and functional properties. **Food chemistry**, v. 160, p. 196–203, 1 out. 2014.

HEINIÖ, R.-L. Sensory attributes of bakery products. In W. ZHOU, Y. H. HUI, I. DE LEYN, M. A. PAGANI, C. M. ROSELL, J. D. SELMAN, et al. (Eds.), **Bakery products science and technology** (p. 391-407). West Sussex, UK: John Wiley & Sons, 2014.

HIGBY, W.K. A simplified method for determination of some the carotenoid distribution in natural and carotene-fortified orange juice. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 27, p. 42-49, 1962.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas analíticas, métodos químicos e físicos para análise de alimentos**. 4ª Edição. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz. 1020p. 2008.

JANSSEN, C. I. F.; KILIAAN, A. J. Long-chain polyunsaturated fatty acids (LCPUFA) from genesis to senescence: the influence of LCPUFA on neural development, aging, and neurodegeneration, **Prog. Lipid Res.**, v. 53, p. 1–17, 2014.

JELEŃ, H. H.; MAJCHER, M.; DZIADAS, M. Microextraction techniques in the analysis of food flavor compounds: A review. **Analytica chimica acta**, v. 738, p. 13–26, 13 ago. 2012.

JEONG, Y.J.; HONG, S.W.; KIM, J.H.; JIN, D. H; KANG, J.S.; LEE, W.J.; HWANG, Y. I. Vitamin C-treated murine bone marrow-derived dendritic cells preferentially drive naïve T cells into Th1 cells by increased IL-12 secretions. **Cell Immunol.**, v. 266, p. 192–199, 2011.

KARAK, N. **Vegetable oils and their derivatives**. In: Vegetable Oil- Based Polymers. Woodhead Publishing Limited, 2012, p. 54–95.

KE, Z. L.; PAN, Y.; XU, X. D.; NIE, C.; ZHOU, Z. Q. Citrus flavonoids and human cancers. **Journal of Food and Nutrition Research**, v. 3, n. 5, p. 341–351, 2015.

KIMMEL, T. M. et al. Pollination and seed dispersal modes of woody species of 12-year-old secondary forest in the Atlantic Forest region of Pernambuco, NE Brazil. **Flora - Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants**, v. 205, n. 8, p. 540–547, jan. 2010.

LAEMMLI, U. K. Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of bacteriophage T4. **Nature**, v. 227, p. 680–685, 1970.

LARRAURI, J.A.; RUPÉREZ, P.; SAURA-CALIXTO, F. Effect of drying temperature on the stability of polyphenols and antioxidant activity of red grape pomace peels. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.45, p.1390-1393. 1997.

LEITMAN, P.; SOARES, K.; HENDERSON, A.; NOBLICK, L.; MARTINS, R.C. Arecaceae in Lista de Espécies da Flora do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB43452>>. Acesso em: 11 Nov. 2015

LEVINE, M.; PADAYATTY, S. J.; ESPEY, M. G. Vitamin C: A concentration-function approach yields pharmacology and therapeutic discoveries. **Advances in Nutrition**, v. 2, p. 78-88, 2011.

LIRA, G. M.; SILVA, K. W. B.; FIGUEIRÊDO, B. C.; BRAGAGNOLO, N. Impact of smoking on the lipid fraction and nutritional value of seabob shrimp (*Xiphopenaeus kroyeri*, Heller, 1862). **LWT - Food Science and Technology**, v. 58, p. 183–187, 2014.

LOPES, D. DE C. et al. Economic feasibility of biodiesel production from Macauba in Brazil. **Energy Economics**, v. 40, p. 819–824, nov. 2013.

LORENZI, H.; SOUZA, H.M.; MEDEIROS-COSTA, J.T.; CERQUEIRA, L.S.C.; FERREIRA, E. **Palmeiras Brasileiras e Exóticas Cultivadas**. Instituto Plantarum de Estudos da Flora. Nova Odessa. 2004, 416p.

LORENZI, G.M.A.C. *Acrocomia aculeata* (jacq.) Lodd. ex Mart. - **Arecaceae**: bases para o Extrativismo Sustentável. 2006. Tese (Doutorado em Agronomia)- Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006

LORENZI, H.; NOBLICK, L.R.; KAHN, F.; FERREIRA, E. **Flora brasileira: Arecaceae (Palmeiras)**. Instituto Plantarum, Nova Odessa, 2010, 382p.

LUZIA, D. M. M.; JORGE, N. Bioactive substance contents and antioxidant capacity of the lipid fraction of *Annona crassiflora* Mart. seeds. **Industrial Crops and Products**, v. 42, p. 231–235, mar. 2013.

LYTE, J. M. et al. Volatile compound characterization of modified atmosphere packaged ground beef held under temperature abuse. **Food Control**, v. 59, p. 1–6, jan. 2016.

MACHADO, W. et al. Evaluation of two fruit ecotypes (total and sclerocarpa) of macaúba (*Acrocomia aculeata*). **Industrial Crops and Products**, v. 63, p. 287–293, jan. 2015.

MAMEDE, A.N.; TAVARES, S. D.; ABRANTES, A. M.; TRINDADE, J.; MAIA, J.M.; BOTELHO, M. F. The role of vitamins in cancer: a review. **Nutrition and Cancer**, v. 63, n. 4, 479–94, 2011.

MAQSOOD, S.; BENJAKUL, S.; SHAHIDI, F. Emerging role of phenolic compounds as natural food additives in fish and fish products. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 53, n. 2, p.162–179, 2013.

MASTELLO, R. B.; JANZANTTI, N. S.; MONTEIRO, M. Volatile and odoriferous compounds changes during frozen concentrated orange juice processing. **Food Research International**, v. 77, p. 591–598, nov. 2015.

MATTIETTO, R.A.; LOPES, A.S.; MENEZES, H.C. Caracterização física e físico-química dos frutos da cajazeira (*Spondias mombin* L.) e de suas polpas obtidas por dois tipos de extrator. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 13, n. 3, p. 156-164, 2010.

MEDEIROS, M. J. et al. Overcoming seed dormancy using gibberellic acid and the performance of young *Syagrus coronata* plants under severe drought stress and recovery. **Plant physiology and biochemistry : PPB / Société française de physiologie végétale**, v. 97, p. 278–86, dez. 2015.

MENEZES, A. G. T. et al. Investigation of chocolate produced from four different Brazilian varieties of cocoa (*Theobroma cacao* L.) inoculated with *Saccharomyces cerevisiae*. **Food Research International**, v. 81, p. 83–90, mar. 2016.

MEYERS, K. J.; MARES, J. A.; IGO, R. P.; TRUITT, B.; LIU, Z.; MILLEN, A. E., et al. Genetic evidence for role of carotenoids in age-related macular degeneration in the carotenoids in age-related eye disease study (CAREDS). **Investigative Ophthalmology & Visual Science**, v. 55, n. 1, p. 587–599, 2014.

MILENKOVIC, D.; DEVAL, C.; DUBRAY, C.; MAZUR, A.; MORAND, C. Hesperidin displays Relevant Role in the Nutrigenomic Effect of orange Juice on Blood Leukocytes in Human Volunteers: A Randomized Controlled Cross-Over Study. *PLoS One*, v. 6, p. 26669, 2011.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). **Relatório Parametrizado - Unidade de Conservação.** Disponível em: <http://sistemas.mma.gov.br/cnuc/index.php?ido=relatorioparametrizado.exibeRelatorio&relatorioPadrao=true&idUc=901>. Acesso em 09 de fevereiro de 2016.

MINOLTA, K. **Precise color communication:** color control from perception to instrumentation, Osaka, Japan, 1998, 59p.

MORETTI, C. L. et al. Climate changes and potential impacts on postharvest quality of fruit and vegetable crops: A review. **Food Research International**, v. 43, n. 7, p. 1824–1832, ago. 2010.

MORO, M. F.; WESTERKAMP, C.; DE ARAÚJO, F. S. How much importance is given to native plants in cities' treescape? A case study in Fortaleza, Brazil. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 13, n. 2, p. 365–374, 2014.

NAGENDRA PRASAD, K. et al. Identification of phenolic compounds and appraisal of antioxidant and antityrosinase activities from litchi (*Litchi sinensis* Sonn.) seeds. **Food Chemistry**, v. 116, p. 1-7, 2009.

NAVARRO-DÍAZ, H. J. et al. Macauba oil as an alternative feedstock for biodiesel: Characterization and ester conversion by the supercritical method. **The Journal of Supercritical Fluids**, v. 93, p. 130–137, set. 2014.

NIRANJANA, R. et al. Carotenoids modulate the hallmarks of cancer cells. **Journal of Functional Foods**, v. 18, p. 968–985, out. 2015.

NISAR, N.; LI, L.; LU, S.; KHIN, N. C.; POGSON, B. J. Carotenoid metabolism in plants. **Molecula Plant**, v. 8, p. 68–82, 2015.



NUNES, A. A.; FAVARO, S. P.; GALVANI, F.; MIRANDA, C. H. B. Good practices of harvest and processing provide high quality Macauba pulp oil. **European Journal of Lipid Science and Technology**, v.117, n. 12, p. 2036–2043, 2105.

OBANDA, M.; OWUOR, P. O. Flavonol composition and caffeine content of green leaf as quality potential indicators of kenyan black teas. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 74, n. 2, p. 209–215, 1997.

PARISI, O. I.; PUOCI, F.; RESTUCCIA, D.; FARINA, G.; IEMMA, F.; PICCI, N. **Polyphenols and their formulations: different strategies to overcome the drawbacks associated with their poor stability and bioavailability** (Chapter 4). In R. R. Watson, V. R. Preedy, & S. Zibadi (Eds.), *Polyphenols in human health and disease* (p. 29-45). San Diego: Academic Press, 2014.

PASSO TSAMO, C. V. et al. Phenolic profiling in the pulp and peel of nine plantain cultivars (Musa sp.). **Food chemistry**, v. 167, p. 197–204, 15 jan. 2015.

PIERSON, J. T.; DIETZGEN, R. G.; SHAW, P. N.; ROBERTS-THOMSON, S. J.; MONTEITH, G. R.; GIDLEY, M. J. Major Australian tropical fruits biodiversity: Bioactive compounds and their bioactivities. **Molecular Nutrition Food Research**, 56, p. 357–387, 2012.

PISOSCHI, A. M. et al. Electrochemical methods for ascorbic acid determination. **Electrochimica Acta**, v. 121, p. 443–460, mar. 2014.

PRIOR, R. L.; WU, X. Diet antioxidant capacity: Relationships to oxidative stress and health. **American Journal of Biomedical Sciences**, v. 5, p. 126–139, 2013.

RAJENDRAN, P.; NANDAKUMAR, N.; RENGARAJAN, T.; PALANISWAMI, R.; GNANADHAS, E. N.; LAKSHMINARASIAH, U. et al. Antioxidants and human diseases. **Clinica Chimica Acta**, v. 436, p. 332–347, 2014.

RASTMANESH, R. High polyphenol, low probiotic diet for weight loss because of intestinal microbiota interaction. **Chem. Biol. Interact.**, v. 189, p. 1–8, 2011.

REBOREDO-RODRÍGUEZ, P. et al. Characterisation of extra virgin olive oils from Galician autochthonous varieties and their co-crushings with Arbequina and Picual cv. **Food chemistry**, v. 176, p. 493–503, 1 jun. 2015.

REZZADORI, K. et al. Effect of dense CO<sub>2</sub> on polymeric reverse osmosis and nanofiltration membranes and permeation of mixtures of macauba oil (*Acrocomia aculeata*) and CO<sub>2</sub>. **Journal of Membrane Science**, v. 481, p. 195–206, maio 2015.

RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. Status of carotenoid analytical methods and in vitro assays for the assessment of food quality and health effects. **Current Opinion in Food Science**, v. 1, p. 56–63, 2015.

RODRÍGUEZ-ROQUE, M. J.; ROJAS-GRAÜ, M. A.; ELEZ-MARTÍNEZ, P.; MARTÍN-BELLOSO, O. In vitro bioaccessibility of health-related compounds as affected by the

formulation of fruit juice- and milk-based beverages. **Food Research International**, v. 62, p. 771–778, 2014.

RUFINO, M. S. M.; ALVES, R.E.; BRITO, E.S.; MORAIS, S.M.; SAMPAIO, C.G.; PÉREZ-JIMÉNEZ, J.; SAURA-CALIXTO, F.D. **Determinação da atividade antioxidante total em frutas pela captura do radical livre DPPH**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2007a. (Embrapa Agroindústria Tropical. Comunicado Técnico, 127)

RUFINO, M. S. M.; ALVES, R.E.; BRITO, E.S.; MORAIS, S.M.; SAMPAIO, C.G.; PÉREZ-JIMÉNEZ, J.; SAURA-CALIXTO, F.D. **Determinação da atividade antioxidante total em frutas pela captura do radical livre ABTS<sup>+</sup>**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2007b. (Embrapa Agroindústria Tropical. Comunicado Técnico, 128).

SAINI, R. K.; NILE, S. H.; PARK, S. W. Carotenoids from Fruits and Vegetables: Chemistry, Analysis, Occurrence, Bioavailability and Biological Activities. **Food Research International**, v. 76, p. 735–750, ago. 2015.

ŠAMEC, D. et al. Assessment of the differences in the physical, chemical and phytochemical properties of four strawberry cultivars using principal component analysis. **Food chemistry**, v. 194, p. 828–34, 1 mar. 2016.

SANTOS, G. P. Metodologia de Superfície de Resposta Aplicada à Secagem de Frutos de Macaúba para Obtenção de Óleo de Polpa de Alta Qualidade. Universidade Católica Dom Bosco, **Dissertação de Mestrado**, 2014. 65fl.

SANTOS-SILVA, J.; BESSA, R. J. B.; SANTOS-SILVA, F. Effect of genotype, feeding system and slaughter weight on the quality of light lambs. II. Fatty acid composition of meat. **Livestock Production Science, Roma**, v. 77, n. 2/3, p. 187-194, 2002.

SAS (2010). INC, **SAS INSTITUTE**. SAS/STAT® 9.22 User's Guide.

SHAHIDI, F.; ZHONG, Y. Lipid oxidation and improving the oxidative stability. **Chemical Society Reviews**, v. 39, p. 4067-4079, 2010.

SHARONI, Y.; LINNEWIEL-HERMONI, K.; KHANIN, M.; SALMAN, H.; VEPRIK, A.; DANILENKO, M. et al. Carotenoids and apocarotenoids in cellular signaling related to cancer: A review. **Molecular Nutrition & Food Research**, v. 56, n. 2, p. 259–269, 2012.

SHEN, R.; YANG, S.; ZHAO, G.; SHEN, Q.; DIAO, X. Identification of carotenoids in foxtail millet (*Setaria italica*) and the effects of cooking methods on carotenoid content. **Journal of Cereal Science**, v. 61, p. 86–93, 2015.

SILVA, A. C.; JORGE, N. Bioactive compounds of the lipid fractions of agro-industrial waste. **Food Research International**, v. 66, p. 493–500, dez. 2014.

SILVA, G. C. R.; ANDRADE, M. H. C. Development and simulation of a new oil extraction process from fruit of macauba palm tree. **Journal of Food Process Engineering**, v. 36, n. 1, p. 134-145, 2013.

SILVA, L. M. R. DA et al. Quantification of bioactive compounds in pulps and by-products of tropical fruits from Brazil. **Food chemistry**, v. 143, p. 398–404, 15 jan. 2014.

SILVA, R. B. et al. A comparative study of nutritional composition and potential use of some underutilized tropical fruits of Arecaceae. **Anais da Academia Brasileira de Ciencias**, v. 87, n. 3, p. 1701–1709, set. 2015.

Sokal, R. R.; Michener, C. **D. A Statistical Method for Evaluating Systematic Relationships**. University of Kansas Science Bulletin, 38, 1409–1438, 1958.

SOUSA, T.; PATERSON, R.; MOORE, V.; CARLSSON, A.; ABRAHAMSSON, B.; BASIT, A.W. The gastrointestinal microbiota as a site for the biotransformation of drugs. **Int. J. Pharm.**, v. 363, p. 1–25, 2008.

SOUSA, A.; MALHEIRO, R.; CASAL, S.; BENTO, A.; PEREIRA, J. A. Antioxidant activity and phenolic composition of cv. Cobrançosa olives affected through the maturation process. **Journal of Functional Foods**, v.11, p. 20–29, 2014.

STROHECKER, R.; HENINING, H. M. **Análisis de vitaminas: métodos comprobados**, 42 p. 1967.

TARAHOVSKY, Y. S. et al. Flavonoid-membrane interactions: involvement of flavonoid-metal complexes in raft signaling. **Biochimica et biophysica acta**, v. 1838, n. 5, p. 1235–46, maio 2014.

TOALDO, I. M. et al. Effect of grape seeds on the polyphenol bioactive content and elemental composition by ICP-MS of grape juices from *Vitis labrusca* L. **LWT - Food Science and Technology**, v. 53, n. 1, p. 1–8, set. 2013.

TOALDO, I. M. et al. Bioactive potential of *Vitis labrusca* L. grape juices from the Southern Region of Brazil: Phenolic and elemental composition and effect on lipid peroxidation in healthy subjects. **Food chemistry**, v. 173, p. 527–35, 15 abr. 2015.

TORRES, A. M.; BARROS, G. G.; PALACIOS, S. A.; CHULZE, S. N.; BATTILANI, P. Review on pre- and post-harvest management of peanuts to minimize aflatoxin contamination. **Food Research International**, v. 62, p. 11-19, 2014.

TSURUNAGA, Y.; TAKAHASHI, T.; KATSUBE, T.; KUDO, A.; KURAMITSU, O.; ISHIWATA, M.; MATSUMOTO, S. Effects of UV-B irradiation on the levels of anthocyanins, rutin and radical scavenging activity of buckwheat sprouts. **Food Chemistry**, v. 141, p. 552-556, 2013.

ULBRICHT, T. L. V.; SOUTHGATE, D. A. T. Coronary heart disease: seven dietary factors. **Lancet**, London, v. 338, n. 8773, p. 985-992, 1991.

VALDIVIELSO, I. et al. Changes in the volatile composition and sensory properties of cheeses made with milk from commercial sheep flocks managed indoors, part-time grazing in valley, and extensive mountain grazing. **International Dairy Journal**, v. 53, p. 29–36, fev. 2016.

VAN DUYNHOVEN, J. P. et al. Microbes and Health Sackler Colloquium: Metabolic fate of polyphenols in the human superorganism. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 108, p. 4531–4538, 2010.

WANG, M.; JIANG, N.; JIA, T.; LEACH, L.; COCKRAM, J.; WAUGH, R.; RAMSAY, L.; THOMAS, B., LUO, Z. Genome-wide association mapping of agronomic and morphologic traits in highly structured populations of barley cultivars. **Theor. Appl. Genet.**, v. 124, p. 233–246, 2012.

WARDHANI, D. H.; FUCIÑOS, P.; VÁZQUEZ, J. A.; PANDIELLA, S. S. Inhibition kinetics of lipid oxidation of model foods by using antioxidant extract of fermented soybeans. **Food Chemistry**, v. 139, n. 1–4, 837-844, 2013.

WEBER, K.; OSBORN, M. The reliability of molecular weight determinations by dodecyl sulfate-polyacrylamide gel electrophoresis. **Journal Biological Chemistry**, v. 214, p. 4406-4412, 1969.

WIBOWO, S. et al. Colour and carotenoid changes of pasteurised orange juice during storage. **Food chemistry**, v. 171, p. 330–40, 15 mar. 2015a.

WIBOWO, S. et al. Study of chemical changes in pasteurised orange juice during shelf-life: A fingerprinting-kinetics evaluation of the volatile fraction. **Food Research International**, v. 75, p. 295–304, set. 2015b.

XAVIER-FILHO, J.; CAMPOS, F. A. P.; ARY, M. B.; SILVA, C. P.; CARVALHO, M. M. M.; MACEDO, M. L. R.; LEMOS, F. J. A.; GRANT, G. Poor Correlation between the levels of proteinase inhibitors found in seeds of different cultivars of cowpea (*Vigna unguiculata*) and the resistance susceptibility to predation by *Callosobruchus maculatus*. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 37, n. 4, p. 1.139-1.143, 1989.

YAHIA, E. M. **The Contribution of Fruit and Vegetable Consumption to Human Health**. In: ROSA, L.A.; ALVAREZ-PARRILLA, E.; GONZALEZ-AGUILERA; G.A. Fruit and vegetable phytochemicals: chemistry, nutritional value and stability. Hoboken: Wiley-Blackwell, 2010. p. 3-51.

YUAN, F.; QIAN, M. C. Development of C13-norisoprenoids, carotenoids and other volatile compounds in *Vitis vinifera* L. Cv. Pinot noir grapes. **Food chemistry**, v. 192, p. 633–41, 1 fev. 2016.

ZHANG, H.; XI, W.; YANG, Y.; ZHOU, X.; LIU, X.; YIN, S.; et al. An on-line HPLC-FRSD system for rapid evaluation of the total antioxidant capacity of Citrus fruits. **Food Chemistry**, v. 172, p. 622–629, 2015.

ZIELINSKI, A. A.; ÁVILA, S.; ITO, V.; NOGUEIRA, A.; WOSIACKI, G.; HAMINIUK, C. W. The association between chromaticity, phenolics, carotenoids, and in vitro antioxidant activity of frozen fruit pulp in Brazil: An application of chemometrics. **Journal of Food Science**, v. 79, n. 4, p. 510–516, 2014.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados estão apresentados como artigos científicos e serão submetidos de acordo com as normas de cada periódico.

Artigo 1: **Carotenoids in Brazilian Fruits and its Impact on the Oxidative Stress: A Review**. Submetido ao Journal of Food Science;

Artigo 2: **Quality, mineral profile, and electrophoresis of protein of macaíba (*Acrocomia intumescens* Drude) fruit**. Submetido ao Journal of Food Composition and Analysis

Artigo 3: **Perfil de ácidos graxos e estabilidade térmica dos óleos da polpa e amêndoa de macaibeira (*Acrocomia intumescens* Drude)**. Será submetido ao Industrial Crops and Products;

Artigo 4: **Compostos bioativos, atividade antioxidante e perfil de fenólicos de casca, polpa e amêndoa de macaíba (*Acrocomia intumescens* Drude)**. Será submetido ao Journal of Functional Foods

Artigo 5: **Caracterização dos compostos voláteis por HS-SPME-GC-MS em sete genótipos de *Acrocomia intumescens***. Será submetido ao Food Chemistry

## Carotenoids in Brazilian Fruits and its Impact on the Oxidative Stress: A Review

Cassiara Camelo Eloi de Souza<sup>a</sup>; Silvanda de Melo Silva<sup>b</sup>

### Author Affiliation(s)

<sup>a</sup>Campus Anísio Teixeira (CAT), Instituto Multidisciplinar em Saúde (IMS), Universidade Federal da Bahia-UFBA. Rua Rio de Contas, 58, Quadra 17, Lote 58, Bairro Candeias. CEP: 45.029-094, Vitória da Conquista-BA, Brazil, e-mail: cassiara@ufba.br

<sup>b</sup>Departamento de Ciências Fundamentais e Sociais do Centro de Ciências Agrárias - DCFS, Centro de Ciências Agrárias - CCA, Universidade Federal da Paraíba – UFPB.

### Contact information for Corresponding Author

#### Silvanda de Melo Silva

Departamento de Ciências Fundamentais e Sociais do Centro de Ciências Agrárias - DCFS, Centro de Ciências Agrárias - CCA, Universidade Federal da Paraíba - UFPB, Rod. BR 079, Km 12, CEP 8397-000, Areia, PB, Brazil, e-mail: silvasil@cca.ufpb.br

**Short version of title** [Under 40 characters, followed by ellipse ( . . . )]

Carotenoids in Brazilian fruits....

**Choice of journal/section** where article should appear

Choose from this list (for *Journal of Food Science*):

3. JFS: Concise Reviews and Hypotheses in Food Science

**Abstract:** Fruits and vegetables are the main sources of dietary bioactive compounds, in addition to having an excellent sensory profile and nutritional function. The interest in bioactive compounds of fruit has increased worldwide due to the knowledge of consumers about their health benefits. Among these compounds, those with antioxidant activity stand out for acting comprehensively in various degenerative disorders caused by oxidative stress. This review covers the chemical structures and biological activity of carotenoids and vitamin E present in Brazilian fruits, focusing on their effects in combating oxidative stress. It appears

that these fruits have a broad and differentiated phytochemical profile. However, they mostly present strong antioxidant activity and the number of underutilized plants is significant, with some being unexplored in Brazilian genetic diversity that appeal to them possibly being 'superfruits.' Studies show the richness of these species and the urgent need for agricultural, biochemical, and pharmacological research, as well as product development, exploitation of waste, and post-harvest conservation technologies, in addition to well-designed clinical trials to ensure safe use.

**Keywords:** phytochemicals, antioxidant potential,  $\beta$ -carotene, lycopene, vitamin E.

## Introduction

Brazil possesses the richest vegetation biome on the planet, with 55.000 species of higher plants, distributed across five major biomes: Atlantic Forest, Cerrado, Amazon, Pantanal and Pampa (Fiaschi and Pirani 2009). The large number of underutilized Brazilian native fruit species is of potential interest to the agricultural industry and a possible source of employment and income for the local population (Almeida and others 2011). In this context, there are several native fruit trees whose fruit have not been studied for their potential antioxidant properties, as well as other functional capabilities such as anti-proliferative activity (Malta and others 2013).

Living systems are tightly regulated to maintain Reactive Oxygen Species (ROS) at very low levels, so that their production and elimination are well-balanced resulting in a certain steady state level of these compounds. However, under certain conditions this balance can be disturbed leading to the development of oxidative stress (Lushchak 2014). Thus, the free radicals that are not reduced or removed from the cells can cause damage to all macromolecules, including nucleic acids, lipids, and proteins (Rochette and others 2014), thereby causing diseases such as arthritis, cancer, diabetes, atherosclerosis, ischemia, and failure in endocrine and immune functions (Rajendran and others 2014).

Epidemiological studies have consistently shown that there is a positive association between regular consumption of fruits, nuts, and vegetables with reducing the incidence of chronic diseases. Diets rich in phytochemicals such as carotenoids and their derivatives have been associated with a reduced risk of cardiovascular and neurodegenerative diseases, inflammation, cataracts, macular degeneration and many types of cancer (Bueno and others 2012; Tanaka and others 2012). These effects are not only due to their bioavailability, but

among other things, a series of molecular interactions involved in the biological processes, as well as the chemical and food matrix structure of bioactive compounds.

In this sense, once the fruits are eaten together, the total antioxidant activity can be modified by a synergistic, additive, or antagonistic manner between these components, which can alter their physiological impacts (Wang and others 2011). In this context, this review is focused on carotenoid and vitamin E in plants, their structure and implication on health benefits, highlighting the antioxidant activity of Brazilian tropical fruits, mainly the native ones.

### **Oxidative stress**

Oxidative stress involves an imbalance between the pro-oxidant and antioxidant processes and the defense system, favoring the latter (Yao and Keshavan 2011). The vast majority of studies associate the term to harmful oxidative processes and their consequences. However, many oxidant changes in cells and tissues are not harmful; rather they lead to appropriate signals for adjusting and maintaining optimal biochemical functions and may be associated with good health (Ristow and others 2009).

The term ROS comprises radical and non-radical substances ( $H_2O_2$ ) containing one or more reactive oxygen atoms. Free radicals are all the chemical species that exist independently and contain unpaired electrons. Both ROS and free radicals promote oxidative stress through oxidation of cellular compounds (Demidchik 2015). At physiological levels, these intermediaries are involved in many metabolic processes, including: cell signaling, energy production, gene transcription and immune defense, among others (Seifried and others 2007). However, a decline in antioxidant defense mechanisms or exposure to environmental factors (smoking, pollution, ultraviolet radiation, high fat diet) and pathological conditions (chronic infection, inflammation) can lead to increased production of ROS/RNS, resulting in oxidative stress (Valko and others 2007).

Sarsour and others (2014) proposed the term "eustress," which is beneficial stress to oxidative events that regulate normal physiological functions, while "oxidative stress" should be reserved for environments where there are deleterious consequences from an oxidative burst. However, the term oxidative stress is very broad and it has been updated to more specific forms, as proposed by Sies (2015) in Table 1.



The reactive species and free radicals have some important characteristics, such as: (i) low stability and high reactivity resulting in lower steady state concentrations; (ii) high diversity of reactions that can participate; (iii) complicated spatiotemporal distribution in the intra and extracellular spaces; (iv) dependence on the physiological status of the organism; and (v) a lack of technical tools for reliable evaluation of their levels (Lushchak 2014).

Mitochondria are the main energy producer of the cell, and therefore are essential for normal cellular functions, including metabolic activity and intracellular signal transduction of several cellular pathways. The predominant physiological function of mitochondria is to generate adenosine triphosphate (ATP) by oxidative phosphorylation. However, additional functions include the generation and detoxification of reactive oxygen species, among others (Camara and others 2010). A variety of mechanisms regulated by mitochondria are strongly implicated in controlling the redox potential of the cell, which is critically important for normal physiological processes, and their deregulation is associated with the initiation and proliferation of various diseases (Mallikarjun and others 2012).

Overproduction of ROS can directly attack the polyunsaturated fatty acids of cell membranes and induce lipid peroxidation (Omotayo and others 2015). In turn, lipid peroxidation is known to be a major factor in the pathology of many diseases associated with oxidative stress, including neurodegenerative disorders (Gueraud and others 2010; Higdon and others 2012) causing polymerization of membrane components, their cross-linking and/or fragmentation. This damage leads to changes in cell membrane fluidity and deformability (Park and others 2010), which is characterized as a complex process that takes place in three stages: initiation, propagation, and termination. The membrane lipids, especially phospholipids containing polyunsaturated fatty acids are more susceptible to peroxidation due to the removal of one hydrogen atom from the methylene group ( $\text{CH}_2$ ), which forms a  $\text{CH}$  radical that remains unpaired. The occurrence of a double bond in the fatty acid weakens the C-H bonds on the carbon next to the double bond and thus facilitates the removal of hydrogen. The initial reaction of hydroxyl radicals with polyunsaturated fatty acids produces a lipid radical, which, in turn, reacts with molecular oxygen to form the peroxy radical. This can remove a hydrogen adjacent fatty acid to produce a hydroperoxide and a second lipid radical (Catalá 2006). The chain reaction is terminated after consumption of the substrate in that the radical species react to form stable species (Chisté and others 2014).

The formation of oxidatively modified phospholipid occurs *in vivo* via three mechanisms: (i) direct enzymatic oxidation using lipoxygenase phospholipid; (ii) the enzymatic oxidation of a free fatty acid by lipoxygenase and cytochrome P450 enzymes with subsequent esterification and into lysophospholipids; (iii) non-enzymatic oxidation of phospholipid by reactive oxygen species (Davies and Guo 2014).

Numerous lipid peroxidation products are chemically reactive and react with biological molecules, including proteins, peptides, and DNA. Notably, the unsaturated compounds  $\alpha$ ,  $\beta$  carbonyl are strong electrolytes, and thus can easily react with nucleophilic side chains of proteins, resulting in changing the structure, function and cellular protein distribution (Gueraud and others 2010; Poli and others 2008). Peroxidation products can exert various biological effects, either directly by reaction with enzymes, proteins and DNA, or indirectly mediated by receptors (Higdon and others 2012). Changes in cellular structures can cause the development and progression of many pathological processes, as shown in Table 2.

Humans have evolved highly complex antioxidant systems of both an enzymatic and non-enzymatic nature (Table 3) that work synergistically to protect the cells and the systems of the organism against free radical damage (Choudhari and others 2014).

Among the main enzymes related to antioxidant defense of the organism, superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT), and glutathione peroxidase (GPx) are highlighted, which are the primary endogenous defense for neutralizing reactive oxygen species (ROS). Through them, the cells try to keep a low quantity of superoxide radical and hydrogen peroxide, thereby avoiding the formation of hydroxyl radical (Canniatti-Brazaca and Couto 2010). In turn, the non-enzymatic antioxidant system relates to a group of antioxidants that can be assembled into compounds produced *in vivo*, such as glutathione, ubiquinone, and uric acid, and also compounds obtained directly from the diet such as  $\alpha$ -tocopherol (vitamin-E), ascorbic acid (vitamin-C), carotenoids, and phenolic compounds, which are well provided by fruits and vegetables.

There are two major classes of antioxidants with respect to their mechanism of action: primary antioxidants and secondary antioxidants or prevention. Primary antioxidants interrupt the oxidative cascade of free radicals by donating electrons or hydrogen atoms of hydroxyl groups bonded to the phenolic structure and hence stabilize the free radicals of the lipids. As a result, they inhibit or delay the initiation phase and disturb the propagation

phase of self-oxidation. Secondary antioxidants deactivate singlet oxygen, chelate metal ions (iron, copper), absorb ultraviolet radiation, scavenge oxygen and help to regenerate the primary antioxidant. For better effectiveness, primary antioxidants are often used in combination with secondary antioxidants (Namal Senanayake 2013).

Currently, WHO has been encouraging the consumption of fresh fruits and vegetables because they are considered rich sources of fiber, essential micronutrients and phytochemicals with important benefits for human health (Haminiuk and others 2012; Renna and others 2013). In particular, fruits contain a range of minor constituents such as minerals, vitamins, proteins, organic acids, carotenoids, enzymes, and phenolic compounds, and are a class of phytochemical that are generically denominated as bioactive compounds (Fu and others 2011; Haminiuk and others 2012). Thus, these bioactive compounds strongly influence the quality of fruits and vegetables (Buendia and others 2010). However, several studies have shown that biotic and abiotic factors play an important role in the levels of phytochemicals and antioxidant activity in fruits (Zhang and others 2008), such as farming, crop management, climatic factors, stage of maturity, harvest time, storage conditions and post-harvest handling (Castrejón and others 2008).

Knowing that diets rich in phytochemicals have been associated with a reduced risk of cardiovascular disease, cataracts, inflammation, certain types of cancer and neurodegenerative diseases, knowledge of these compounds, their natural sources, chemical structure, mechanism of action and activity in biological systems is essential. Among the magnitude of the existing bioactive phytochemicals, carotenoids and vitamin E derived from plant species are important representatives.

### **Carotenoids**

Carotenoids are a class of over 600 naturally occurring compounds, such as pigments synthesized by plants, algae, yeasts, fungi and photosynthetic bacteria through the terpenoid pathway. Therefore, carotenoids and tocopherols are isoprenoids, originating in a common precursor, isopentenyl diphosphate. Both functions are in the photosynthesis process. Carotenoids are important as pigments and dispersants, and by attracting pollinators are also precursors to a wide range of so called apocarotenoid molecules, including hormones such as abscisic acid and gibberellins, or volatile compounds such as ionones and damascenone (Bernal and others 2011; Carvalho and others 2013). They are

prominent for their distribution, as well as their structural and functional diversity. Carotenoids are molecules possessing alternating double and single bonds, which are broadly classified into two main groups: carotenes ( $\alpha$ -carotene,  $\beta$ -carotene or lycopene) and xanthophylls ( $\beta$ -cryptoxanthin, lutein or zeaxanthin). Carotenes are hydrocarbons that can be cyclized in one or both ends of the molecule ( $\beta$  carotene) and the xanthophylls which are oxygenated derivatives of carotenes (oxicarotenoids) (Jesus Raposo and others 2013).

Carotenoids have antioxidant activity, since its basic structure consists of a tetraterpene with a number of conjugated double bonds, which generate a resonance system of  $\pi$  electrons moving along the entire polyene chain. They act as antioxidants through three main mechanisms: electron transfer, removal of the allyl hydrogen, and addition of the radical to the double bond systems (Jomová and others 2009; Rodrigues and others 2012). In general, electron transfer is favored in polar environments. In contrast, the removal of hydrogen occurs in non-polar solvents or micelles (Guo and Hu 2010). Some fruits and flowers, as well as senescent leaves contain carotenoid esters, in which the hydroxyl group of the esterified xanthophyll can be found. Dihydroxycarotenoids such as lutein can be esterified with different fatty acids on one or both hydroxyl groups, giving rise to a wide variety of compounds (Carvalho and others 2013).

In ripe fruits, carotenoids are found in the chromoplasts and hydroxycarotenoids are mainly esterified with fatty acids. The composition is highly complex and variable, but seven main patterns can be discriminated (Rodríguez-Amaya and others 2008a): (a) negligible levels of carotenoids (apples, cashew apples, plums, and red fruit); (b) small contents of carotenoids, usually in the chloroplasts (green grapes); (c) considerable amount of lycopene (pink pulped guava, red pulped papaya, and watermelon); (d) predominance of  $\beta$ -carotene (cherries, apricots, melon, and loquat); (e)  $\beta$ -cryptoxanthin as a major carotenoid (nectarines, yellow or orange pulped papayas, 'Ponkan' tangerines, peaches); (f) prevalence of violaxanthin (mangos, oranges); and (g) other predominating carotenoids (passion fruit, rose hips).

Rodríguez-Amaya and others (2008b) reported that the macaúba, tucumã, and bacuri fruit of palm trees are rich sources of  $\beta$ -carotene and Buriti has the highest content of  $\beta$ -carotene among various foods already evaluated in Brazil. However, as lipids are known to stimulate the absorption of carotenoids, palm fruits may have the added advantage of greater bioavailability of these compounds.

The most abundant in the human diet are  $\beta$ -carotene, lycopene, lutein,  $\beta$ -cryptoxanthin, zeaxanthin, and astaxanthin (Riccioni 2009). Carotenes predominate in carotenogenic roots (carrots, sweet potatoes, yellow cassava) and lutein and/or zeaxanthin are the major carotenoids found in corn and egg yolk. In turn, astaxanthin is the red pigment of crustaceans, salmon, and trout (Rodriguez-Amaya 2010). Dark green vegetables provide lutein and zeaxanthin, and tomatoes and derivatives provide lycopene (Rao and Rao 2007). According to the classification of good sources of carotenoids by range of content, there are the following criteria: (low, 0-100 mg/100g; moderate, 100-500 mg/100g; high, 500-2000 mg/100g; very high, > 2000 mg/100g) (Britton and Khachik 2009). Thus, it can be seen that Brazilian fruits (Table 4) are excellent sources of these compounds.

Carotenoids are fat-soluble compounds with high potential to act as functional compounds, being pigments responsible for the yellow-reddish color that is characteristic of many vegetables (Maldonado-Astudillo and others 2014) and have demonstrated many biological functions. These compounds are associated with a reduced risk of degenerative diseases, cataract prevention, reduced incidence of macular degeneration caused by aging (Gülçin 2012), immunomodulatory activity, and can prevent cardiovascular disease, diabetes, and various cancers, especially prostate and gastrointestinal tumors (Bernal and others 2011) as well as having dermatological benefits.

Of the xanthophylls, lutein and zeaxanthin preferably accumulate in the human brain and may be beneficial in the maintenance of cognitive health (Johnson 2012), take part in the antioxidant defense system, in addition to pro-vitamin activity ( $\beta$ -carotene,  $\alpha$ -carotene,  $\gamma$ -carotene and  $\beta$ -cryptoxanthin) (Yahia and Ornelas-Paz 2010) mainly  $\beta$ -carotene (Maldonado-Astudillo and others 2014).

Lutein, zeaxanthin and astaxanthin induced the increased expression of hyaluronic acid synthase, resulting in an increase in hyaluronic acid synthesis. The lutein significantly increased transcriptional activity of the response elements to retinoic acid. In addition, metabolites of lutein derivatives have been reported to act as ligands of retinoic acid receptors on keratinocytes, which creates a potential replacement of lutein retinoids (Sayo and others 2013).

*In vivo*, adult rats had significantly lower locomotor disability, lower levels of malondialdehyde in the cerebral cortex and a significantly smaller infarcted volume within

the cerebral cortex when ischemic stroke was induced after an intracerebroventricular injection of astaxanthin (Shen and others 2009). A group of healthy post-menopausal women showed a significant increase in total antioxidant activity in the circulation after daily consumption of 12 mg of astaxanthin for 8 weeks (Iwabayashi and others 2009).

Lycopene has been suggested as a potent compound in the reduction of ROS, in addition to modulating cellular targets that are sensitive to redox status. For example, 2  $\mu$ M of lycopene was able to reduce the effect of cigarettes on the molecular pathways involved in inflammation, cell proliferation, apoptosis, as well as carcinogen enzyme activation. It also inhibited the formation of DNA adducts and the insulin-like growth factor induced by cigarettes (Palozza and others 2012).

Brazilian fruit consists of huge varieties of carotenoid sources, and the lack of public information on them is a limiting factor for their better use as an alternative against vitamin A deficiency (Ambrósio and others 2006). Knowing that fruits and vegetables are the main dietary sources of carotenoids, it is clear that their consumption can contribute to the reduction of these indices, including having an impact on all regions of Brazil given their distribution in the different biomes.

Evaluating food is not simple because of the wide diversity of natural carotenoids, its complex composition, and its qualitative and quantitative variations with some residual levels of carotenoids. Therefore, the analytical separation procedure in particular must be suitable for the type of sample. In addition, some carotenoids are sensitive to oxidation and isomerization reactions under certain conditions (light, heat, acids, oxygen). Thus, the treatment of the sample must be carefully designed in order to prevent degradation and/or changes in the initial content (Amorim-Carrilho and others 2014).

Bioavailability is a key element in the evaluation of bioactive compounds on human health, and the assessment of bioavailability of different forms of carotenoids should be performed (Amorim-Carrilho and others 2014). The *in vitro* methods that simulate gastric and intestinal digestive processes with cultures of highly differentiated Caco-2 cells have shown to be valid tools for initial evaluation of the relative bioavailability of carotenoids, allowing screening of a large number of food samples. Comparative evaluation and standardization are still necessary, considering the marked discrepancy in results obtained by different laboratories. Based on this, chemical tests underestimate the antioxidant activity/capacity of food carotenoids. Analytical methods need to be developed and

validated to be biologically relevant for assessments of the activities, including the measurement of the elimination of singlet oxygen, as the main carotenoid action as an antioxidant, along with free radical scavenging, including other radicals than peroxy (Rodriguez-Amaya 2010).

Biological assays involving animals and human studies are important tools in elucidating the cellular and molecular effects of carotenoids, but both have limitations. According to Kaulmann and Bohn (2014), animal models, while allowing an evaluation of the physiological effects in a more complex and realistic manner compared to cellular studies, use supraphysiological doses. Among other reasons, the study of human intervention that includes disease progression adds more evidence to prove a potential relationship between the consumption of carotenoids and disease incidence. However, studies in humans are confronted with a dilemma. When administering foods rich in carotenoids, many confounding factors exist, as dietary fiber, minerals and vitamins are also present in the food matrix. However, by providing individual compounds as supplements, synergistic effects between carotenoids and micronutrients, and aspects of overdosage or altered bioavailability may result in different kinetic release, uptake and biodistribution of the carotenoid linked to the food matrix (Kaulmann and Bohn 2014).

## **Vitamin E**

Vitamin E is essential for maintaining the health and well-being of humans and other animals because of its biological activities (Brigelius-Flohe and Galli 2010). Acting on the cell membrane, vitamin E protects against lipid peroxidation by reacting directly with oxygen radicals, such as singlet oxygen and superoxide anion, which originates harmless tocopherol radicals. In addition, Vitamin E has the ability to regulate the expression of proteins that act in the cellular redox state and, therefore, in oxidative stress (Powers and Jackson 2008).

The forms of vitamin E are eight naturally occurring lipophilic molecules, including  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -, and  $\delta$ -tocopherol and  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -, and  $\delta$ -tocotrienol. All forms of vitamin E have a chromanol ring and a phytyl group with 16 carbons as a side chain, wherein the tocopherols and tocotrienols are saturated and have three double bonds. The isoforms of tocopherols and tocotrienols differ in the 5- or 7-position of the H or CH<sub>3</sub> chromanol ring. Natural tocopherols have RRR configuration in positions 2, 4, and 8, and tocotrienols have the R

configuration at the 2-position (Jiang 2014).  $\alpha$ -Tocopherol is the most known biologically active form of vitamin E; it is also the most effective and has the highest antioxidant activity is (Ju and others 2010). Therefore, it tends to be used in commercial products. There has been considerable interest in the fortification of foods, drinks and supplements with vitamin E due to its nutritional quality. However, there are a number of challenges associated with the incorporation of vitamin E in commercial products due to its chemical instability, poor water solubility, and variable bioavailability (Yang and McClements 2013).

The cellular effects of  $\alpha$ -tocopherol are mainly based on the antioxidant activity of this vitamin, since it modulates multiple signaling pathways, as well as the expression of genes mainly related to cell proliferation and inflammation (Azzi 2007). A complex interaction occurs between  $\alpha$ -tocopherol, polyunsaturated fatty acids, and lipid mediators. Apparently,  $\alpha$ -tocopherol non-specifically prevents peroxidation of PUFA and operates within a larger antioxidant network to modulate production and/or function of lipid mediators derived of lipoxygenase (Lebold and Traber 2014).

As an important fat-soluble antioxidant,  $\alpha$ -tocopherol is essential to all cells. However, vitamin E seems to be particularly critical to CNS. Thus, its deficiency is mainly presented as neuromuscular and neurological disorders, specifically spinocerebellar ataxia (Gohil and others 2010). In addition, vitamin E supplementation has been used in several neurological disorders related to oxidative stress. This intervention has proved noteworthy in humans suffering from Alzheimer's disease, Parkinson's disease, and Down syndrome (Perrone and others 2007).

$\alpha$ -Tocopherol is predominantly found in peanuts, beans, and sunflower seeds, while  $\gamma$ -tocopherol is the main vitamin E in nuts, pistachios, and sesame seeds. As a result,  $\alpha$ -tocopherol and  $\gamma$ -tocopherol are found in many edible oils such as corn, soybean and peanut oil (Dreher 2012). They are considered as the most efficient natural antioxidants (Traber and Atkinson 2007) due to the protective effect conferred against lipid oxidation (Hunter and Cahoon 2007). Thus, the tocopherol content in seed oils is considered as an aggregate value of the products (Marwede and others 2004). López-Cortés and others (2013) studied different varieties of olive oil in eastern Spain and found  $\alpha$ -tocopherol levels between 131-270 mg/kg. Silva and others (2011) identified contents of 234-241 mg/L  $\alpha$ -tocopherol in tucumã oil and 299-306 mg/L in buriti oil.



In Brazil, there are many fruits that are rich in tocopherol sources such as buriti, tucumã, jervá, and macaúba, but are poorly studied and have broad potential for use. Jatobá presents 886.37 mg/kg of  $\alpha$ -tocopherol in the pulp and 993.63 mg/kg in the seed, and other isomers, totaling a vitamin E content of 1.000 mg/kg in the pulp and 1.138 mg/kg in the seed (Dias and others 2013). Species such as jervá and macaúba presented 323.50 and 212.95 mg/kg of total tocopherols in the pulps (Coimbra and Jorge 2011). The contents in buriti pulp and almond were 1129.78 and 995.72  $\mu$ g/g, respectively (Costa and others 2010).

## Conclusions

Many studies point out that the biological activity of phytochemicals is striking, such as anticancer, anti-inflammatory, immunomodulatory, and antimicrobial activity, in addition to their role in preventing cardiovascular and neurodegenerative diseases, diabetes and various cancers.

Brazilian fruit trees that occur in different biomes have wide potential for supplying bioactive compounds for the human diet. In this context, in addition to açaí, guava, guarana, and passion fruit, there is a variety of little studied and underexploited native fruits with great nutritional and antioxidant potential such as cherries, jabuticaba, camu-camu, umbu, cajá, cashew apples, pitomba, jenipapo, jatobá, guariroba, pequi, cambuci, grumixama, cupuaçu, mangaba, and palm trees such as patauá, jussara, murici, macaw, buriti and many nuts.

In this context, carotenoids and vitamin E hold key benefits for the health of humans. However, these effects depend on various factors, such as chemical structure, nature of the food matrix, storage conditions, the analytical method employed, interaction with other components of the diet, molecular targets, hepatic and microbial metabolism, bioavailability and action mechanism. Thus, it is necessary to investigate the effective concentrations of dietary bioactive compounds, their targets and molecular mechanisms of action, the factors that lead to its release from the food matrix, the extent of absorption properties of its metabolites and their actual role in promoting and maintaining human health, beyond the elucidation of disease mechanisms involving ROS.

## Acknowledgments

The authors thank to CNPq (Grant # 484850/2013-0) and CsF/PVE/CNPq (Grant # 401515/2014-1) for the financial support.

## Author Contributions

C. C. E. Souza, graduate student that conducted the data survey in the literature and drafted the manuscript. S. M. Silva, designed the study, evaluated and interpreted the data.

## References

- Almeida MMB, de Sousa PHM, Arriaga ÂMC, do Prado GM, Magalhães CE de C, Maia GA, Lemos TLG. 2011. Bioactive compounds and antioxidant activity of fresh exotic fruits from northeastern Brazil. *Food Res Int* 44(7):2155–2159. doi:10.1016/j.foodres.2011.03.051
- Ambrósio CLB, Campos F de AC e S, Faro ZP de. 2006. Carotenóides como alternativa contra a hipovitaminose A. *Rev Nutr* 19(2), 233–243. doi:10.1590/S1415-52732006000200010
- Amorim-Carrilho KT, Cepeda A, Fente C, Regal P. 2014. Review of methods for analysis of carotenoids. *TrAC Trends Anal Chem* 56:49–73. doi:10.1016/j.trac.2013.12.011
- Azzi A. 2007. Molecular mechanism of alpha-tocopherol action. *Free Radic Biol Med* 43(1):16–21.
- Bernal J, Mendiola JA, Ibáñez E, Cifuentes A. 2011. Advanced analysis of nutraceuticals. *J Pharm Biomed Anal* 55(4):758–74. doi:10.1016/j.jpba.2010.11.033
- Beskow GT, Hoffmann JF, Teixeira AM, Fachinello JC, Chaves FC, Rombaldi CV. 2015. Bioactive and yield potential of jelly palms (*Butia odorata* Barb. Rodr.). *Food Chem* 172:699–704. doi:10.1016/j.foodchem.2014.09.111
- Brigelius-Flohe R, Galli F. 2010. Vitamin E: A vitamin still awaiting the detection of its biological function. *Mol Nutr Food Res* 54 (5):583–587.
- Britton G, Khachik F. 2009. Carotenoids in food. In: Britton, G., Liaaen-Jensen, S., Pfander, H. (Eds.), *Carotenoids: Nutrition and Health*, vol. 5. Birkhauser/Verlag, Basel/Boston/Berlin, p.45–66.
- Buendia B, Gil MI, Tudela, JA, Gady AL, Medina JJ, Soria C and others. 2010. HPLC-MS analysis of proanthocyanidin oligomers and other phenolics in strawberry cultivars. *J Agric Food Chem* 58:3916–3926.
- Bueno JM, Saez-Plaza P, Ramos-Escudero F, Jimenez AM, Fett R, Asuero AG. 2012. Analysis and antioxidant capacity of anthocyanin pigments. Part II: Chemical structure, color, and intake of anthocyanins. *Crc Cr Rev Anal Chem* 42:126-151.
- Camara AK, Lesnfsky EJ, Stowe DF. 2010. Potential therapeutic benefits of strategies directed to mitochondria. *Antioxid Redox Sign* 13:280–326.
- Cândido TLN, Silva MR, Agostini-Costa TS. 2015. Bioactive compounds and antioxidant capacity of buriti (*Mauritia flexuosa* L.f.) from the Cerrado and Amazon biomes. *Food Chem* 177:313–319. doi:10.1016/j.foodchem.2015.01.041
- Canniatti-Brazaca SG, Couto MAL. 2010. Quantificação de vitamina C e capacidade antioxidante de variedades cítricas. *Ciência e Tecnol Aliment* 30:15-19.

- Cardoso L de M, Martino HSD, Moreira AVB, Ribeiro SMR, Pinheiro-Sant'Ana HM. 2011. Cagaita (*Eugenia dysenterica* DC.) of the Cerrado of Minas Gerais, Brazil: Physical and chemical characterization, carotenoids and vitamins. *Food Res Int* 44(7):2151–2154. doi:10.1016/j.foodres.2011.03.005
- Carvalho E, Fraser PD, Martens S. 2013. Carotenoids and tocopherols in yellow and red raspberries. *Food Chem* 139(1-4):744–52. doi:10.1016/j.foodchem.2012.12.047De
- Castrejón ADR, Eichholz I, Rohn S, Kroh LW, Huyskens-Keil S. 2008. Phenolic profile and antioxidant activity of highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) during fruit maturation and ripening. *Food Chem* 109:564–572.
- Catalá A. 2006. An overview of lipid peroxidation with emphasis in outer segments of photoreceptors and the chemiluminescence assay. *Int J Biochem Cell Biol* 38:1482-1495.
- Chisté RC, Freitas M, Mercadante AZ, Fernandes E. 2014. Carotenoids inhibit lipid peroxidation and hemoglobin oxidation, but not the depletion of glutathione induced by ROS in human erythrocytes. *Life Sci* 99(1-2):52–60. doi:10.1016/j.lfs.2014.01.059
- Choudhari SK, Chaudhary M, Gadbail AR, Sharma A, Tekade S. 2014. Oxidative and antioxidative mechanisms in oral cancer and precancer: a review. *Oral Oncol* 50(1):10–8. doi:10.1016/j.oraloncology.2013.09.011
- Coimbra MC, Jorge N. 2011. Proximate composition of guariroba (*Syagrus oleracea*), jerivá (*Syagrus romanzoffiana*) and macaúba (*Acrocomia aculeata*) palm fruits. *Food Res Int* 44(7):2139–2142. doi:10.1016/j.foodres.2011.03.032
- Costa PA da, Ballus CA, Teixeira-Filho J, Godoy HT. 2010. Phytosterols and tocopherols content of pulps and nuts of Brazilian fruits. *Food Res Int* 43(6):1603–1606. doi:10.1016/j.foodres.2010.04.025
- Davies SS, Guo L. 2014. Lipid peroxidation generates biologically active phospholipids including oxidatively N-modified phospholipids. *Chem Phys Lipids* 181:1–33. doi:10.1016/j.chemphyslip.2014.03.002
- Demidchik V. 2015. Mechanisms of oxidative stress in plants: From classical chemistry to cell biology. *Environ Exp Bot*, 109(0), 212–228. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.envexpbot.2014.06.021
- Dias LS, Luzia DMM, Jorge N. 2013. Physicochemical and bioactive properties of *Hymenaea courbaril* L. pulp and seed lipid fraction. *Ind Crops Prod* 49:610–618. doi:10.1016/j.indcrop.2013.06.005
- Dreher ML. 2012. Pistachio nuts: composition and potential health benefits. *Nutr Rev* 70:234–240.
- Faria JP, Siqueira EMA, Vieira RF, Agostini-Costa T da S. 2011. Fruits of *Butia capitata* (Mart.) Becc as good sources of  $\beta$ -carotene and provitamina. *Rev Bras Frutic* 33(spel):612–617. doi:10.1590/S0100-29452011000500084
- Fiaschi P, Pirani JR. 2009. Review of plant biogeographic studies in Brazil. *J Syst Evol* 47(5): 477–496.
- Fu L, Xu BT, Xu XR, Gan RY, Zhang Y, Xia EQ, Li HB. 2011. Antioxidant capacities and total phenolic contents of 62 fruits. *Food Chem* 129(2):345–350.
- Gohil K, Vasu VT, Cross CE. 2010. Dietary alpha-tocopherol and neuromuscular health: search for optimal dose and molecular mechanisms continues! *Mol Nutr Food Res*, 54:693–709.
- Gueraud F, Atalay M, Bresgen N, Cipak A, Eckl PM, Huc L, Uchida K. 2010. Chemistry and biochemistry of lipid peroxidation products. *Free Radic Res* 44:1098–1124.

- Gülçin I. 2012. Antioxidant activity of food constituents: An overview Arch Toxicol 86:345–391.
- Guo JJ, Hu CH. 2010. Mechanism of chain termination in lipid peroxidation by carotenes: a theoretical study. J Phys Chem B 114:16948–16958.
- Haminiuk CWI, Maciel GM, Plata-Oviedo MSV, Peralta RM. 2012. Phenolic compounds in fruits - An overview. Int J Food Sci Tech 47:2023–2044.
- Higdon A, Diers AR, Oh JY, Landar A, Darley-Usmar VM. 2012. Cell signalling by reactive lipid species: new concepts and molecular mechanisms. Biochem J 442:453–464.
- Hunter SC, Cahoon EB. 2007. Enhancing vitamin E in oilseeds: Unraveling tocopherol and tocotrienol biosynthesis. Lipids 42(2):97–108.
- Iwabayashi M, Fujioka N, Nomoto K, Miyazaki R, Takahashi H, Hibino S and others. 2009. Efficacy and safety of eight-week treatment with astaxanthin in individuals screened for increased oxidative stress burden. J Anti Aging Med 6:15–21.
- Jesus Raposo MF, de Morais RMSC, de Morais AMMB. 2013. Health applications of bioactive compounds from marine microalgae. Life Sci 93(15):479–86. doi:10.1016/j.lfs.2013.08.002
- Jiang Q. 2014. Natural forms of vitamin E: metabolism, antioxidant, and anti-inflammatory activities and their role in disease prevention and therapy. Free Radic Biol Med 72:76–90. doi:10.1016/j.freeradbiomed.2014.03.035
- Johnson E. 2012. A possible role for lutein and zeaxanthin in cognitive function in the elderly. Am J Clin Nutr 96(5):1161S–1165S.
- Jomová K, Kysel O, Madden JC, Morris H, Enoch SJ and others. 2009. Electron transfer from all-trans- $\beta$ -carotene to the t-butyl peroxy radical at low oxygen pressure (an EPR spectroscopy and computational study). Chem Phys Lett 478:266–270.
- Ju J, Picinich SC, Yang Z, Zhao Y, Suh N, Kong A-N, Yang CS. 2010. Cancer-preventive activities of tocopherols and tocotrienols. Carcinogenesis 31(4):533–542.
- Kaulmann A, Bohn T. 2014. Carotenoids, inflammation, and oxidative stress--implications of cellular signaling pathways and relation to chronic disease prevention. Nutr Res, 34(11):907–29. doi:10.1016/j.nutres.2014.07.010
- Lebold KM, Traber MG. 2014. Interactions between  $\alpha$ -tocopherol, polyunsaturated fatty acids, and lipoxygenases during embryogenesis. Free Radic Biol Med 66:13–9. doi:10.1016/j.freeradbiomed.2013.07.039
- López-Cortés I, Salazar-García DC, Velázquez-Martí B, Salazar DM. 2013. Chemical characterization of traditional varietal olive oils in East of Spain. Food Res Int 54(2):1934–1940. doi:10.1016/j.foodres.2013.04.035
- Lovell MA, Markesbery WR. 2007. Oxidative damage in mild cognitive impairment and early Alzheimer's disease. J Neurosci Res 85:3036–3040.
- Lushchak VI. 2014. Free radicals, reactive oxygen species, oxidative stress and its classification. Chem Biol Interact 224:164–175. doi:10.1016/j.cbi.2014.10.016
- Maldonado-Astudillo YI, Alia-Tejacal I, Núñez-Colín CA, Jiménez-Hernández J, Pelayo-Zaldívar C, López-Martínez V, Andrade-Rodríguez M, Bautista-Baños S, Valle-Guadarrama S. 2014. Postharvest physiology and technology of *Spondias purpurea* L. and *S. mombin* L. Sci Hortic 174:193–206. doi:10.1016/j.scienta.2014.05.016
- Mallikarjun V, Clarke DJ, Campbell CJ. 2012. Cellular redox potential and the biomolecular electrochemical series: a systems hypothesis. Free Radic Biol Med 53:280–288.

- Malta LG, Tessaro EP, Eberlin M, Pastore GM, Liu RH. 2013. Assessment of antioxidant and antiproliferative activities and the identification of phenolic compounds of exotic Brazilian fruits. *Food Res Int* 53(1):417–425. doi:10.1016/j.foodres.2013.04.024
- Markesbery WR, Lovell MA. 2007. Damage to lipids, proteins, DNA, and RNA in mild cognitive impairment. *Arch Neurol* 64:954–956.
- Marwede V, Schierholt A, Mollers C, Becker HC. 2004. Genotype environment Interactions and heritability of tocopherol contents in canola. *Crop Sci* 44:28–731.
- Namal Senanayake SPJ. 2013. Green tea extract: Chemistry, antioxidant properties and food applications – A review. *J Funct Foods* 5(4):1529–1541. doi:10.1016/j.jff.2013.08.011
- Omotayo TI, Akinyemi GS, Omololu PA, Ajayi BO, Akindahunsi AA, Rocha JBT, Kade IJ. 2015. Possible involvement of membrane lipids peroxidation and oxidation of catalytically essential thiols of the cerebral transmembrane sodium pump as component mechanisms of iron-mediated oxidative stress-linked dysfunction of the pump's activity. *Redox Biol* 4:234–241 doi:10.1016/j.redox.2014.12.015
- Palozza P, Simone R, Catalano A, Russo M, Bohm V. 2012. Lycopene modulation of molecular targets affected by smoking exposure. *Curr Cancer Drug Tar* 12:640–57.
- Park JS, Chyun JH, Kim YK, Line LL, Chew BP. 2010. Astaxanthin decreased oxidative stress and inflammation and enhanced immune response in humans. *Nutrition Metab* 7:18.
- Perrone S, Longini M, Bellieni CV, Centini G, Kenanidis A, De Marco L, Petraglia F, Buonocore G. 2007. Early oxidative stress in amniotic fluid of pregnancies with Down syndrome. *Clin Biochem* 40:177–180.
- Petry ER, Alvarenga ML, Cruzat VF, Toledo JOT. 2013. Suplementações nutricionais e estresse oxidativo: implicações na atividade física e no esporte. *Rev Bras Ciências do Esporte* 35(4):1071–1092. doi:10.1590/S0101-32892013000400017
- Poli G, Schaur RJ, Siems WG, Leonarduzzi G. 2008. 4-hydroxynonenal: a membrane lipid oxidation product of medicinal interest. *Med Res Rev* 28:569–631.
- Powers SK, Jackson MJ. 2008. Exercise-induced oxidative stress: cellular mechanisms and impact on muscle force production. *Physiol Rev* 88:1243–1276.
- Rajendran P, Nandakumar N, Rengarajan T, Palaniswami R, Gnanadhas EN, Lakshminarasaiah U, Gopas J, Nishigaki I. 2014. Antioxidants and human diseases. *Clin Chim Acta* 436:332–47. doi:10.1016/j.cca.2014.06.004
- Rao, AV, Rao LG. 2007. Carotenoids and human health, *Pharmacol Res* 55:207–216.
- Renna M, Pace B, Cefola M, Santamaria P, Serio F, Gonnella M. 2013. Comparison of two jam making methods to preserve the quality of colored carrots. *LWT - Food Sci Technol* 53:547–554.
- Riccioni G. 2009. Carotenoids and cardiovascular disease. *Curr atheroscler Rep* 11:434–439.
- Ristow M, Zarse K, Oberbach A, Klötting N, Birringer M, Kiehntopf M, Stumvoll M, Kahn CR, Blüher M. 2009. Antioxidants prevent health-promoting effects of physical exercise in humans. *Proc Natl Acad Sci USA* 8865–8870.
- Rochette L, Zeller M, Cottin Y, Vergely C. 2014. Diabetes, oxidative stress and therapeutic strategies. *Biochim Biophys Acta* 1840(9):2709–29. doi:10.1016/j.bbagen.2014.05.017
- Rodrigues E, Mariutti LRB, Chisté RC, Mercadante AZ. 2012. Development of a novel micro-assay for evaluation of peroxy radical scavenger capacity: application to carotenoids and structure-activity relationship. *Food Chem* 135(3):2103–11. doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.06.074

- Rodriguez-Amaya DB, Amaya-Farfan J, Rodriguez EB. 2008a. Carotenoids in fruits: Biology, chemistry, technology and health benefits. In: Epifanio, F. (Ed.), *Current Trends in Phytochemistry*. Research Signpost, Kerala, India, p.167–188.
- Rodriguez-Amaya DB, Kimura M, Godoy HT, Amaya-Farfan J. 2008b. Updated Brazilian database on food carotenoids: Factors affecting carotenoid composition. *J Food Compos Anal* 21(6):445–463. doi:10.1016/j.jfca.2008.04.001
- Rodriguez-Amaya DB. 2010. Quantitative analysis, in vitro assessment of bioavailability and antioxidant activity of food carotenoids-A review. *J Food Compos Anal* 23(7):726–740. doi:10.1016/j.jfca.2010.03.008
- Rufino M do SM, Alves RE, de Brito ES, Pérez-Jiménez J, Saura-Calixto F, Mancini-Filho J. 2010. Bioactive compounds and antioxidant capacities of 18 non-traditional tropical fruits from Brazil. *Food Chem* 121(4):996–1002. doi:10.1016/j.foodchem.2010.01.037
- Sagrillo MR, Garcia LFM, de Souza Filho OC, Duarte MMMF, Ribeiro EE, Cadoná FC, Cruz IBM. 2015. Tucumã fruit extracts (*Astrocaryum aculeatum* Meyer) decrease cytotoxic effects of hydrogen peroxide on human lymphocytes. *Food Chem* 173:741–8. doi:10.1016/j.foodchem.2014.10.067
- Salvemini D and others (2011). Roles of reactive oxygen and nitrogen species in pain. *Free Radic Biol Med* 51:951–966.
- Sarsour EH, Kalen AL, Goswami PC. 2014. Manganese superoxide dismutase regulates a redox cycle within the cell cycle. *Antioxid Redox Sign* 20:1618–1627.
- Sayo T, Sugiyama Y, Inoue S. 2013. Lutein, a nonprovitamin A, activates the retinoic acid receptor to induce HAS3-dependent hyaluronan synthesis in keratinocytes. *Biosci Biotechnol Biochem* 77:1282–1286.
- Seifried HE, Anderson DE, Fisher EI, Milner JA. 2007. A review of the interaction among dietary antioxidants and reactive oxygen species. *J Nutr Biochem* 18:567–579.
- Shen H, Kuo CC, Chou J, Delvolve A, Jackson SN, Post J and others. 2009. Astaxanthin reduces ischemic brain injury in adult rats. *FASEB J* 23:958–68.
- Sies H. 1985. Oxidative stress: introductory remarks. In: H. Sies (Ed.), *Oxidative Stress*, Academic Press, London, p.1–8.
- Sies H, Jones D. 2007. Oxidative Stress. In: G. Fink (Ed.), *Encyclopedia of Stress*, 3, Elsevier, 2nd ed., Amsterdam, p.45–48.
- Sies H. 2015. Oxidative stress: a concept in redox biology and medicine. *Redox Biol* 4C:180–183. doi:10.1016/j.redox.2015.01.002
- Silva SM, Rocco SA, Sampaio KA, Taham T, da Silva LHM, Ceriani R, Meirelles AJA. 2011. Validation of a method for simultaneous quantification of total carotenes and tocopherols in vegetable oils by HPLC. *Food Chem* 129(4):1874–1881. doi:10.1016/j.foodchem.2011.05.137
- Silva FVG, Silva SM, Silva GC, Mendonça RMN, Alves RE, Dantas, AL. 2012. Bioactive compounds and antioxidant activity in fruits of clone and ungrafted genotypes of yellow mombin tree. *Food Sci Technol (Campinas)* 32(4):685–691.
- Silva LMR, Teixeira de Figueiredo EA, Silva Ricardo NMP, Pinto Vieira IG, Wilane de Figueiredo R, Brasil IM, Gomes CL. 2014. Quantification of bioactive compounds in pulps and by-products of tropical fruits from Brazil. *Food Chem*, 143:398–404. doi:10.1016/j.foodchem.2013.08.001
- Stratthearn KE, Yousef GG, Grace MH, Roy SL, Tambe MA, Ferruzzi MG, Wu Q-L, Simon JE, Lila MA, Rochet J-C. 2014. Neuroprotective effects of anthocyanin- and proanthocyanidin-rich

- extracts in cellular models of Parkinson's disease. *Brain Res* 1555:60–77. doi:10.1016/j.brainres.2014.01.047
- Styskal J, Van Remmen H, Richardson A, Salmon AB. 2012. Oxidative stress and diabetes: What can we learn about insulin resistance from antioxidant mutant mouse models? *Free Radic Biol Med* 52(1):46–58. doi:dx.doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2011.10.441
- Tanaka T, Shnimizu M, Moriwaki H. 2012. Cancer chemoprevention by carotenoids. *Molecules* 17:3202–3242.
- Tiburski JH, Rosenthal A, Deliza R, de Oliveira Godoy RL, Pacheco S. 2011. Nutritional properties of yellow mombin (*Spondias mombin* L.) pulp. *Food Res Int* 44(7):2326–2331. doi:10.1016/j.foodres.2011.03.037
- Traber MG, Atkinson J. 2007. Vitamin E, antioxidant and nothing more. *Free Radic Biol Med* 43:4–15.
- Valko M, Leibfritz D, Moncol J, Cronin MT, Mazur M, Telser J. 2007. Free radicals and antioxidants in normal physiological functions and human disease. *Rev Int J Biochem Cell Biol* 39:44–84.
- Vasconcelos SML, Goulart MOF, Moura JB de F, Manfredini V, Benfato M da S, Kubota LT. 2007. Espécies reativas de oxigênio e de nitrogênio, antioxidantes e marcadores de dano oxidativo em sangue humano: principais métodos analíticos para sua determinação. *Quim Nova* 30(5):1323–1338. doi:10.1590/S0100-40422007000500046
- Wang S, Meckling KA, Marcone MF, Kakuda Y, Tsao R. 2011. Synergistic, additive, and antagonistic effects of food mixtures on total antioxidant capacities. *J Agric Food Chem* 59:960-968.
- Yahia ME, Ornelas-Paz JJ. 2010. Chemistry, stability and biological actions of carotenoids. In: L. A. de la Rosa, E. Alvarez-Parrilla and G. A. Gonzalez-Aguilar (Eds.), *Fruit and vegetable phytochemicals*. USA: Wiley-Blackwell. p. 177–222.
- Yang Y, McClements DJ. 2013. Vitamin E bioaccessibility: influence of carrier oil type on digestion and release of emulsified  $\alpha$ -tocopherol acetate. *Food Chem* 141(1):473–81. doi:10.1016/j.foodchem.2013.03.033
- Yao, JK, Keshavan MS. 2011. Antioxidants, redox signaling, and pathophysiology in schizophrenia: an integrative view. *Antioxid Redox Sign* 15(7):2011-2035.
- Zhang Y, Seeram NP, Lee R, Feng L, Herber D. 2008. Isolation and identification of strawberry phenolics with antioxidant and human cancer cell antiproliferative properties. *J Agric Food Chem* 56: 670–675.

**Table 1-** Oxidative Stress: definition, specific forms and classification according to the intensity. (Sies 2015).

Category	Term	Reference
Definition original	“A disturbance in the prooxidant-antioxidant balance in favor of the former”	(Sies 1985)
Definition updated	“An imbalance between oxidants and antioxidants in favor of the oxidants, leading to a disruption of redox signaling and control and/or molecular damage”	(Sies and Jones 2007)
Specific form	Nutritional oxidative stress, Dietary oxidative stress, Postprandial oxidative stress, Physiological oxidative stress, Photooxidative stress, Nitrosative stress, Reductive stress	(Sies and Jones 2007)
Related terms	Oxidant stress, Pro-oxidant stress, Oxidative stress status	
Classification	Basal oxidative stress, Low intensity oxidative stress, Intermediate intensity oxidative stress, High intensity oxidative stress	(Lushchak 2014)



**Table 2-**Pathologies related to the production of ROS.

Radical	Pathology	Pathogenesis	Reference
ROS/RNS	Cancer	DNA damage; inhibition of DNA repair mechanisms; inhibition of apoptosis; Increased angiogenesis and immune suppression.	(Choudhari and others 2014)
Superoxide, H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> and HClO	Asthma, Rheumatoid arthritis, Multiple sclerosis	Production of superoxide, H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> and HClO by activated phagocytes.	(Vasconcelos and others 2007)
ROS/RNS	Neuropathic pain	Modulation of protein kinases, changes in dopaminergic neurotransmission and changes in the functioning and expression of ionic channels.	(Salvemini and others 2011)
ROS	Alzheimer's Disease	Multifactorial pathogenesis, characterized by increased oxidative stress markers, including DNA/RNA oxidation, lipids and proteins as well as brains with mild cognitive impairment	(Lovell and Markesbery 2007; Markesbery and Lovell 2007)
ROS	Parkinson's Disease	Neuropathological evidence suggests that the dopaminergic cells death involves mitochondrial complex I deficiency, oxidative stress, activation of microglia and the formation of Lewy bodies.	(Strathearn and others 2014)
ROS	Hypertension	Superoxide production by NADPH/NADP oxidase	(Vasconcelos and others 2007)
Superoxide, peroxynitrite, H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> , hydroxyl	Diabetes	Chronic disease characterized by hyperglycemia resulting from a lack of production or insulin resistance	(Rochette and others 2014)

**Table 3-**Biological antioxidant systems (Adapted from Styskal and others 2012; Petry and others 2013; Choudhari and others 2014).

Antioxidants			
Enzymatic antioxidants (Endogenous)	Localization	Antioxidants non-enzymatic	
		Endogenous	Exogenous
Superoxide dismutase	Cytosol and mitochondria	Thiol antioxidants – glutathione	Vitamins A, C, and E
Catalase	Peroxisomes, cytosol and mitochondria	Melatonin	Minerals - selenium, zinc, manganese, copper
Glutathione peroxidase	Cytosol and mitochondria	Coenzyme Q  Uric acid	Phenolic compounds, carotenoids, betalains
Peroxiredoxin	Cytosol, mitochondria, Golgi apparatus, membrane and nucleus		
Thioredoxin	Cytosol, mitochondria		
Methionine sulfoxide reductase	Cytosol, mitochondria, nucleus and endoplasmic reticulum		

**Table 4-**Content of carotenoids present in Brazilian tropical fruits.

Compounds	Natural source	Reference
Total carotenoids (mg/100g fresh matter)	Açaí ( <i>Euterpe oleracea</i> ) – 2.8 Gurguri ( <i>Mouriri guianensis</i> ) - 4.7 Jussara ( <i>Euterpe edulis</i> ) - 1.9 Murici ( <i>Byrsonima dealbata</i> ) - 1.1 Puçá coroa-de-frade ( <i>Mouriri elliptica</i> ) - 3.4 Puçá-preto ( <i>Mouriri pusa</i> ) - 4.2 Umbu ( <i>Spondias tuberosa</i> ) - 1.0	(Rufino and others 2010)
Carotenoids (mg/100g fresh matter)	Cagaita ( <i>Eugenia dysenterica</i> DC.) - 0.77 ( $\beta$ -carotene - 0.39)	(Cardoso and others 2011)
Total carotenoids (mg/100g fresh matter)	Butiá ( <i>Butia odorata</i> ) - 2.8 - 4.08	(Beskow and others 2015)
Total carotenoids (mg/100g pulp)	Butiá ( <i>Butia capitata</i> Mart. Becc) - 1.11- 4.39 Cajá ( <i>Spondias mombin</i> ) – 1.02-5.15	(Faria and others 2011) (Silva and others 2012)
Total carotenoids (mg/L oil)	Buriti ( <i>Mauritia flexuosa</i> ) - 1.576 Tucumã ( <i>Astrocaryum aculeatum</i> Meyer) - 1.934	(Silva and others 2011)
$\beta$ -carotene (mg/100g fresh matter)	Tucumã – 20.97	(Sagrillo and others 2015)
Total carotenoids (mg/100g fresh matter)	Buriti- Cerrado (Goiás) - 31.13 Buriti-Amazônia (Pará) - 52.86	(Cândido and others 2015)
$\beta$ -carotene (mg/100g pulp - dry matter)	Cajá ( <i>Spondias mombin</i> ) - 1.42 Maracujá ( <i>Passiflora edulis</i> Sims) - 1.36 Pitanga ( <i>Eugenia uniflora</i> L.) - 1.56	(Silva and others 2014)
Total carotenoids (mg/100g pulp)	Cajá ( <i>Spondias mombin</i> ) - 4.87 ( $\beta$ -carotene– 0.31; $\beta$ -criptoxanthin - 1.71)	(Tiburski and others 2011)
Total carotenoids (mg/100g pulp dry matter)	Guariroba ( <i>Syagrus oleracea</i> ).- 15.84 Jerivá ( <i>Syagrus romanzoffiana</i> ) - 121.9 Macaúba – São Paulo ( <i>Acrocomia aculeata</i> ) – 30	(Coimbra and Jorge 2011)

**Quality, mineral profile, and electrophoresis of protein of macaiba (*Acrocomia  
intumescens* Drude) fruit**

Cassiara Camelo Eloi de Souza<sup>a,b</sup>; Maria Elieidy Gomes de Oliveira<sup>b</sup>, Edilza Silva do Nascimento<sup>b</sup>, Carlos Alberto de Almeida Gadelha<sup>b</sup>, Marta Suely Madruga<sup>b</sup>, Renato Pereira Lima<sup>c</sup>, Alex Sandro Bezerra de Sousa<sup>c</sup>, Luciana Gomes Soares<sup>c</sup>, Silvanda de Melo Silva<sup>c\*</sup>

<sup>a</sup>Campus Anísio Teixeira (CAT), Instituto Multidisciplinar em Saúde (IMS), Universidade Federal da Bahia-UFBA. Rua Rio de Contas, 58, Quadra 17, Lote 58, Bairro Candeias, CEP: 45.029-094, Vitória da Conquista-BA, Brasil.

<sup>b</sup>Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Centro de Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba (UFPB), 58051-970, Campus I, João Pessoa - Paraíba, Brasil.

<sup>c</sup>Departamento de Ciências Fundamentais e Sociais do Centro de Ciências Agrárias - DCFS, Centro de Ciências Agrárias - CCA, Universidade Federal da Paraíba - UFPB, Rod. BR 079, Km 12, CEP 8397-000, Areia, PB, Brasil.

**\*Corresponding author:** Silvanda de Melo Silva. Departamento de Ciências Fundamentais e Sociais do Centro de Ciências Agrárias - DCFS, Centro de Ciências Agrárias - CCA, Universidade Federal da Paraíba - UFPB, Rod. BR 079, Km 12, CEP 8397-000, Areia, PB, Brazil,

Telefone:

e-mail: silvasil@cca.ufpb.br

## ABSTRACT

Macaiba (*Acrocomia intumescens*) is a native palm tree of the Brazilian Atlantic Forest whose fruit is widely consumed, and although little studied, it shows great potential for the agroindustry. In this research, we harvested ripe fruit of seven genotypes in naturally occurring growth areas, assessing the quality, the mineral profile of the pulp and almond, and conducted electrophoresis of the almond proteins. The fresh weight of the fruit of the genotypes was 38.8 g, and the mean yield was 52.8%. The fruits have low acidity, high water activity, a woody and hard epicarp, coloration ranging from green to yellowy-orangish, are strongly adhered to the core, and have a fibro-mucilaginous mesocarp with abundant carbohydrate content (35.94% and 48.69%) and lipids (15.07% and 25%) in the pulp and almond, respectively. Potassium was the major mineral in the fruits, but also Fe, P and Ca. The electrophoretic profile revealed the presence of globulin bands with a molecular weight greater than 120 kDa and less than 26 kDa, however the bands near 46 kDa were the most significant. Thus, it was found that the macaiba fruit can significantly contribute to the supply of nutrients in the diet, as well as be used in industrial processing. However, more studies are needed to explore its potential.

**Keywords:** carbohydrates, lipids, proteins, potassium, inhibiting trypsin, PCA.

## 1. Introduction

Brazil is known to possess about 30% of the tropical forests in the world, which brings together a huge genetic diversity of plants distributed in the following biomes: Amazon, Cerrado, Caatinga and the Atlantic Forest, Pampa and Pantanal (Beskow et al., 2015; BRASIL, 2016).

The Atlantic Forest is one of the areas of the world with the greatest biodiversity. For economic and historical reasons there has been an overexploitation of natural resources, today leading to a critical state of biodiversity conservation. The continued reduction in this biome may cause environmental damage, since the species present therein are interconnected by natural mechanisms. The imbalance of species can cause major damage to ecosystems, such as a lack of climate regulation, lack of soil protection against erosion and watershed against sedimentation, in addition to pests. Thus, sustainable management of natural resources present

in the Atlantic Forest can be an alternative for the preservation and generation of jobs and income for local people (Lima et al., 2012).

The activities aimed at the collection, identification, biological functions, genes or desirable gene pools in materials which are not adapted, semi-adapted or which have not undergone any form of selection and their mobilization for potentially useful materials to different users of genetic variability are essential activities at the beginning of breeding programs (Manfio et al., 2011). In general, breeding programs are carried out based on the evaluation of agronomic characteristics of the plant and physicochemical aspects of fruit quality. However, other parameters have also been evaluated due to an observed change in the feeding habits of the population, such as in the search for healthier foods that can bring health benefits (Cunha Neto et al., 2012).

The global market has expanded the production and consumption of fresh fruit and vegetables toward the most exotic, increasing the need to update food composition databases with high-quality data (Valente et al., 2011).

Some research has been conducted to determine the physicochemical characteristics of macaiba fruit (Coimbra & Jorge, 2011; Dessimoni-Pinto et al., 2010; Silva et al., 2008), its nutritional assessment and bioavailability of its carotenoids (Ramos et al., 2007; Coimbra & Jorge, 2012), as well as being an interesting raw material in biodiesel production (Basso et al., 2013; Iha et al., 2014). However, these studies involve the species *Acrocomia aculeata*.

The species in this study, *A. intumescens*, is a native and endemic palm tree from the Brazilian Atlantic Forest with wide distribution in the Northeast, which produce a fruit that is mainly consumed fresh, including by children through consumption of its pulp and almond, providing significant contribution of protein, carbohydrates, fiber, lipids, and  $\beta$ -carotene. The pulp and almond can also be used to prepare meals that can be used in various technological preparations and contributes significantly to food security, especially in rural areas. However, it is still underutilized and there is no effective exploitation of the species.

Therefore, the characterization of native species is an important step in the promotion of new and underutilized species (Nascimento et al., 2011), allowing us to understand its nutritional value, quality, and benefits to human health. To our knowledge, there are few studies on the characterization of the species *A. intumescens* (Bora & Rock, 2004; Silva et al., 2015) and none documenting the quality of different genotypes, genetic diversity, their physical attributes, mineral profile or the electrophoresis of proteins. This lack of data has caused obstacles for developing its production chain. Due to various forms of exploitation,

extraction is emerging as an alternative for income generation, and due to difficulties in the lack of information on this species, the aim of this study was to evaluate the physical, physicochemical characteristics and quality of seven macaiba genotypes (*Acrocomia intumescens*).

## **2. Material and methods**

### *2.1 Plant material*

Fruits of the macaiba tree were manually harvested in the mature stage from different clusters present in the canopy of tall-growing plants with the help of sticks, in the early hours of the day.

The harvest was carried out before the abscission of the fruits, from seven genotypes of spontaneous growth in the Mata do Pau Ferro State Park (G1, G2, G3, and G4) and its surroundings (G5, G6 and G7) in Areia-Paraíba State, Brazil.

After harvesting, the fruits were transported to the Post-harvest Biology and Technology Laboratory of the Centro de Ciências Agrárias of the Universidade Federal da Paraíba (CCA/UFPB). The fruits were then washed, dried at ambient condition and selected by the absence of injuries and diseases. Fruits were manually processed and separated into peel, pulp, almond, and exocarp, being the latter discarded. Fractions were homogenized separately and stored in plastic containers under refrigeration (-18°C) until analysis. Specimens were identified and registered in the Herbarium Jayme Coêlho de Moraes at the CCA/UFPB, under number 21694.

### *2.2 Physical and physicochemical characterization*

The methods used for physical evaluations were: fresh weight (g), as determined by weighing of the individual fruits using a semi-analytical scale; length and diameter of fruit (mm), determined using a digital caliper; fruit yield (%) obtained by the sum of the mass of the pulp and almond. The color parameters (L \*, a \*, b \*) were determined by using a Minolta colorimeter CM-508D. The values of Chromaticity (C) and °H angle, whose angles 0° = red, 90° = yellow, 180° = green, 270° = blue, were assessed according to Minolta (1998). Water

activity was determined by the 978.18 method (AOAC, 2000), using a hygrometer AQUALAB CX (Decagon Devices, Washington, USA).

For the physicochemical assessments, the pH was determined using a digital potentiometer, according to the methodology of the Adolfo Lutz Institute, - IAL (2008); titratable acidity (g of citric acid.100 g<sup>-1</sup> pulp) measured by titration with 0.1 M NaOH, according to IAL (2008).

The moisture content (g.100g<sup>-1</sup>); ash (g.100 g<sup>-1</sup>) and protein (g.100 g<sup>-1</sup>, Kjeldhal method) were determined according to analytical procedure described in the items No. 950.46.41, 920 153, and 928.08, respectively of the AOAC (2000), with the conversion factor of 6.25 for the conversion of total nitrogen to protein nitrogen.

The total lipids (g.100g<sup>-1</sup>) were measured by extraction with chloroform/methanol (2:1) according to the method described by Folch, Less, & Stanley (1957), and the carbohydrates were obtained by the difference.

The soluble proteins (mg/mL) were determined by the method of Bradford (1976). We weighed 50 mg of delipidated almond of macaíba in a test tube, added 1 ml of 0.15 M NaCl, stirred for 2h at a slow speed and the extracts were centrifuged for 10 minutes at 5000 rpm. A supernatant was used to quantitate the soluble proteins using bovine serum albumin (BSA) as an analytical standard. Reading of protein quantification was carried out in a spectrophotometer (Shimadzu, Gennys) at 595 nm.

### **2.3 Mineral Profile**

The minerals were analyzed by Fluorescence Spectrometry X-rays by Energy Dispersive (Shimadzu EDX-720 EDX) at the Laboratory of Food Biochemistry and Biotechnology (CES/UFCG), Campus of Cuité/PB. Initially, the samples were subjected to carbonization, followed by ignition in a muffle oven at 550°C to obtain the ash. Samples were placed in quartz cuvettes covered by a 5 µm-thick polypropylene film that, subsequently, were subjected to vacuum. The following operating conditions for the equipment were used: tube voltage of 15 keV (in the Sc) and 50 keV (Ti a U) and a collimator of 10 mm, with a solid-state Si (Li) detector cooled by liquid nitrogen.



## 2.4 *Electrophoresis profile*

The molecular profile of proteins present in macaíba almonds was determined by polyacrylamide gel electrophoresis (SDS-PAGE) according to Laemmli (1970). Proteins were extracted in saline solution NaCl 0.15 mol/L and solubilized in Tris-HCl 0.0625 buffer containing 2% SDS, 2% 2-mercaptoethanol, 10% glycerol, and 0.010% of Blue bromophenol, followed by applying an aliquot of 4g/100g stacking gel and 12.5g/100g in running polyacrylamide gels (10 x 10.5cm, 0.30mm spacers).

Aliquots were applied according to the protein content of each sample and the gel was subjected at a constant current of 25 mA for approximately 2 hours. The BlueStep Protein Broad Range Marker (Amresco) of 9-200 kDa was used as a molecular weight standard. After the run, the gel was stained according to the procedure described by Weber & Osborn (1969). The dye solution was prepared using Coomassie Blue R-250 (Sigma Chemical Co.) at 1%, 40% methanol, 10% acetic acid in distilled water. The bleaching was done with a solution containing 10% acetic acid and 20% methanol in distilled water.

## 2.5 *Trypsin inhibition assay*

The trypsin inhibition assay was performed using the method described by Xavier-Filho et al. (1989). The inhibitory activity was performed by enzyme assay with porcine trypsin (Sigma-Aldrich) and BAPNA (benzoyl-arginine-paranitroanilide) as the substrate. The pre-incubation medium of 10 µL of trypsin 0.3 mg/ml (determined from the volume of the Potassium better enzymatic activity curve), 120 µL of 2.5 mM HCl, aliquots of 370 µL Tris-HCl 0.05 M pH 7.5 buffer and 100 µL of the samples were added in an ice bath. In the negative control tubes, 100 µL of buffer was added instead of samples.

The preincubation took place for 10 minutes at 37°C. Thereafter 500 µL of the chromogenic substrate BAPNA was added to the test tubes, and continued to incubate for another 15 minutes under the same temperature conditions. The reaction was stopped by adding 120 µL of acetic acid 30% (v/v), followed by the addition of 500 µL of BAPNA in the blank. Hydrolysis of the substrate by the enzyme was photometrically monitored at 410 nm. All assays were performed in triplicate and carried out with the respective negative controls, in duplicate.

## 2.6 Hemagglutination activity

The hemagglutinating activity of the different protein extracts were determined by two-fold serial dilutions with 0.15 M NaCl in 100  $\mu$ L of each dilution, and an equal volume of a suspension of rabbit erythrocytes was added to 2% in NaCl 0.15 M according to Correia & Coelho (1995). The tubes were then incubated in an incubator at 37°C for 30 minutes and then allowed to stand at 25°C for 24 hours.

## 2.7 Statistical analysis

The experimental design was completely randomized. Physical characteristics were measured by individually evaluating 60 fruits per genotype (each fruit was considered a replication). For physicochemical evaluations, three replicates comprised of 20 fruits each were used.

Data were subjected to variance analysis by F-test and the means between genotypes were compared by the Scott Knott test at up to 5% probability. We conducted principal component analysis (PCA) to identify features in the differentiation between genotypes, and cluster analysis by Ward method to group the genotypes that may present similarity in relation to the studied characteristics. SAS 9.22 software (2010) was used for analysis.

# 3. Results and discussion

## 3.1 Physical characterization of the fruit

The fresh weight of the fruit pulp, almond, and fruit yield differed significantly ( $p \leq 0.05$ ) between genotypes (Table 1). The dimensions of length and diameter of macaiba tree fruits varied from 42.62 to 46.53 and 37.84 mm to 42.07 mm with an overall mean of 44.27 and 40.19 mm, respectively, higher than those reported by Ciconini et al. (2013) for *Acrocomia aculeata* fruits from the Cerrado and Pantanal of the Mato Grosso do Sul biomass, which reported values of 30.9 to 38.6 mm in length and 29.6 to 36.1 mm in diameter. Fresh weights of fruit, pulp, and almond showed mean values of 38.8, 17.84, and 2.73 g with a minimum of 31.67, 13.29, and 1.91 g and maximum of 44.08, 22.27, and 3.55 g, respectively,

being higher than those reported by Ramos et al. (2008) and Manfio et al. (2011), also for *Acrocomia aculeata* fruits.

Biometric assessment, fresh mass, and yield analysis of fruits constitute a valuable tool for characterizing quality, in addition to directly interfering in industrial processing, providing insight into the genetic variability and the influence of edaphoclimatic factors (Paliyath et al., 2008). Whereas the percentage of pulp is directly proportional to the yield of fruit, it was found that the genotypes with the highest yield of fruit also had the highest percentage of pulp (G2 and G7). According to Figure 1, it was found that the shell, pulp, endocarp, and almond portions differ significantly for fruits of the evaluated genotypes, and that the contribution sequence for fresh fruit mass was mainly represented by the pulp (37.78 to 50.82%), followed by the endocarp (22.63 to 30.24%), shell (18.78 to 23.84%), and almond (2.70 to 8.77%).

The yield of the fruit for food purposes was represented by the pulp fraction + almond. However, it is worth noting that this oily palm tree has great versatility and agro-industrial potential. The peel, pulp and almond can also be used for extracting bioactive compounds, particularly carotenoids, and oils for use in pharmaceuticals, foods, and the cosmetics industry (Ramos et al., 2008).

According to Lopes et al. (2013), macaiba also turned out to be a potential crop for use in biodiesel production due to its high efficiency, easy adaptation to different ecosystems, low cost and good evaluation of its co-products. Waste resulting from its oil extraction can be used in animal feed and as an effective filter in the adsorption of paint remains in chemical industrial wastewater (Vieira et al., 2012). Another important by-product is the endocarp, which shows high energy density and thereby may be used as solid biofuel (Evaristo et al., 2016). Therefore, the use of this fruit can be considered complete in view of the broad application spectrum throughout its supply chain.

With regard to color, significant differences were observed for all parameters  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $C^*$ , and  $^{\circ}H$  ( $p \leq 0.05$ ) for the peel and pulp among genotypes (Table 2). The brightness ranged from 36.15 to 41.28 in the peel and from 50.01 to 54.62 in the pulp. The parameter  $a^*$  showed similar mean values among the analyzed genotypes, both in the peel (6.17) as in the pulp (6.6), highlighting G5 (9.25) and G7 (10.57), respectively, as being more distinct from the green color. Regarding the parameter  $b^*$ , the highest values found were for G4 for the peel (41.3) and G7 for pulp (59.19), indicating proximity to the color yellow. Regarding the

Chroma ( $C^*$ ) corresponding to the intensity and color saturation, the pulp colors were found to be more vivid (51.69 to 60.16) compared to the peel that ranged from 32.17 to 41.73 .

The mean value for the Hue angle was 80.18 and 83.37 in the peel and pulp, respectively, which was close to 90, showing a yellowy-orangish color of the macaiba fruits, mainly in the pulp. This is an indication of the involvement of carotenoids in this pigmentation and corroborates the data pointed out in the description of the fruit. Considering the color attribute, G4 had the greatest values for the parameters  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  and  $C^*$  (peel) and  $L^*$  and  $^{\circ}H$  (pulp), which can be understood as the more attractive genotype due to its higher and lighter intensity of the yellow color.

Considering the color attribute, G4 presents the highest values for the parameters  $L^*$ ,  $b^*$  and  $C^*$  (skin) and  $L^*$  and  $^{\circ}H$  (pulp), which can be an indicator of a more attractive genotype due to its higher brightness and intensity of yellow color. The values of  $L^*$ ,  $a^*$ , and  $b^*$  were higher than those reported by Oliveira, Clement, & Costa (2014) for the pulp of *A. aculeata*. Sanjinez-Argandoña & Chuba (2011) also identified the predominance of yellow color in macaiba pulp from Sao Paulo and Mato Grosso do Sul, with L parameters (70.76 to 77.08) and  $a^*$  (35.39 to 30.74) higher and  $b^*$  (51.95 to 63.26) similar to those found in this study.

The evaluation of the fruit's appearance revealed the presence of a prominent petiole with remaining bracts in the fruit apex, which was uneven in shape (round, pear-shaped to conical), with a woody and hard epicarp ( $\pm 1$  mm), but brittle with lines and healed cracks across the skin of the fruit, and a stony endocarp containing one or more almonds (endosperm) with an internal white color. The skin color varies from green to yellowy/orangish with slight gloss and the flesh was characterized by displaying a moderately bright, gold yellow color, edible fibrous mucilaginous texture, very attached to the core and slightly adhered to the epicarp (Tables 2 and 3).

### *3.2 Physicochemical characterization of the pulp and almond*

Regarding the physicochemical characteristics of the macaiba fruit pulp (Table 3), it was found that genotypes 1, 3, 4 and 6 showed the highest moisture levels which significantly differed from other genotypes with an average of 45.84 g/100g, which were classified as fruits of intermediate moisture.

However, the fruit exhibited high water activity with mean values of 0.97. The pH of the pulp ranged from 4.63 to 6.16 with genotypes 6 and 7 differing ( $p \leq 0.05$ ) from the others

by having the lowest values. Titratable acidity differed significantly ( $p \leq 0.05$ ) among genotypes, with a mean value of  $0.07 \text{ g.100g}^{-1}$  citric acid, with G6 and G7 having the highest values with  $0.15$  and  $0.11 \text{ g.100g}^{-1}$  of citric acid, respectively. Therefore, the pulp of macaiba fruit can be considered a slightly acidic product, since it has a  $\text{pH} \geq 4.5$ .

The ash, lipids, and carbohydrates differed ( $p \leq 0.05$ ) among genotypes. However, with regard to protein, with a mean of  $1.91 \text{ g.100g}^{-1}$ , only G4 differed from the others, with the lowest value ( $1.64 \text{ g. 100g}^{-1}$ ), and the highest content was found for G7 ( $2.07 \text{ g. 100g}^{-1}$ ). The fixed mineral residue averaged  $1.24 \text{ g. 100g}^{-1}$  with a minimum of  $0.92 \text{ g.100g}^{-1}$  (G7) and a maximum of  $1.80 \text{ g.100 g}^{-1}$  (G6). The highest lipid content was observed in G2 ( $23.02 \text{ g.100g}^{-1}$ ) and the lowest in G4 ( $8.94 \text{ g.100g}^{-1}$ ) averaging  $15.07 \text{ g. 100g}^{-1}$ .

Silva et al. (2008) reported similar values for lipids (14.93%) and carbohydrates (35.06%), and close for ash (1.78%) and protein (2.76%) in macaiba fruit pulp. In macaiba pulp flour, Kopper et al. (2009) found 39.66% carbohydrates, 3.53% protein, 3.85% ash, 25.19% fibers and 27.78% lipids expressed on dry basis. Similar results for moisture (44.1%), carbohydrates (36.4%), and lipids (16.6%) were reported by Rocha et al. (2013) in *A. aculeata* fruits. The water activity levels, ash, proteins, and lipids were similar to those reported by Oliveira et al. (2013) in *A. aculeata* pulp.

With respect to carbohydrates, a mean content of  $35.94 \text{ g.100g}^{-1}$  was found, with the lowest value of  $28.75 \text{ g.100g}^{-1}$  (G1) and up to  $44.18 \text{ g.100g}^{-1}$  (G5), in which fiber can be included (Coimbra & Jorge, 2011). According to these authors, due to the high fiber content in the almond (12.49%) and pulp (20.26%) of *A. aculeata*, the fruit from this palm tree is a potential source in the production of baked goods to improve their texture, flavor, and nutritional value. Silva et al. (2009) suggest that the polysaccharide galactoglucomanose present in *A. aculeata* fruit is potentially applicable as dietary fiber, similar to other polysaccharides of the same class (Ebringerová et al., 2008) and as a component of nutritional supplements or pharmaceuticals with immunopotentiating properties, justifying the use of this plant as a source of food and in traditional medicine, which should be investigated in *A. intumescens* fruit.

According to the centesimal composition and considering the Atwater conversion factors of 4; 4 and 9 kcal/g for protein, carbohydrate, and fat, respectively (Watt & Merrill, 1963), the mean calorific value of fresh pulp among genotypes was found to be 287 kcal/100g. These results are similar to those reported by Rocha et al. (2013), which found

296.9 kcal/100g and superior to those described by Ramos et al. (2008) that reported 167.67 kcal/100g of pulp, both in fresh samples of *A. aculeata*.

Therefore, macaiba fruit pulp can be considered a source of lipids, carbohydrates, and energy in agreement with Bora & Rocha (2004) for *Acrocomia intumescens* fruit with 34.6% lipids and 43.5% carbohydrates in dry basis.

In relation to the almond (Table 4), it was found that the water activity and the pH did not differ among genotypes, which averaged 0.97 and 5.25, respectively. However, the other parameters differed ( $p \leq 0.05$ ) among genotypes. Titratable acidity averaged 0.08 g.100g<sup>-1</sup> citric acid, with the highest levels for G7 (with 0.10 g.100g<sup>-1</sup> citric acid). Moisture average content ranged from 16.57 (G5) to 24.50 g.100g<sup>-1</sup> (G4) with an average of 19.3 g.100g<sup>-1</sup>. The content of lipids, proteins, and carbohydrates without humidity were higher in the almond than in the pulp.

The ash content varied from 1.04 (G1) to 1.75 g.100g<sup>-1</sup> (G7) with mean values of 1.42 g.100g<sup>-1</sup>. The protein had a mean of 5.58 g.100g<sup>-1</sup> with a minimum of 3.60 g.100g<sup>-1</sup> (G3) and a maximum of 8.76 g.100g<sup>-1</sup> (G7), and the soluble protein content ranged from 0.81 mg.mL<sup>-1</sup> (G4) to 1.96 mg.mL<sup>-1</sup> (G3). The highest content of lipids was found in G1 (31.05 g.100g<sup>-1</sup>), which did not differ from G4 (28.86 g.100g<sup>-1</sup>) and the lowest content was for G4 (19.26 g.100g<sup>-1</sup>), with an average of 25 g.100g<sup>-1</sup>. Considering carbohydrate content, a mean value of 48.69 g.100g<sup>-1</sup> was found, and G1 and G6 had minimum values. In turn, G2, G3, G4, G5, and G7, which did not differ among them, presented maximum values of carbohydrates. For ashes (1.29 to 1.54%) and protein (5.66 to 6.7%) levels, similar results were found in the almonds of *A. aculeata*, as reported by Machado et al. (2015).

The results for ash, protein, and lipid contents in the almond were inferior to *A. aculeata* fruit from Minas Gerais (Dessimoni-Pinto et al., 2010) and those reported by Coimbra & George (2011) for fruits from São Paulo, which can be attributed to the genetic differences, harvest site and edaphoclimatic factors (Ferrão et al., 2013). Bora & Rocha reported 49.2% fat, 8.5% protein, 3.1% ash, 30.4% fiber, and 4.1% carbohydrates expressed in a dry state for *A. intumescens* almonds. Silva et al. (2015) found similar results to these reported herein, except for only the protein content.

The estimated mean energy content of almonds as calculated based on the chemical composition and the Atwater conversion factors was 442.08 kcal.100g<sup>-1</sup> on a fresh weight basis. Dessimoni-Pinto et al. (2010) reported higher values (524.19 kcal.100g<sup>-1</sup>) in *A. aculeata*

almonds. However, the almonds herein showed a high energy density, given the abundant contents of glucose and lipid.

The uneven ripening of the clusters promotes uneven abscission, a natural, physiological, and biochemical process through which various organs (flowers and fruits) come off the plant and fall (Chitarra & Chitarra, 2005). It is therefore proposed that the macaiba fruit has this feature, which may also compromise the quality of the harvested fruit.

It is worth noting that there is no research related to post-harvest physiology of this fruit, and although the almond presents low moisture content and is covered with a hard core and the pulp is covered by a firm shell, it is brittle when ripe, thereby allowing the exposure of its mesocarp to chemical and microbial deterioration. In this context, considering the contribution of lipids and carbohydrates, low acidity, and high water activity, the fruits may be subject to browning, Maillard reaction and rancidity affecting the oil quality (Domínguez et al., 2014; Silva & Jorge, 2014).

### 3.3 *Mineral profile of the pulp and almond*

The mineral profile (Table 5) revealed a spectrum composed of twelve minerals in the pulp and thirteen in the almond. Potassium (K) was the major mineral in the pulp, representing 81.24% of the ashes, followed by calcium (Ca) (8.43%), chlorine (Cl) (4.08%) magnesium (Mg) (3.98%), and phosphorus (P) (2.14%). Iron (Fe), silicon (Si), zinc (Zn), manganese (Mn), rubidium (Rb), copper (Cu), sulfur (S) and strontium (Sr) were found in incipient levels. The most abundant mineral content was found in almonds, with K (43.74%), P (20.32%), Fe (15.82%), Ca (10.70%), and Mg (5.68%). Among the genotypes, G1 was characterized by the lowest levels of K in the pulp (78.24%) and almond (35.68%). However, for this genotype the highest percentages of Ca (11.54%) and Mg (5.31%) were found in the pulp and Fe (29.27%) in the almond.

These results are consistent with those cited by Oliveira (2006), evaluating the mineral content by energy dispersive X-ray fluorescence of Brazilian tropical fruits, pointing out that the macaiba pulp is a rich source of K and Ca, in addition to presenting Mn, Fe, Cu, Zn and Br. Oliveira et al. (2013) also reported high levels of K (649.33 mg.100g<sup>-1</sup>), Mg (122 mg.100g<sup>-1</sup>) and Ca (101.33 mg.100g<sup>-1</sup>) in *A. aculeata* pulp and detected trace amounts of Fe (120.66 µg.100g<sup>-1</sup>).

Ramos et al. (2008) reported that among the mineral elements in macaiba pulp, potassium ( $766.37 \text{ mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$ ) showed the highest content, followed by calcium ( $61.96 \text{ mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$ ), and phosphorus ( $36.70 \text{ mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$ ), as well as Na, Fe, Mn, Zn, and Cu in the pulp. This information is important, since currently there is no mineral quantification studies of almonds.

The high macro mineral content of potassium, calcium, magnesium, and phosphorus present both in the pulp and almond point to the nutritional benefits of this palm tree, noting that these elements are involved in various physiological functions such as energy production, muscle contraction and nerve activity (González-Molina et al., 2010). Sodium was not detected in the evaluated samples, which is a relevant property, since excessive sodium intake is one of the main risk factors for high blood pressure (Zhao et al., 2011) and is also associated with stroke, left ventricular hypertrophy and renal diseases (He & MacGregor, 2010).

### 3.4 *Principal component analysis*

The results of principal component analysis (PCA) are shown in Tables 6, 7, and 8 (scores) and Figure 2 (Eigenvectors circle) of the variables related to the physical, physicochemical, and mineral profile of the pulp and almond of macaiba fruit. The differences observed among genotypes for the 17 analyzed physical variables resulted in the formation of two principal components that satisfactorily explain the variability between genotypes, reaching approximately 77% of cumulative variance (Table 6). The PC1 explained 52.43% of the variance, which was mainly associated with the coloration variables, both for the peel (L,  $a^*$ ,  $b^*$ , C, °H) and pulp ( $a^*$ ,  $b^*$ , C, °H). On the other hand, the PC2 (25.09%) was associated with the biometric variables and L of the pulp (Figure 2A). However, all variables, with exception to pulp yield, explained the variability between genotypes.

For the physicochemical characterization of the peel and pulp (Table 7), two principal components explained the variability among genotypes reaching a cumulative variance of 70.08%, thus the PC1 corresponds to 44.64% and PC2 to 25.44% (Figure 2B). A greater number of variables were associated with the PC1: water activity, pH, proteins, lipids, and carbohydrates in the pulp; water activity, titratable acidity, ash, and protein in the almond. Only pH, lipids, and carbohydrates in the almond were associated with PC2. In turn, moisture,



titratable acidity, and ash in the pulp and moisture in the almond were not associated with any of the two principal components.

Regarding the profile of minerals, three principal components were formed to explain the variability among genotypes of macaiba fruits reaching a cumulative variance of 70.41% (Table 8). The percentage of the accumulated variance was 32.58%, 20.34%, and 17.49% for the principal components 1, 2, and 3, respectively (Figure 2C).

The main minerals related to PC1 were K, Fe, Zn, Rb, Cu (almond), K, Ca, Rb and Cu (pulp). The largest contribution to the PC2 corresponded to Fe, Mn, and Sr (almond) and Zn and Mn (pulp), and PC3 had P, Si, and S (almond) and Sr (pulp). Since Ca and Mg (almond) and Fe, P, Mg, Si, and S (pulp) were not present in any of the three principal components, it can be inferred that such elements have little effect on the variability between genotypes.

Based on the scores of the two principal components of both the physical and physicochemical characterization of the macaiba fruit, it was possible to form two groups, which were constituted by G5, G6, and G7 genotypes in group I, and G1, G2, G3, and G4 in group II (Figure 2A and 2B). The group I was holder of the largest protein and ash content in the pulp and almond and higher values for  $a^*$  (peel) and  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $C^*$  (pulp). This similarity in group II was primarily attributed to higher brightness (L) values,  $b^*$ ,  $C^*$ ,  $^{\circ}H$  of the peel, brightness and  $^{\circ}H$  of the pulp, length, diameter, fresh mass of the almond, and humidity and lipids, and lower contents of titratable acidity and protein, both in the pulp and almond. Taking into account that G1, G2, G3 and G4 are from natural growth sources in the forest of Pau Ferro State Park, a remnant of the Atlantic Forest biome, and G5, G6, and G7 are from farms close to the park, these similarities can be attributed to the influence of edaphoclimatic factors of three different collection points.

The Cluster analysis for the mineral profile resulted in the formation of two groups (Figure 2C). In the composition of Group I are G2, G3, G4, G5, G6 and G7, mainly characterized by the high concentration of K both in the pulp and almond. According to Leterme et al. (2006), the mineral composition is dependent on the fertility conditions of each region, which may have influenced the results herein. The G1 genotype separately formed Group II due to its higher contents of Ca, Mg, Rb, Cu, and S (pulp) and Fe, Zn, Rb, Cu, and Pb (almond), and lower concentration of K (pulp) K, P, Ca, Mg and S (almond).

Figure 3 shows the dendrogram of dissimilarity for macaiba genotypes by Ward's method, which considers the analysis of variance to evaluate the distances between the different groups. The dissimilarity among genotypes based on the physical characteristics of

the pulp and almond shows a spatial distribution between them, which is different from that found for the physicochemical characteristics, while grouping the same genotypes in the groups I and II.

In Group I there was a greater dissimilarity to G7, and the same in Group II for G2, demonstrated by achieving greater Euclidean distance. Based on these variables, G1 and G3 are the genotypes with greater similarity (Figure 3A). Thus, it was observed that the dendrogram for the two groups formed from the scores of physical and physicochemical variables (Figure 3B) shows the proximity between the G1, G2, and G3 genotypes, and G4, being the most dissimilar (distance Euclidean) in Group II (Figure 3B). On the other hand, G5 and G7 genotypes in Group I had higher similarity when compared to G6.

The arrangement of macaiba genotypes based on mineral profile of the pulp and almond (Figure 3C) showed that G2 and G3 had higher similarity, and G4 was the most dissimilar genotype within group I. Only G1 in group II was the genotype that had the largest number of variables that differed compared to other genotypes.

The dissimilarity through the Euclidean distance has been a recurring method in exploratory studies for the selection of homogeneous groups or individuals. The number of groups formed from the physical, physicochemical and mineral profile of macaiba fruit (pulp and almond) may be related to genetic variability. However, the location of the genotype should be the most important factor in this dissimilarity. Santos et al. (2015) reported that the Euclidean distance was efficient in distinguishing 18 cupuassu clones based on physical characteristics, and inferred that the variability could be attributed to an alogamic reproductive pattern that allows the transit and different combinations of genetic load. In this context, the genetic diversity for *A. aculeata* was attributed to variations in physical characteristics and oil yield, especially the percentage of oil in the mesocarp and mass of the whole fruit, which accounted for 64.58% of the difference between genotypes (Conceição et al., 2015).

In the case of *Acrocomia intumescens*, many phenological aspects are still lacking in studies, especially those that reveal the internal factors that govern the growth and production of oil among other important aspects for its genetic improvement and domestication given the potential of these species as an oil producer, as already recognized for *Acrocomia aculeata* (Pires et al., 2013).

### 3.5 Electrophoretic profile of the almond proteins

The electrophoretic profiles (Figure 4) of macaiba almonds exhibited a similar pattern among the genotypes with protein bands above 120 kDa and lower than 26 kDa, with the bands having values close to 46 kDa being the most significant. However, differences in some genotypes for diffuse bands below 38 kDa were also identified. As genotypes 1, 3, and 7 showed larger soluble protein content (1.89 to 1.96 mg.mL<sup>-1</sup>) while genotypes 2, 4, 5, and 6 differed ( $p \leq 0.05$ ) from others (Table 4) by having lower means of soluble protein, especially G4 (0.81 mg.mL<sup>-1</sup>), which may possibly explain the observed variations in the SDS/PAGE.

These results are consistent to those reported by Hiane et al. (2006) who found that the major proteins isolated from macaiba almonds (*A. aculeata*) were globulins (53.5%) and glutelins (40.0%) with molecular weights greater than 100 kDa and lower than 20 kDa in the globulin fraction. Since the proteins of almonds were extracted with an alkaline solution, the SDS-PAGE indicates that the largest protein fraction is probably represented by the globulins.

### 3.6 Activities of hemagglutination and inhibition of trypsin

Extracts of all genotypes of macaiba almonds were unable to agglutinate rabbit erythrocytes and showed no inhibitory activity of trypsin, thus extending the possibility of use in human food, since it seems to not have lectins and protease inhibitors; anti-nutritional factors which can result in various detrimental effects such as hemagglutination, vomiting, edema and pancreatic hypertrophy in humans (Roy, Boye, & Simpson, 2010). The extracted globulin and glutelin from *A. aculeata* almonds showed similar trypsin inhibitors, however also agglutinated human erythrocytes at high levels (Hiane et al., 2006).

Nutritional deficiencies are one of the most serious global problems and represent a challenge for public health in Brazil. Global strategy is trying to change eating patterns, focusing on recovering the practice of a diet related to the consumption of regional foods of high nutritional value (Teixeira et al., 2014). In this context, the *Acrocomia intumescens* species, native and endemic to Northeastern Brazil, has a high feasibility as food and for industrial exploitation, however it is little used by people who do not know its nutritional and functional attributes.

#### 4. Conclusions

Macaiba fruit showed a high genetic variability and yield higher than 50%, highlighting its strong potential for agroindustrial use. The pulp and almond can be considered important sources of lipids, carbohydrates, and minerals, particularly K, Fe, P, and Ca. Therefore, this fruit can substantially contribute to the supply of nutrients, dietary enrichment, and adding value to the Brazilian Atlantic Forest natural resources through its consumption as fresh fruit or processing. Based on the scores of the principal components of the physical and physicochemical characterization and mineral profile of the macaiba fruit, it was possible to form two groups. Furthermore, the almonds are rich in globulin and have a nutritional advantage in terms of digestibility, showing no trypsin inhibitors and/or hemagglutinating activity. However, more research is needed on breeding, production technology, post-harvest physiology, the profiles of vitamins and phenolics, prebiotic activity, antioxidant capacity, bioavailability of its nutrients, and technological potential.

#### References

- AOAC. (2000). Association of Official Analytical Chemists. *Official Methods of Analysis*. Washington D.C.: AOAC (1018 pp.).
- Basso, R. C., Silva, C. A. S. da, Sousa, C. de O., Meirelles, A. J. de A., Batista, E. A. C. (2013). LLE experimental data, thermodynamic modeling and sensitivity analysis in the ethyl biodiesel from macauba pulp oil settling step. *Bioresource Technology*, 131, 468–475. doi:10.1016/j.biortech.2012.12.190
- Beskow, G. T., Hoffmann, J. F., Teixeira, A. M., Fachinello, J. C., Chaves, F. C., Rombaldi, C. V. (2015). Bioactive and yield potential of jelly palms (*Butia odorata* Barb. Rodr.). *Food Chemistry*, 172, 699–704. doi:10.1016/j.foodchem.2014.09.111
- Bora, P. S., & Rocha, R. V. M. (2004). Macaiba Palm: Fatty and amino acids composition of fruits. *Ciencia y Tecnologia. Alimentaria*, 4(3), 158-162.
- Bradford, M. M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantification of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein–dye binding. *Analytical Biochemistry*, 72, 248–254.
- BRASIL (2016). Ministério do Meio Ambiente. Biomas. Retrieved February 15, 2016 from <http://www.mma.gov.br/biomas>.
- Chitarra, M. I. F., & Chitarra, A. B. (2005). *Pós-colheita de frutos e hortaliças: fisiologia e manuseio* (2a ed.). Lavras: UFLA.
- Ciconini, G., Favaro, S. P., Roscoe, R., Miranda, C. H. B., Tapeti, C. F., Miyahira, M. A. M., Naka, M. H. (2013). Biometry and oil contents of *Acrocomia aculeata* fruits from the Cerrados and Pantanal biomes in Mato Grosso do Sul, Brazil. *Industrial Crops and Products*, 45, 208–214. doi:10.1016/j.indcrop.2012.12.008
- Coimbra, M.C., & Jorge, N. (2012). Fatty acids and bioactive compounds of the pulps and kernels of Brazilian palm species, guariroba (*Syagrus oleraceas*), jerivá (*Syagrus*

- romanzoffiana) and macaúba (*Acrocomia aculeata*). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 92, 679–684.
- Coimbra, M. C., & Jorge, N. (2011). Proximate composition of guariroba (*Syagrus oleracea*), jerivá (*Syagrus romanzoffiana*) and macaúba (*Acrocomia aculeata*) palm fruits. *Food Research International*, 44(7), 2139–2142. doi:10.1016/j.foodres.2011.03.032
- Conceição, L. D. H. C. S., Antoniassi, R., Junqueira, N. T. V., Braga, M. F., de Faria-Machado, A. F., Rogério, J. B., ... Bizzo, H. R. (2015). Genetic diversity of macauba from natural populations of Brazil. *BMC Research Notes*, 8(1), 406. <http://doi.org/10.1186/s13104-015-1335-1>
- Correia, M. T. S., & Coelho, L. C. B. B. (1995). Purification of a glucose/mannose specific lectin, Isoform 1, from seeds of *Cratylia mollis* Mart (camaratu bean). *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 55, 261–273.
- Cunha Neto, J., Rabelo, M. C., Bertini, C. H. C. de M., Marques, G. V., Miranda, M. R. A. de. (2012). Caracterização agrônômica e potencial antioxidante de frutos de clones de aceroleira. *Revista Ciência Agronômica*, 43(4), 713–721. doi:10.1590/S1806-66902012000400013
- Dessimoni-Pinto, N. A. V., Silva, V. M., Batista, A. G., Vieira, G., Souza, C. R., Dumont, P. V., Santos, G. K. M. (2010). Características físico-químicas da amêndoa de macauba e seu aproveitamento na elaboração de barras de cereais. *Alimentos e Nutrição*, 21, 77–84.
- Domínguez, R., Gómez, M., Fonseca, S., Lorenzo, J. M. (2014). Effect of different cooking methods on lipid oxidation and formation of volatile compounds in foal meat. *Meat Science*, 97(2), 223–230
- Ebringerová, A., Hromádková, Z., Hříbalová, V., Xu, C., Holmbom, B., Sundberg, A., Willfor, S. (2008). Norway spruce galactoglucomannans exhibiting immunomodulating and radical-scavenging activities. *International Journal of Biological Macromolecules*, 42, 1–5.
- Evaristo, A. B., Grossi, J. A. S., Carneiro, A. de C. O., Pimentel, L. D., Motoike, S. Y., Kuki, K. N. (2016). Actual and putative potentials of macauba palm as feedstock for solid biofuel production from residues. *Biomass and Bioenergy*, 85, 18–24. <http://doi.org/10.1016/j.biombioe.2015.11.024>
- Ferrão, T. S., Ferreira, D. F., Flores, D. W., Bernardi, G., Link, D., Barin, J. S., Wagner, R. (2013). Evaluation of composition and quality parameters of jelly palm (*Butia odorata*) fruits from different regions of Southern Brazil. *Food Research International*, 54(1), 57–62. <http://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.06.002>
- Folch, J., Less, M., Stanley, S. (1957). A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *Journal of Biological Chemistry*, 226, 497–509.
- González-Molina, E., Domínguez-Perles, R., Moreno, D. A., & García-Viguera, C. (2010). Natural bioactive compounds of Citrus limon for food and health. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 51(2), 327–45. <http://doi.org/10.1016/j.jpba.2009.07.027>
- He, F. J., & MacGregor, G. A. (2010). Reducing population salt intake worldwide: from evidence to implementation. *Prog Cardiovasc Dis.*, 52(5), 363–82.
- Hiane, P. A., Baldasso, P. A., Marangoni, S., Macedo, M. L. R. (2006). Chemical and nutritional evaluation of kernels of bocaiuva, *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lood. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 26, 683–689.
- Iha, O. K., Alves, F. C. S. C., Suarez, P. A. Z., de Oliveira, M. B. F., Meneghetti, S. M. P., Santos, B. P. T., Soletti, J. I. (2014). Physicochemical properties of *Syagrus coronata*

- and *Acrocomia aculeata* oils for biofuel production. *Industrial Crops and Products*, 62, 318–322. doi:10.1016/j.indcrop.2014.09.003
- Instituto Adolfo Lutz (2008). *Normas analíticas, métodos químicos e físicos para análise de alimentos* (4th ed.). São Paulo: Instituto Adolfo Lutz (1020 pp.).
- Kopper, A. C., Saravia, A. P. K., Ribani, R. H., Lorenzi, G. M. A. C. (2009). Utilização tecnológica da farinha de bocaiuva na elaboração de biscoitos tipo cookie. *Alimentos e Nutrição*, 20(3), 463–469.
- Laemmli, U. K. (1970). Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of bacteriophage T4. *Nature*, 227, 680–685.
- Lanes, E. C. M., Motoike, S. Y., Kuki, K. N., Nick, C., Freitas, R. D. (2015). Molecular Characterization and Population Structure of the Macaw Palm, *Acrocomia aculeata* (Arecaceae), *Ex Situ* Germplasm Collection Using Microsatellites Markers. *Journal of Heredity*, 106(1), 102–112.
- Leterme, P., Buldgen, A., Estrada, F., Londoño, A. M. (2006). Mineral content of tropical fruits and unconventional foods of the Andes and the rain forest of Colombia. *Food Chemistry*, 95(4), 644–652.
- Lima, C. ., Cunico, M. ., Miyazaki, C. M. ., Miguel, O., Côcco, L. ., Yamamoto, C., Miguel, M. . (2012). Conteúdo polifenólico e atividade antioxidante dos frutos da palmeira Juçara (*Euterpe edulis* Martius). *Revista Brasileira de Plantas Medicinais*, 14(2), 321–326. doi:10.1590/S1516-05722012000200011
- Lopes, D. de C., Steidle Neto, A. J., Mendes, A. A., Pereira, D. T. V. (2013). Economic feasibility of biodiesel production from Macauba in Brazil. *Energy Economics*, 40, 819–824. doi:10.1016/j.eneco.2013.10.003
- Machado, W., Guimarães, M. F., Lira, F. F., Santos, J. V. F., Takahashi, L. S. A., Leal, A. C., Coelho, G. T. C. P. (2015). Evaluation of two fruit ecotypes (totai and sclerocarpa) of macaúba (*Acrocomia aculeata*). *Industrial Crops and Products*, 63, 287–293. <http://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.11.002>
- Manfio, C. E., Motoike, S. Y., Santos, C. E. M., Pimentel, L. D., Queiroz, V., Sato, A.Y., (2011). Repetibilidade em características biométricas do fruto de macauba. *Ciência Rural*, 41, 70–76.
- Minolta, K. (1998). *Precise color communication: color control from perception to instrumentation*, Osaka, Japan (59pp).
- Nascimento, V. T., Moura, N. P., Vasconcelos, M. A. S., Maciel, M. I. S., Albuquerque, U. P. (2011). Chemical characterization of native wild plants of dry seasonal forests of the semi-arid region of northeastern Brazil. *Food Research International*, 44, 2112–2119.
- Oliveira, D. M., Clemente, E., da Costa, J. M. C. (2014). Bioactive Compounds and Physicochemical Parameters of Grugru Palm (*Acrocomia aculeata*) from Brazil: Pulp and Powder. *Food Science and Technology Research*, 20(1), 7–12. <http://doi.org/10.3136/fstr.20.7>
- Oliveira, D.M., Costa, J.P., Clemente, E., da Costa, J.M.C. (2013). Characterization of Grugru palm pulp for food applications. *Journal of Food Science and Engineering*. 3, 107–112.
- Oliveira, A. L. de, Almeida, E. de, Silva, F. B. R. da, Nascimento Filho, V. F. (2006). Elemental contents in exotic Brazilian tropical fruits evaluated by energy dispersive X-ray fluorescence. *Scientia Agricola*, 63(1), 82–84. <http://doi.org/10.1590/S0103-90162006000100013>
- Paliyath, G., Murr, D.P., Handa, A.K., Lurie, S. (2008). *Postharvest biology and technology of fruit, vegetables, and flowers*. Ames: Wiley-Blackwell (497 pp).
- Pires, T. P., dos Santos Souza, E., Kuki, K. N., Motoike, S. Y. (2013). Ecophysiological traits of the macaw palm: A contribution towards the domestication of a novel oil crop. *Industrial Crops and Products*, 44, 200–210.

- <http://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.09.029>
- Ramos, M. I. L., Ramos Filho, M. M., Hiane, P. A., Braga Neto, J. A., Siqueira, E. M. A. (2008). Qualidade nutricional da polpa de bocaiuva *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 28, 90–94.
- Ramos, M. I., Siqueira, E. A., Isomura, C. C., Barbosa, A. M. J., Arruda, S. F. (2007). Bocaiuva (*Acrocomia aculeata* (Jacq) Lodd) improved Vitamin A status in rats. *Journal Agricultural and Food Chemistry*, 55(8), 3186–3190.
- Rocha, M. S., Figueiredo, R. W. de, Araújo, M. A. da M., Moreira-Araújo, R. S. dos R. (2013). Caracterização físico-química e atividade antioxidante (in vitro) de frutos do cerrado Piauiense. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 35(4), 933–941. <http://doi.org/10.1590/S0100-29452013000400003>
- Roy, F., Boye, J. I., Simpson, B. K. (2010). Bioactive proteins and peptides in pulse crops: Pea, chickpea and lentil. *Food Research International*, 43, 432–442.
- Sanjinez-Argandoña, E. J., Chuba, C. A. M. (2011). Caracterização biométrica, física e química de frutos da palmeira bocaiuva *Acrocomia aculeata* (Jacq) Lodd. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 33(3), 1023–1028.
- Santos, V. C., Martins Filho, S., Alves, R. M., Resende, M. D. V., Silva, F. F (2015). Genetic divergence among cupuaçu accessions by multiscale bootstrap resampling. *Bragantia*, 74(2), 169–175.
- SAS (2010). INC, SAS INSTITUTE. SAS/STAT® 9.22 User's Guide.
- Silva, R. B., Silva-Júnior, E. V, Rodrigues, L. C., Andrade, L. H. C., Silva, S. I. DA, Harand, W., Oliveira, A. F. M. (2015). A comparative study of nutritional composition and potential use of some underutilized tropical fruits of Arecaceae. *Anais Da Academia Brasileira de Ciencias*, 87(3), 1701–1709. <http://doi.org/10.1590/0001-3765201520140166>
- Silva, A. C., Jorge, N. (2014). Influence of *Lentinus edodes* and *Agaricus blazei* extracts on the prevention of oxidation and retention of tocopherols in soybean oil in an accelerated storage test. *Journal of Food Science and Technology*, 51, 1208–1212.
- Silva, B. P., Medeiros Silva, G., Parente, J. P. (2009). Chemical properties and adjuvant activity of a galactoglucomannan from *Acrocomia aculeata*. *Carbohydrate Polymers*, 75(3), 380–384. <http://doi.org/10.1016/j.carbpol.2008.09.031>
- Silva, M. R., Lacerda, D. B. C. L., Santos, G. G., Martins, D. M. O. (2008). Caracterização química dos frutos do cerrado. *Ciência Rural*, 38(6), 1790–1793.
- Teixeira, E. M. B., Carvalho, M. R. B., Neves, V. A., Silva, M. A., Arantes-Pereira, L. (2014). Chemical characteristics and fractionation of proteins from *Moringa oleífera* Lam. leaves. Review. *Food Chemistry*, 147, 51–54.
- Valente, A., Albuquerque, T. G., Sanches-Silva, A., Costa, H. S. (2011). Ascorbic acid content in exotic fruits: A contribution to produce quality data for food composition databases. *Food Research International*, 44(7), 2237–2242. <http://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.02.012>
- Vieira, S. S., Magriots, Z. M., Santos, N. A. V., Cardoso, M. D. G., Saczk, A. A. (2012). Macauba palm (*Acrocomia aculeata*) cake from biodiesel processing: an efficient and low cost substrate for the adsorption of dyes. *Chemical Engineering Journal*, 183, 152–161.
- Wang, G., & Labarthe, D. (2011). The cost-effectiveness of interventions designed to reduce sodium intake. *Journal of Hypertension*, 29(9), 1693–9.
- Watt, B., & Merrill, A. L. (1963). *Composition of foods: raw, processed, prepared*. Washington: Consume and Food Economics Research. Divison/Agricultural Service (Agriculture Handbook, 8).

- Weber, K., & Osborn, M. (1969). The reliability of molecular weight determinations by dodecyl sulfate-polyacrylamide gel electrophoresis. *Journal of Biological Chemistry*, 214, 4406-4412.
- Webster, J. L., Dunford, E. K., Hawkes, C., Neal, B. C. (2011). Salt reduction initiatives around the world. *Journal of Hypertension*, 29(6), 1043–50.
- Xavier-Filho, J., Campos, F. A. P., Ary, M. B., Silva, C. P., Carvalho, M. M. M., Macedo, M. L. R., Lemos, F. J. A., Grant, G. (1989). Poor Correlation between the levels of proteinase inhibitors found in seeds of different cultivars of cowpea (*Vigna unguiculata*) and the resistance susceptibility to predation by *Callosobruchus maculatus*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 37(4), 1.139-1.143.
- Zhao, D., Qi, Y., Zheng, Z., Wang, Y., Zhang, X.Y., Li, H. J., Liu, H. H., Zhang, X.T., Du, J., Liu, J. (2011). Dietary factors associated with hypertension. *Nature Reviews Cardiology*, 8(8), 456-65.

















**Table 1.** Biometrics and fresh weight of fruit, pulp, and almonds of fruits of the macaiba tree. Areia-PB, 2016.

Genotype	Length (mm)	Diameter (mm)	Fruit FM	Pulp FM	Almond	Fruit
					FM	yield*
			(g)			
G1	44.93±0.20 <sup>b</sup>	39.73±0.16 <sup>b</sup>	37.94±0.40 <sup>c</sup>	14.32±0.19 <sup>d</sup>	3.32±0.08 <sup>b</sup>	46.55±0.03 <sup>d</sup>
G2	46.53±0.25 <sup>a</sup>	42.07±0.15 <sup>a</sup>	44.08±0.44 <sup>a</sup>	21.83±0.45 <sup>a</sup>	2.76±0.04 <sup>c</sup>	55.74±0.04 <sup>a</sup>
G3	42.62±0.20 <sup>c</sup>	42.00±0.27 <sup>a</sup>	40.79±0.47 <sup>b</sup>	18.41±0.42 <sup>b</sup>	3.55±0.09 <sup>a</sup>	53.78±0.04 <sup>b</sup>
G4	45.10±0.59 <sup>b</sup>	39.30±0.12 <sup>b</sup>	36.37±0.28 <sup>c</sup>	16.34±0.13 <sup>c</sup>	3.15±0.04 <sup>b</sup>	53.62±0.02 <sup>b</sup>
G5	42.62±0.27 <sup>c</sup>	38.96±0.17 <sup>b</sup>	36.96±0.34 <sup>c</sup>	18.41±0.19 <sup>b</sup>	1.91±0.04 <sup>e</sup>	54.95±0.02 <sup>a</sup>
G6	43.22±0.20 <sup>c</sup>	37.84±0.22 <sup>c</sup>	31.67±0.48 <sup>d</sup>	13.29±0.23 <sup>e</sup>	2.36±0.07 <sup>d</sup>	49.42±0.03 <sup>c</sup>
G7	44.84±0.41 <sup>b</sup>	41.41±0.45 <sup>a</sup>	43.78±0.63 <sup>a</sup>	22.27±0.43 <sup>a</sup>	2.06±0.05 <sup>e</sup>	55.52±0.03 <sup>a</sup>
Mean±SD	44.27	40.19	38.80	17.84	2.73	52.80
CV(%)	5.78	4.67	8.93	13.76	17.84	10.3225

Means followed by the same letter in a column are not significantly different by Scott Knott test ( $p \leq 0.05$ );

FM = fresh mass; \* pulp+almond; SD = Standard deviation; CV = coefficient of variation; n = 60.

**Table 2.** Coloration of the peel and fruit pulp of different genotypes of the macaiba tree. Areia-PB, 2016.

Genotype		Lightnees	a*	b*	C*	°H
Peel						
G1		40.82±0.22b	5.13±0.18e	36.80±0.19b	37.18±0.18b	82.05±0.28c
G2		38.09±0.20c	3.46±0.17f	34.98±0.49c	35.18±0.49c	84.32±0.27 <sup>a</sup>
G3		41.28±0.34b	4.82±0.46e	37.52±0.38b	37.96±0.41b	82.99±0.63b
G4		43.98±0.20a	5.65±0.25d	41.30±0.26a	41.73±0.26a	82.22±0.33c
G5		36.15±0.29d	9.25±0.23 <sup>a</sup>	34.22±0.37c	35.50±0.36c	74.80±0.39e
G6		38.78±0.39c	6.42±0.30c	37.45±0.42b	38.06±0.43b	80.28±0.42d
G7		36.55±0.37d	8.44±0.16b	31.00±0.44d	32.17±0.42d	74.60±0.39e
Mean±SD		39.38	6.17	36.65	37.30	80.18
CV(%)		5.86	33.33	25.44	24.96	3.90
Pulp						
G1		53.26±0.25b	7.43±0.26b	56.34±0.43c	56.85±0.44c	82.52±0.25c
G2		54.54±0.19a	5.37±0.25d	53.41±0.42d	53.70±0.43d	84.30±0.24b
G3		52.73±0.28b	5.74±0.37d	57.70±0.42b	58.05±0.44b	84.41±0.34b
G4		54.62±0.21a	4.18±0.22e	51.49±0.37e	51.69±0.37e	85.36±0.22 <sup>a</sup>
G5		50.85±0.28c	6.76±0.42c	56.13±0.30c	56.62±0.31c	83.11±0.40c
G6		50.01±0.26d	6.18±0.38c	57.60±0.35b	58.00±0.38b	83.98±0.35b
G7		51.33±0.24c	10.57±0.26 <sup>a</sup>	59.19±0.29a	60.16±0.31a	79.94±0.23d
Mean±SD		52.48	6.60	55.98	56.44	83.37
CV(%)		3.64	37.10	5.14	5.31	2.76

Means followed by the same letter in a column are not significantly different by Scott Knott test ( $p \leq 0.05$ ); SD = Standard deviation; CV = coefficient of variation; n = 60.

**Table 3.** Physicochemical characterization of fresh fruit pulp of different genotypes of the macaiba tree. Areia-PB, 2016.

Genotype	Aw	pH	Acidity	Moisture	Ash	Protein	Lipid	Carbohydrate
			(g. citric acid.100 g <sup>-1</sup> )			(g.100 g <sup>-1</sup> )		
<b>G1</b>	0.98±0.00 <sup>a</sup>	6.16±0.11 <sup>a</sup>	0.06±0.00 <sup>d</sup>	49.09±0.49 <sup>a</sup>	1.21±0.04 <sup>b</sup>	1.85±0.10 <sup>a</sup>	19.10±0.65 <sup>b</sup>	28.75±0.65 <sup>c</sup>
<b>G2</b>	0.98±0.00 <sup>a</sup>	6.12±0.14 <sup>a</sup>	0.03±0.00 <sup>f</sup>	44.57±0.87 <sup>b</sup>	1.15±0.03 <sup>b</sup>	1.93±0.02 <sup>a</sup>	23.02±0.27 <sup>a</sup>	29.34±1.10 <sup>c</sup>
<b>G3</b>	0.98±0.00 <sup>a</sup>	5.43±0.10 <sup>a</sup>	0.07±0.00 <sup>c</sup>	46.68±2.05 <sup>a</sup>	1.04±0.02 <sup>c</sup>	1.86±0.10 <sup>a</sup>	21.24±1.73 <sup>a</sup>	29.17±0.67 <sup>c</sup>
<b>G4</b>	0.98±0.00 <sup>a</sup>	5.41±0.19 <sup>a</sup>	0.05±0.00 <sup>e</sup>	47.01±0.57 <sup>a</sup>	1.19±0.09 <sup>b</sup>	1.64±0.04 <sup>b</sup>	8.94±0.52 <sup>c</sup>	41.23±0.38 <sup>a</sup>
<b>G5</b>	0.96±0.00 <sup>b</sup>	5.75±0.09 <sup>a</sup>	0.03±0.00 <sup>f</sup>	42.11±0.74 <sup>b</sup>	1.35±0.02 <sup>b</sup>	1.99±0.00 <sup>a</sup>	10.36±0.21 <sup>c</sup>	44.18±0.70 <sup>a</sup>
<b>G6</b>	0.96±0.00 <sup>b</sup>	4.78±0.05 <sup>b</sup>	0.15±0.01 <sup>a</sup>	48.82±1.36 <sup>a</sup>	1.80±0.09 <sup>a</sup>	2.04±0.04 <sup>a</sup>	12.16±0.46 <sup>c</sup>	35.17±0.96 <sup>b</sup>
<b>G7</b>	0.96±0.00 <sup>b</sup>	4.63±0.05 <sup>b</sup>	0.11±0.01 <sup>b</sup>	42.62±1.72 <sup>b</sup>	0.92±0.05 <sup>c</sup>	2.07±0.00 <sup>a</sup>	10.65±0.39 <sup>c</sup>	43.74±1.66 <sup>a</sup>
<b>Mean±SD</b>	0.97	5.47	0.07	45.84	1.24	1.91	15.07	35.94
<b>CV(%)</b>	0.45	3.64	11.16	4.71	7.64	5.13	8.89	4.60

Means followed by the same letter in a column are not significantly different by Scott Knott test ( $p \leq 0.05$ ); SD = Standard deviation; CV = coefficient of variation; Aw = water activity.

**Table 4.** Physicochemical characterization of fruits of almond on fresh basis of different genotypes of the macaiba tree. Areia-PB, 2016.

Genotype	Aw	pH	Acidity	Moisture	Ash	Protein	Lipid	Carbohydrate	Soluble protein (mg.mL <sup>-1</sup> )
			(g. citric acid.100 g <sup>-1</sup> )			(g.100 g <sup>-1</sup> )			
<b>G1</b>	0.97±0.01 <sup>a</sup>	5.32±0.09 <sup>a</sup>	0.07±0.00 <sup>b</sup>	20.00±0.42 <sup>b</sup>	1.04±0.09 <sup>c</sup>	4.12±0.13 <sup>d</sup>	31.05±1.45 <sup>a</sup>	43.79±1.60 <sup>b</sup>	1.89±0.00 <sup>a</sup>
<b>G2</b>	0.97±0.00 <sup>a</sup>	5.28±0.03 <sup>a</sup>	0.08±0.01 <sup>b</sup>	18.44±1.22 <sup>b</sup>	1.36±0.06 <sup>b</sup>	3.91±0.07 <sup>d</sup>	25.81±1.36 <sup>b</sup>	50.47±1.99 <sup>a</sup>	1.61±0.00 <sup>b</sup>
<b>G3</b>	0.97±0.00 <sup>a</sup>	5.17±0.03 <sup>a</sup>	0.07±0.01 <sup>b</sup>	18.78±1.45 <sup>b</sup>	1.16±0.05 <sup>c</sup>	3.60±0.16 <sup>e</sup>	25.58±1.71 <sup>b</sup>	50.89±0.63 <sup>a</sup>	1.96±0.02 <sup>a</sup>
<b>G4</b>	0.97±0.00 <sup>a</sup>	5.17±0.02 <sup>a</sup>	0.09±0.00 <sup>a</sup>	24.50±0.54 <sup>a</sup>	1.33±0.08 <sup>b</sup>	4.08±0.10 <sup>d</sup>	19.26±1.16 <sup>c</sup>	50.82±0.87 <sup>a</sup>	0.81±0.04 <sup>e</sup>
<b>G5</b>	0.96±0.00 <sup>a</sup>	5.26±0.05 <sup>a</sup>	0.08±0.00 <sup>b</sup>	16.57±1.99 <sup>b</sup>	1.65±0.05 <sup>a</sup>	6.90±0.03 <sup>c</sup>	22.02±0.22 <sup>c</sup>	52.86±1.99 <sup>a</sup>	1.51±0.01 <sup>c</sup>
<b>G6</b>	0.97±0.00 <sup>a</sup>	5.29±0.04 <sup>a</sup>	0.09±0.00 <sup>a</sup>	18.04±0.64 <sup>b</sup>	1.66±0.03 <sup>a</sup>	7.72±0.16 <sup>b</sup>	28.86±0.81 <sup>a</sup>	43.72±0.97 <sup>b</sup>	1.16±0.00 <sup>d</sup>
<b>G7</b>	0.97±0.00 <sup>a</sup>	5.26±0.06 <sup>a</sup>	0.10±0.00 <sup>a</sup>	18.75±0.39 <sup>b</sup>	1.75±0.07 <sup>a</sup>	8.76±0.11 <sup>a</sup>	22.43±1.19 <sup>c</sup>	48.31±0.90 <sup>a</sup>	1.90±0.01 <sup>a</sup>
<b>Mean±SD</b>	0.97	5.25	0.08	19.3	1.42	5.58	25	48.69	1.55
<b>CV(%)</b>	0.5	1.65	12.42	9.92	7.87	3.68	8.43	4.92	1.93

Means followed by the same letter in a column are not significantly different by Scott Knott test ( $p \leq 0.05$ ); Aw = water activity; SD = Standard deviation; CV = coefficient of variation;

**Table 5.** Mineral profile present in the pulp and almond fruit of the macaiba tree. Areia-PB, 2016.

Genotype	K	Fe	P	Ca	Mg	Si	Zn	Mn	Rb	Cu	S	Sr	Pb	Cr	Zr	Al	Ni	Pr	Cl	Co
Pulp																				
<b>G1</b>	78.24	0.19	1.85	11.54	5.31	0.65	0.1	0.07	0.42	0.17	1.29	0.16	-	-	-	-	-	0.01	-	-
<b>G2</b>	82.77	0.22	1.66	6.82	2.07	0.78	0.1	0.07	0.28	0.12	0.9	0.27	-	-	-	-	-	0.02	3.91	0.02
<b>G3</b>	81.9	0.27	2.31	8.76	4.32	0.62	0.16	0.09	0.25	0.11	1.08	0.14	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>G4</b>	82.71	0.21	2.08	8.8	4.69	0.25	0.05	0.04	0.18	0.06	0.77	0.16	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>G5</b>	81.53	0.17	1.34	7.51	2.93	0.13	0.09	0.05	0.36	0.11	1.6	0.2	-	-	-	-	0.17	0.02	3.79	-
<b>G6</b>	82.12	0.2	1.74	5.92	3.96	0.1	0.07	0.06	0.27	0.06	0.81	0.1	-	-	-	-	-	0.03	4.54	0.01
<b>G7</b>	79.38	0.28	4	9.65	4.59	0.56	0.09	0.06	0.3	0.16	0.83	0.09	-	-	-	-	-	0.02	-	-
<b>Mean</b>	81.24	0.22	2.14	8.43	3.98	0.44	0.09	0.06	0.29	0.11	1.04	0.16	-	-	-	-	0.17	0.02	4.08	0.015
<b>CV(%)</b>	2.15	18.56	40.94	22.27	28.10	62.33	36.15	25.51	26.31	38.19	29.56	38.36	-	-	-	-	-	35.36	9.87	47.14
Almond																				
<b>G1</b>	35.68	29.27	18.5	6.75	5.37	1.74	0.98	0.43	0.35	0.3	0.25	0.05	0.11	0.1	0.13	-	-	-	-	-
<b>G2</b>	47.72	11.75	20.08	11.06	5.41	1.55	0.71	0.57	0.15	0.28	0.36	0.03	0.08	-	0.01	0.24	-	-	-	-
<b>G3</b>	46.06	11.98	19.94	12.48	5.92	1.18	0.62	0.79	0.17	0.23	0.5	0.03	0.05	-	0.03	-	0.02	-	-	-
<b>G4</b>	43.1	21.04	17.74	9.8	5.38	1.18	0.42	0.29	0.16	0.16	0.51	0.08	0.06	0.07	0	-	-	-	-	-
<b>G5</b>	42.75	11.95	21.1	14.96	5.86	1.4	0.63	0.41	0.17	0.29	0.28	0.04	0.04	0.04	-	0.1	-	-	-	-
<b>G6</b>	48.19	10.77	22.82	7.79	6.34	2.55	0.58	0.44	0.16	0.17	0.07	0.03	0.04	0.03	0.01	-	-	-	-	-
<b>G7</b>	42.69	14.01	22.03	12.06	5.45	1.71	0.62	0.39	0.18	0.27	0.08	0.02	0.09	0.11	-	0.31	-	-	-	-
<b>Mean</b>	43.74	15.82	20.32	10.70	5.68	1.62	0.65	0.47	0.19	0.24	0.29	0.04	0.07	0.07	0.04	0.22	0.02	-	-	-
<b>CV(%)</b>	9.72	43.42	8.98	26.48	6.58	29.12	26.03	34.12	36.87	23.74	61.01	50.00	40.07	50.51	149.07	49.35	-	-	-	-

CV = coefficient of variation

**Table 6.** Eigenvectors of two principal components (CP1 and CP2) variables related to the physical quality of fruits of seven genotypes of the macaiba tree. Areia-PB, 2016.

Variables	Eigenvectors	
	Component 1	Component 2
L peel	<b>0.300*</b>	-0.007
a* peel	<b>-0.241</b>	-0.235
b* peel	<b>0.317</b>	-0.121
C peel	<b>0.305</b>	-0.154
H° peel	<b>0.283</b>	0.163
Length	0.060	<b>0.352</b>
Diameter	-0.051	<b>0.420</b>
Fresh fruit mass	-0.118	<b>0.437</b>
Pulp fresh mass	-0.179	<b>0.384</b>
Almond fresh mass	<b>0.264</b>	0.109
Pulp yield	-0.197	0.232
Almond Yield	<b>0.297</b>	-0.081
L pulp	0.216	<b>0.346</b>
a* pulp	<b>-0.289</b>	-0.003
b* pulp	<b>-0.236</b>	-0.162
C pulp	<b>-0.246</b>	-0.151
H pulp	<b>0.287</b>	-0.016
Eigenvalues	<b>8.91</b>	<b>4.27</b>
AV(%)	<b>52.43</b>	<b>77.52</b>

\* Bold indicates the variables with significant contribution within each CP defined on the basis of 0.7 of the maximum value | eigenvector |; AV = accumulated variance.

**Table 7.** Eigenvectors of two principal components (CP1 and CP2) variables related to the physicochemical characteristics of the pulp and almond of fruits seven genotypes of the macaiba tree. Areia-PB, 2016.

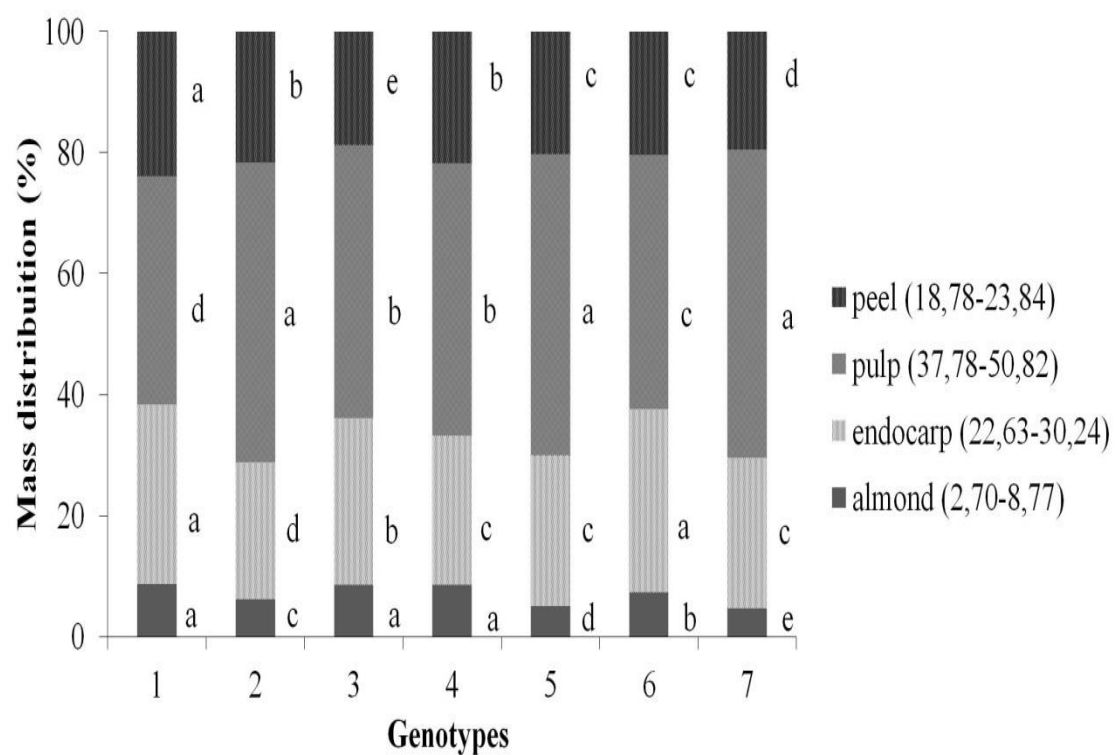
Variables	Eigenvectors	
	Component 1	Component 2
	<b>Pulp</b>	
Moisture	-0.209	0.267
Aw	<b>-0.362*</b>	-0.089
pH	<b>-0.275</b>	-0.032
Acidity	0.182	0.297
Ash	0.085	0.277
Protein	<b>0.259</b>	0.260
Lipid	<b>-0.267</b>	0.159
Carbohydrate	<b>0.296</b>	-0.255
	<b>Almond</b>	
Moisture	-0.157	-0.223
Aw	<b>-0.273</b>	0.046
pH	0.055	<b>0.366</b>
Acidity	<b>0.319</b>	-0.070
Ash	<b>0.364</b>	-0.019
Protein	<b>0.361</b>	0.109
Lipid	-0.130	<b>0.459</b>
Carbohydrate	0.015	<b>-0.427</b>
<b>Eigenvalues</b>	<b>7.14</b>	<b>4.07</b>
<b>AV(%)</b>	<b>44.64</b>	<b>70.08</b>

\* Bold indicates the variables with significant contribution within each CP defined on the basis of 0.7 of the maximum value | eigenvector |; Aw = water activity; AV = accumulated variance.

**Table 8.** Eigenvectors of three principal components (CP1, CP2 and CP3) variables related to the mineral content in the pulp and almond of fruits seven genotypes of the macaiba tree. Areia-PB, 2016.

Variables	Eigenvectors		
	Component 1	Component 2	Component 3
<b>Almond</b>			
<b>K</b>	<b>-0.317*</b>	0.177	0.015
<b>Fe</b>	<b>0.274</b>	<b>-0.272</b>	0.046
<b>P</b>	-0.145	0.219	<b>-0.357</b>
<b>Ca</b>	-0.099	0.213	0.164
<b>Mg</b>	-0.198	0.112	-0.211
<b>Si</b>	-0.054	-0.015	<b>-0.416</b>
<b>Zn</b>	<b>0.302</b>	0.100	-0.053
<b>Mn</b>	-0.003	<b>0.368</b>	0.163
<b>Rb</b>	<b>0.331</b>	-0.107	-0.058
<b>Cu</b>	<b>0.246</b>	0.208	0.053
<b>S</b>	-0.025	-0.043	<b>0.459</b>
<b>Sr</b>	0.003	<b>-0.389</b>	0.240
<b>Pulp</b>			
<b>K</b>	<b>-0.313</b>	-0.005	0.219
<b>Fe</b>	-0.027	0.239	-0.031
<b>P</b>	0.055	0.099	-0.187
<b>Ca</b>	<b>0.317</b>	-0.080	0.029
<b>Mg</b>	0.172	-0.182	-0.151
<b>Si</b>	0.193	0.225	0.164
<b>Zn</b>	0.118	<b>0.368</b>	0.130
<b>Mn</b>	0.141	<b>0.313</b>	0.096
<b>Rb</b>	<b>0.265</b>	0.071	-0.136
<b>Cu</b>	<b>0.304</b>	0.185	-0.065
<b>S</b>	0.155	0.065	0.087
<b>Sr</b>	0.007	0.041	<b>0.360</b>
<b>Eigenvalues</b>	<b>7.82</b>	<b>4.88</b>	<b>4.20</b>
<b>AV(%)</b>	<b>32.58</b>	<b>52.92</b>	<b>70.41</b>

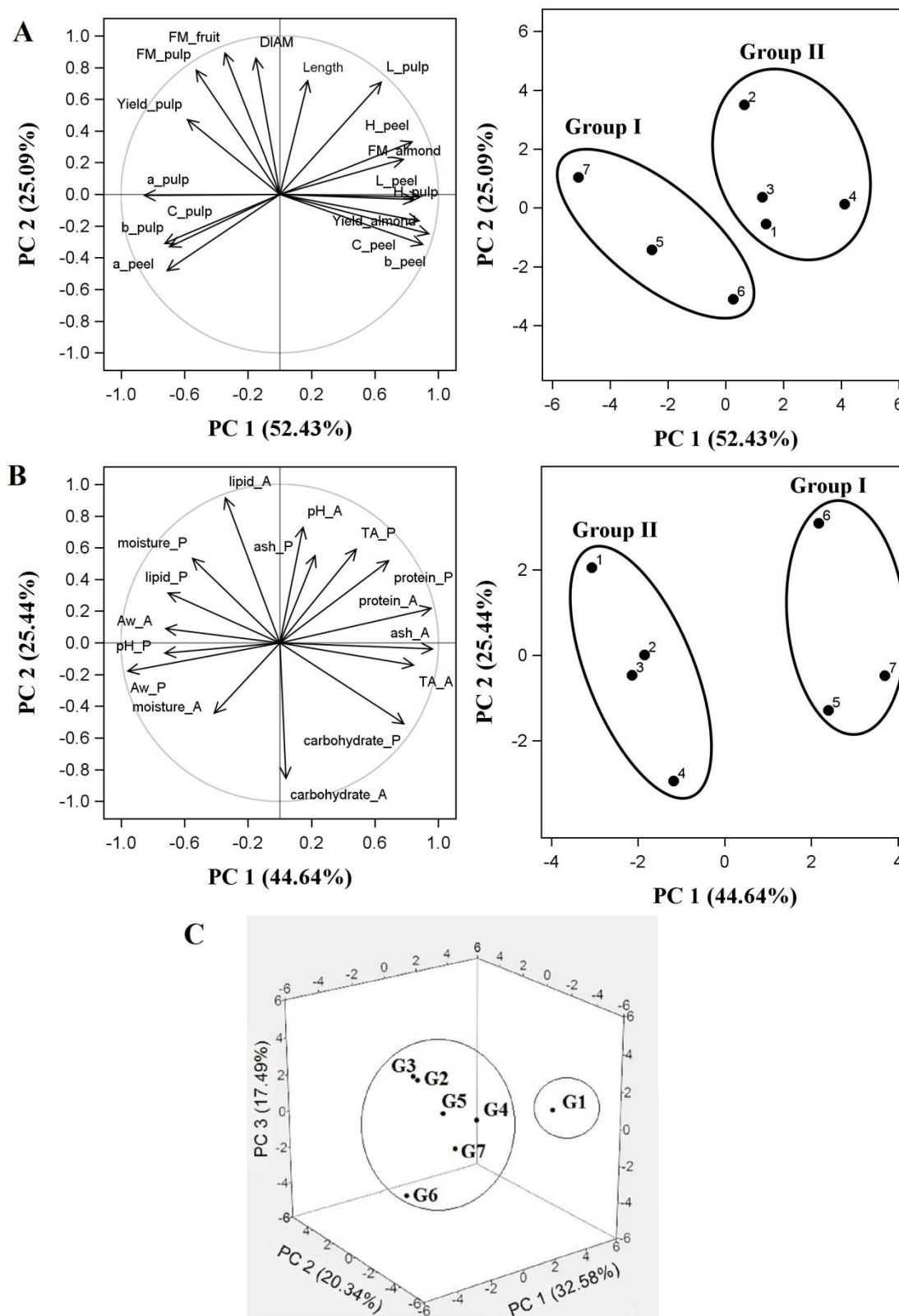
\* Bold indicates the variables with significant contribution within each CP defined on the basis of 0.7 of the maximum value | eigenvector |; AV = accumulated variance.



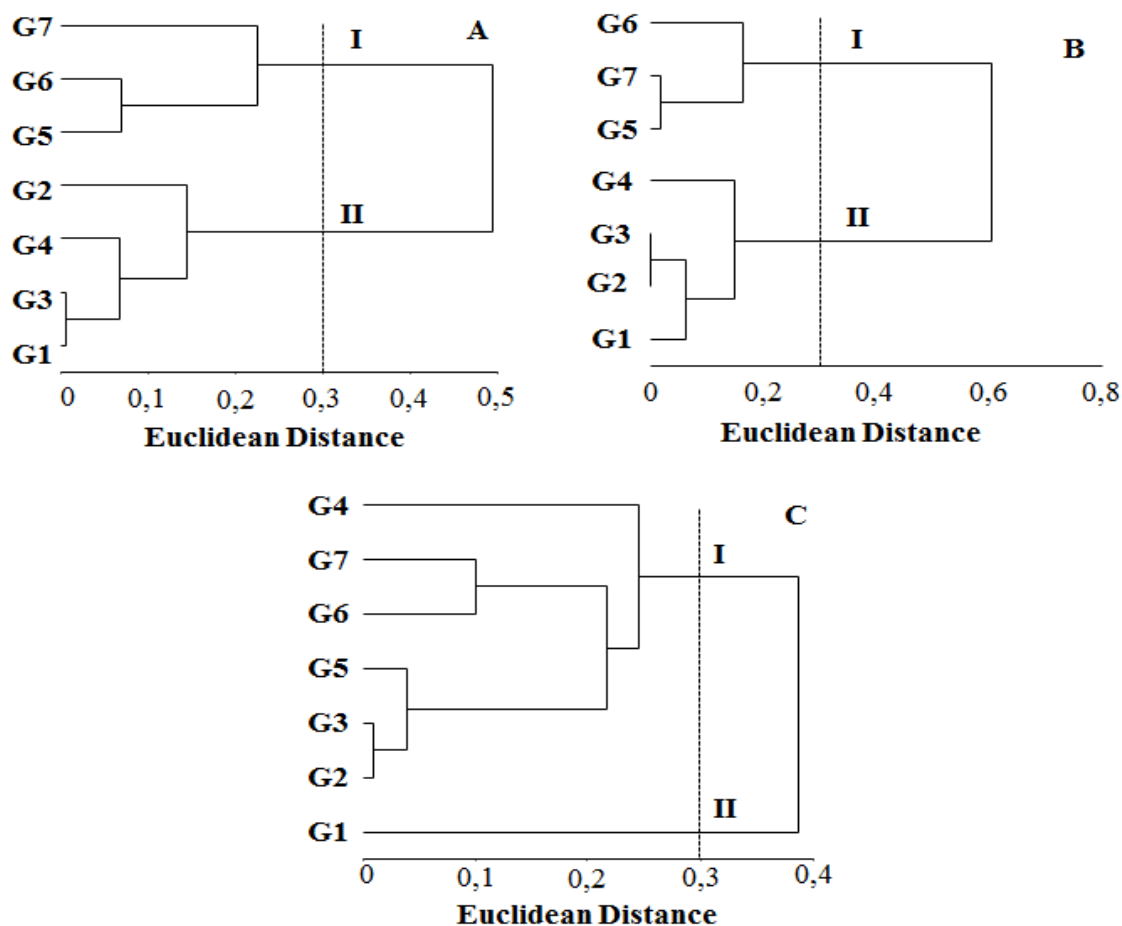
**Figure 1.** Peel percentage, pulp, endocarp and almond fruits of different genotypes of the macaiba tree. Areia-PB, 2016.

Means followed by the same letter in the same portions (peel, pulp, endocarp, almond) are not significantly different by Scott Knott test ( $p \leq 0.05$ ).

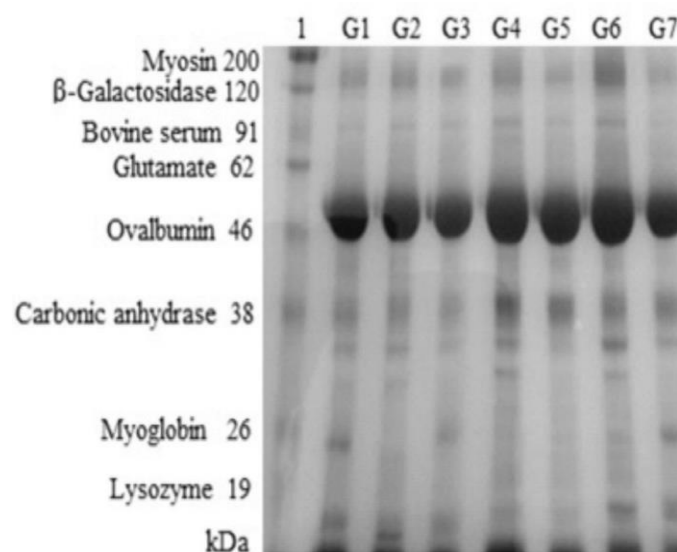




**Figure 2.** Circle eigenvectors of variables related to the physical characteristics (A), chemical (B) and mineral profile (C) macaw fruit (pulp and almond) and dispersion of genotypes (1-7) based on the principal component scores. Areia-PB, 2016. The number of groups in the PCA was defined based on the CCC value (SAS, 2010). Legend: FM = Fresh mass; DIAM = diameter; A =almond; P= pulp;



**Figure 3.** Dendrogram dissimilarity between genotypes evaluated macaw through cluster analysis by Ward method, based on the scores of the physical characteristics (A), physical-chemical pulp and almond (B) and minerals from the pulp and almond profile (C). Areia-PB, 2016.



**Figure 4.** Electrophoretic profile (SDS/PAGE) of protein extract macaw almonds. (1) Molecular marker; (G1-G7) genotypes 1, 2, 3, 4, 5, 6 and 7 respectively.

**Perfil de ácidos graxos e estabilidade térmica dos óleos da polpa e amêndoa de  
macaíbeira (*Acrocomia intumescens* Drude)**

Cassara Camelo Eloi de Souza<sup>a,b\*</sup>; Ana Rita Ribeiro de Araújo<sup>b</sup>, Marta Suely Madruga<sup>b</sup>, Heber Sivini Ferreira<sup>c</sup>, Renato Pereira Lima<sup>d</sup>, Renato Lima Dantas<sup>d</sup>, Silvanda de Melo Silva<sup>d</sup>

<sup>a</sup>Campus Anísio Teixeira (CAT), Instituto Multidisciplinar em Saúde (IMS), Universidade Federal da Bahia-UFBA. Rua Rio de Contas, 58, Quadra 17, Lote 58, Bairro Candeias, CEP: 45.029-094, Vitória da Conquista-BA, Brazil, e-mail: cassara@ufba.br

<sup>b</sup>Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Centro de Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba (UFPB), 58051-970, Campus I, João Pessoa - Paraíba, Brasil

<sup>c</sup>Departamento de Materiais, Centro de Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba (UFPB), 58051-970, Campus I, João Pessoa - Paraíba, Brasil

<sup>d</sup>Departamento de Ciências Fundamentais e Sociais do Centro de Ciências Agrárias - DCFS, Centro de Ciências Agrárias - CCA, Universidade Federal da Paraíba - UFPB, Rod. BR 079, Km 12, CEP 8397-000, Areia, PB, Brazil, e-mail:silvasil@cca.ufpb.br

\*Corresponding author: Cassara Camelo Eloi de Souza. Campus Anísio Teixeira (CAT), Instituto Multidisciplinar em Saúde (IMS), Universidade Federal da Bahia-UFBA. Rua Rio de Contas, 58, Quadra 17, Lote 58, Bairro Candeias | CEP: 45.029-094, Vitória da Conquista-BA, Brazil.

Telefone:

e-mail: cassara@ufba.br

**Resumo:** Este trabalho investigou o perfil de ácidos graxos e o comportamento termogravimétrico do óleo bruto extraído da polpa e amêndoa de sete genótipos de macaíbeira nativos da Mata Atlântica através da técnica TG/DTA. A polpa apresentou elevados teores de AGI (89,81%), sobretudo oleico (64,45-74,82%) e na amêndoa foram majoritários os ácidos oleico, láurico, mirístico e palmítico. Embora os perfis termogravimétricos tenham sido distintos entre a polpa e amêndoa, a  $T_i$  de decomposição ocorreu a 230 °C com curvas de DTA de caráter exotérmico nas duas frações analisadas. Verificou-se variabilidade genética com formação de dois agrupamentos distintos tanto na polpa quanto na amêndoa. A espécie *A. intumescens* se destacou pelo seu valor nutricional e alto potencial para aplicação industrial.

**Palavras-chave:** análise térmica; qualidade nutricional; macaíba; ACP.

## 1. Introdução

O Brasil é formado por seis biomas de características distintas: Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica, Pampa e Pantanal. Mesmo reduzida e muito fragmentada, estima-se que na Mata Atlântica existam cerca de 20.000 espécies vegetais incluindo diversas espécies endêmicas e ameaçadas de extinção (BRASIL, 2016). Na Microrregião do Brejo Paraibano, encontra-se o Parque Estadual Mata do Pau-Ferro, remanescente de Mata Atlântica com uma área aproximada de 600 ha que possui em seus ecossistemas naturais as palmeiras de macaíbeira. As palmeiras brasileiras têm grande potencial para contribuir com a segurança alimentar sobretudo devido ao seu valor energético, teor de lipídios, proteínas, minerais, fibras e compostos bioativos merecendo destaque a qualidade e potencial dos óleos extraídos tanto da polpa quanto da amêndoa.

No Brasil, existe uma grande diversidade de genótipos de macaíba que são considerados ecotipos ou espécies. Os ecotipos *Acrocomia intumescens*, *Acrocomia aculeata totai* e *Acrocomia aculeata sclerocarpa* são encontradas no Brasil e apresentam diferenças morfológicas, fisiológicas e na produtividade dos frutos (Machado et al., 2015). A maioria das pesquisas científicas com a macaíba têm investigado a espécie *A. aculeata* e os resultados demonstraram que o óleo da polpa possui um perfil de ácidos graxos comparável ao azeite de oliva com elevados teores de ácido oleico, carotenoides e tocoferóis e na amêndoa, teores significativos de ácido láurico, palmítico e oleico (Coimbra & Jorge, 2011; Coimbra & Jorge,

2012; Michelin et al., 2015). Estudos prévios com *A. intumescens* têm revelado perfil lipídico semelhante ao da *A. aculeata* (Bora & Rocha, 2004) além da capacidade de se desenvolver bem em áreas com baixa fertilidade do solo, ter tolerância ao fogo e poder ser cultivada em regiões que se submetem a uma seca prolongada. Estas características são ideais para a produção de biomassa em regiões semiáridas (Silva et al., 2015).

World Oil indicou no seu relatório de 2012 (Mielke, 2012) que a produção mundial de sete sementes oleaginosas (soja, girassol, colza, algodão, amendoim, palmiste, copra) vai passar a ser menor do que o esperado impondo um declínio sem precedentes nos seus estoques bem como o racionamento da demanda. Isso pode levar a um aumento de preços dos óleos vegetais e uma incapacidade para satisfazer a demanda global por alimentos e óleo nas indústrias química e no setor energético (Nehdi, Sbihi, Tan, & Al-Resayes, 2013). Tomando-se a *A. aculeata* como exemplo em que a estimativa de produção de 4.000 L de óleo por ha.ano<sup>-1</sup> ultrapassa a produção anual de rendimento de óleo em culturas como grãos de soja (420 L), girassol (700 L), amendoim (900 L), rícino (660 L), andiroba (1.420 L) e babaçu (2.689 L) (Abdalla et al 2008; Sumathi et al. 2008; Atabani et al., 2012; Bergmann et al., 2013), a macaíba mostra-se como uma matriz alternativa de óleo comestível com grande potencial para a produção sustentável de alimentos e demais setores industriais.

A avaliação de frutos de macaibeira de diferentes regiões é fundamental para garantir uma melhor qualidade do óleo e demais coprodutos. A detecção dos melhores genótipos nativos da espécie para fins de produtividade e ou especificidade de caracteres desejados em termos comerciais torna-se um importante passo no aprimoramento do cultivo da macaíba (Manfio et al., 2011; Manfio et al., 2012). Adicionalmente, o perfil de ácidos graxos e a qualidade do óleo em diferentes genótipos pode ser útil em programas de melhoramento genético para selecionar variedades com alto valor nutricional. Portanto, considerando a escassez de dados da espécie *A. intumescens*, a importância da utilização sustentável de fontes naturais da Mata Atlântica e os benefícios potenciais que o conhecimento sobre o valor nutricional e a estabilidade térmica do óleo podem oferecer à saúde humana, o objetivo deste trabalho foi elucidar o perfil de ácidos graxos e o comportamento termogravimétrico do óleo bruto extraído da polpa e amêndoa de sete genótipos de *A. intumescens* nativos da Mata Atlântica.

## 2. Material e métodos

### 2.1 *Material vegetal*

Os frutos de macaibeira (*Acrocomia intumescens* Drude) no estágio maduro foram colhidos manualmente com a ajuda de varas em plantas de porte alto nas primeiras horas do dia de diferentes cachos presentes na copa. A colheita foi realizada antes da abscisão da planta em frutos de sete genótipos de ocorrência espontânea provenientes do Parque Estadual Mata do Pau Ferro (G1, G2, G3 e G4) e no seu entorno (G5, G6 e G7) no município de Areia-PB em julho de 2013.

Após a coleta, os frutos foram transportados ao laboratório de Biologia e Tecnologia Pós-Colheita do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Paraíba (CCA/UFPB), lavados e secos à temperatura ambiente. Uma amostra de 80 frutos por genótipo foi colhida e o material estudado foi identificado e registrado no Herbário Jayme Coêlho de Moraes da Universidade Federal da Paraíba, sob o número 21694. Em seguida, foram selecionados, separados em três grupos de 20 frutos por genótipo para caracterização química. Os frutos foram descascados e despulpados manualmente e as frações polpa e amêndoa foram homogeneizadas e armazenadas sob refrigeração ( $-18^{\circ}\text{C}$ ) até o momento das análises.

### 2.2 *Análise do perfil de ácidos graxos*

Os lipídeos totais ( $\text{g}\cdot 100\text{g}^{-1}$ ) foram dosados por extração em mistura de clorofórmio/metanol (2:1) de acordo com a metodologia descrita por Folch, Less e Stanley (1957) seguida de evaporação do solvente em estufa a  $105^{\circ}\text{C}$ .

#### 2.2.1 *Procedimentos de transesterificação dos ácidos graxos*

Foi utilizada a metodologia de transesterificação de Hartman & Lago (1973) conforme descrição a seguir: Tomou-se uma alíquota de 3 mL dos extratos lipídicos, adicionou-se 1 mL do padrão interno (C19:0) e 4 mL da solução de saponificação (KOH). Levou-se a aquecimento em refluxo por 4 minutos. Em seguida, foram adicionados 7,5 mL da solução de esterificação, aquecendo em refluxo por mais 3 minutos. Retirou-se o balão, deixando-o

esfriar para as subseqüentes lavagens com éter, hexano e água destilada até obter-se um extrato que foi acondicionado em vidro âmbar e submetido à secagem até completa evaporação dos solventes. Após a secagem, fez-se a suspensão em 1 mL de hexano e acondicionou-se no vial para posteriores análises cromatográficas.

### 2.2.2 Identificação dos ácidos graxos

A identificação dos ésteres metílicos foi realizada no cromatógrafo gasoso (Varian 430GC) equipado com detector de ionização de chama (FID) e coluna capilar de sílica fundida (CP WAX 52 CB Varian) com dimensões de 60 m de comprimento por 0,25 mm de diâmetro interno e 0,25  $\mu\text{m}$  de espessura do filme da fase estacionária. Os parâmetros utilizados nas análises cromatográficas do perfil de ácidos graxos da polpa e da amêndoa após verificação da melhor condição de separação dos picos ficaram assim estabelecidos: temperaturas do injetor 250 °C e detector de 260 °C. A temperatura da coluna foi programada a 60 °C, seguindo por uma rampa de 2,5 °C  $\text{min}^{-1}$  até atingir 240 °C que permaneceu por 15 minutos. O tempo total de análise foi de 87 minutos. As vazões dos gases para o detector foram de 30  $\text{mL min}^{-1}$  para o hidrogênio, 25  $\text{mL min}^{-1}$  para o hélio e 300  $\text{mL min}^{-1}$  para o ar sintético. Os volumes de injeção foram de 1,0  $\mu\text{L}$  e a divisão de amostras (Split) foi de 1:50. Os cromatogramas foram registrados em um software tipo *Galaxie Chromatography Data System*. A identificação dos ésteres metílicos de ácidos graxos foi realizada por comparação do tempo de retenção dos ésteres metílicos das amostras com os padrões de ésteres metílicos de ácidos graxos (Mix C4-24-18919-1AMP Supelco). Os resultados dos ácidos graxos foram quantificados por normalização das áreas dos ésteres metílicos e expressos em  $\text{mg.100g}^{-1}$  de amostra.

### 2.3 Índices de qualidade nutricional dos lipídios

A fração lipídica da polpa e da amêndoa foi avaliada nutricionalmente utilizando-se três índices determinados a partir do perfil de ácidos graxos: Índice de Aterogenicidade (IA) =  $[(\text{C12:0} + (4 \times \text{C14:0}) + \text{C16:0})]/(\Sigma\text{AGMI} + \Sigma\omega6 + \Sigma\omega3)$ ; Índice de Trombogenicidade (IT) =  $(\text{C14:0} + \text{C16:0} + \text{C18:0})/[(0,5 \times \Sigma\text{AGMI}) + (0,5 \times \Sigma\omega6 + (3 \times \Sigma\omega3) + (\Sigma\omega3/\Sigma\omega6)]$ , conforme Ulbrichth & Southgate (1991); e razão entre ácidos graxos hipocolesterolêmicos e hipercolesterolêmicos (HH) =  $(\text{C18:1cis9} + \text{C18:2}\omega6 + \text{C20:4}\omega6 + \text{C18:3}\omega3 + \text{C20:5}\omega3 +$

$C22:5\omega3 + C22:6\omega3)/(C14:0 + 16:0)$ , segundo Santos-Silva, Bessa, & Santos-Silva (2002). Os valores de ácidos graxos desejáveis (AGD) foram calculados pela seguinte fórmula:  $AGD = AGM + AGP + C18:0$ .

#### 2.4 *Avaliação térmica dos óleos brutos da polpa e amêndoa*

Os extratos lipídicos foram submetidos à secagem em estufa de circulação de ar, à temperatura de 40 °C para eliminar o excesso de água. As curvas termogravimétricas e de Análise Térmica Diferencial (DTA) dos óleos brutos de macaíba foram obtidas em Analisador Térmico Simultâneo DTA-TG-DTG, modelo H-60, marca Shimadzu, utilizando-se cerca de 22 mg do óleo de amêndoa e 16 mg do óleo da polpa em cadinho de alumina com as seguintes condições: atmosfera de ar sintético com fluxo de 110 mL.min<sup>-1</sup> e razão de aquecimento de 10 °C.min<sup>-1</sup> até 1.000 °C, a partir de análises não-isotérmicas. A temperatura inicial (T<sub>i</sub>) de perda de massa foi utilizada como parâmetro para determinação da estabilidade térmica.

#### 2.5 *Análise estatística*

Realizou-se análise de componentes principais (ACP) para identificar as características mais importantes na diferenciação entre os genótipos e análise de *cluster* pelo método de Ward para agrupar os genótipos que possam apresentar similaridade em relação às características estudadas. Utilizou-se o software SAS 9.22 (2010) para as análises. As variáveis relacionadas com os índices de qualidade nutricional foram submetidas à análise de correlação de Pearson utilizando-se o software JMP 10 Demo.

### 3. **Resultados e discussão**

#### 3.1 *Perfil de ácidos graxos da polpa e amêndoa*

Os doze ácidos graxos presentes na polpa de macaíbeira (Tabela 1) foram semelhantes em todos os genótipos. A fração saturada foi composta pelos ácidos mirístico (C14:0), palmítico (C16:0), margárico (C17:0), esteárico (C18:0) e araquídico (C20:0) totalizando apenas 10,19% do perfil lipídico da polpa. Os cinco AGMIs identificados foram: palmitoleico (C16:1n7), heptadecenóico (C17:1n7c), oleico (C18:1n9c), vacênico (C18:1n11) e gadoleico



(C20:1n9). Os ácidos graxos majoritários foram o oleico (64,45-74,82%), linoleico (8,79-17,18%) e palmítico (8,64-9,56%) merecendo destaque a elevada concentração de AGI (10,51 g.100g<sup>-1</sup>) perfazendo 89,81% do total de ácidos graxos da polpa.

Todas as polpas apresentaram maior teor de ácidos graxos insaturados do que as amêndoas. A polpa de *A. intumescens* do presente estudo fornece em média, 11,7 g de ácidos graxos em uma porção de 100g sendo 8,82 g de AGMI e 1,69 g de AGPI. As concentrações de AGS, AGI e AG Total variaram entre os genótipos. Os maiores teores de AGMI foram encontrados no G2 (11,95 g.100g<sup>-1</sup>) seguido do G3 (9,96 g.100g<sup>-1</sup>) e o G4 apresentou os menores valores de AGS (0,77 g.100g<sup>-1</sup>), AGI (6,96 g.100g<sup>-1</sup>) e AGMI (5,64 g.100g<sup>-1</sup>). Os níveis de AG total oscilaram com valores mínimos de 7,73 a máximo de 16,33 g.100g<sup>-1</sup>.

Os resultados estão em conformidade aos dados reportados por Hiane et al. (2005) e Lescano et al. (2015) que encontraram elevados teores de AGMI com predominância de ácido oleico em polpa de *A. aculeata*. Estudos com a polpa de *A. intumescens* também evidenciaram predominância de AGMI e perfil constituído por 63,2-74,14% de ácido oleico, 13,3-14,08% de palmítico e 8,8-11,78% de linoleico (Bora & Rocha, 2004; Silva et al., 2015). Basso, Silva, Sousa, Meirelles, & Batista (2013) detectaram seis ácidos graxos na polpa de *A. aculeata* representados principalmente pelo ácido oleico (57,4%), palmítico (20,8%) e linoleico (14,1%).

O extrato lipídico da polpa de *A. intumescens* pode ser classificado como monoinsaturado, já que 75,38% de sua composição deve-se a este grupo, podendo ser considerada uma excelente fonte de ácido oleico. A polpa de *A. intumescens* apresentou níveis mais elevados de AGMI do que os encontrados em outros óleos vegetais como canola (65,18%), milho (32,98%) e girassol (26,27%) (Ai et al., 2014).

O ácido oleico vem sendo incorporado a outros óleos que possuem baixa concentração deste ácido graxo a fim de oferecer propriedades benéficas à saúde e aumentar a estabilidade oxidativa do produto (Lin & Huey, 2009; Huang & Sumpio, 2008). Deste modo, verifica-se que o óleo extraído da polpa de *A. intumescens* não necessita desta adição, pois constitui-se como fonte natural e potencial para a indústria de alimentos, pois o perfil formado por maior teor de ácidos insaturados e menor de saturados é considerado ideal para os óleos comestíveis. Adicionalmente, também foi constatado que o óleo da polpa apresentou coloração fortemente alaranjada condizente com dados reportados por Rodriguez-Amaya, Kimura & Amaya-Farfan (2008) e Coimbra & Jorge (2011), evidenciando concentrações elevadas de carotenoides.

O ácido oleico foi o principal ácido graxo insaturado encontrado em todos os genótipos; no entanto, os ácidos linoleico (C18:2n6c) e linolênico (C18:3n3) corresponderam a 13,13% e 1,09% da composição total, respectivamente, tornando estas polpas de grande importância do ponto de vista nutricional, sendo estes valores semelhantes aos observados na polpa de açaí (Rufino et al., 2011) e superiores aos verificados no azeite de oliva (Portarena et al., 2015) e no óleo da polpa de *A. aculeata* (Traesel et al., 2014). O ácido linoleico (LA) e linolênico (ALA) são essenciais para o crescimento e desenvolvimento normal dos seres humanos. As famílias de ômega-6 (LA) e ômega-3 (ALA) são fisiologicamente e metabolicamente distintos, não podem ser sintetizados no corpo humano e devem ser obtidos a partir da dieta (Simopoulus, 2011). Considerando o perfil lipídico total, menores percentuais de ácido linolênico também foram evidenciados em outras fontes vegetais como azeite de oliva (Cicatelli, Fortunati, De Feis, & Castiglione, 2013; Reboredo-Rodríguez, González-Barreiro, Cancho-Grande, & Simal-Gándara, 2014), polpa de juçara (Schulz et al., 2015) e óleo da polpa de buriti (Cunha et al., 2012).

A fração lipídica das amêndoas de todos os genótipos foram constituídas pelos mesmos 21 ácidos graxos, dos quais doze eram saturados, seis monoinsaturados e três polinsaturados resultando em altos teores de AGS ( $14,35 \text{ g.100g}^{-1}$ ) e AGMI ( $7,76 \text{ g. 100g}^{-1}$ ). As amêndoas apresentaram em média 4,41% de AGPI, 33,55% de AGMI e 62,04% de AGS. Os níveis de AGI representaram 37,96% do perfil e oscilaram de 6,42 a  $11,44 \text{ g.100g}^{-1}$ . Foram majoritários os ácidos láurico ( $8,24 \text{ g.100g}^{-1}$ ), oleico ( $7,61 \text{ g.100g}^{-1}$ ), mirístico ( $2,21 \text{ g.100g}^{-1}$ ) e palmítico ( $2 \text{ g.100g}^{-1}$ ) contribuindo com 86,69% do perfil lipídico total. Resultados semelhantes foram observados por Bora & Rocha (2004) em amêndoas de macaíba originárias da Paraíba e por Silva et al. (2015) em amêndoas oriundas de Pernambuco destacando-se os ácidos láurico (45,44%), oleico (23,07%) e palmítico (9,53%).

A amêndoa de macaibeira apresentou um padrão distinto quanto à avaliação qualitativa e quantitativa quando comparado com a polpa, diferenciando-se pelos ácidos de cadeia média e muito longa e as altas concentrações de AGS presentes. Vale destacar que embora o teor de AGS tenha sido elevado, constatou-se que em G3, G5, G6 e G7, o ácido graxo mais abundante foi o oleico e nos demais, seus níveis também foram expressivos representando em média 33,03% do total de ácidos graxos. Também foi observado variação entre os genótipos para o teor de AGS, AGI e AG Total.

O ácido graxo predominante na fração saturada foi o láurico com mínimo de  $6,36 \text{ g.100g}^{-1}$  e máximo de  $11,67 \text{ g.100g}^{-1}$  contribuindo com 35,54% do perfil lipídico. O G1

apresentou as maiores concentrações de ácidos graxos totais (28,08 g.100g<sup>-1</sup>) e AGS (19,48 g.100g<sup>-1</sup>) e o G6, conteúdo mais elevado de AGMI (10,09 g.100g<sup>-1</sup>) e AGPI (11,44 g.100g<sup>-1</sup>). O conteúdo lipídico predominantemente composto por ácidos graxos saturados de cadeia média como o ácido láurico também foi observado em outras espécies vegetais como na amêndoa de coquinho azedo (Faria et al., 2008), gordura de coco (Dubois et al., 2007), amêndoas de jerivá e guariroba (Coimbra & Jorge, 2012). O óleo de amêndoas de *A. aculeata* do Mato Grosso do Sul apresentou 67,15% de AGS e destes, 38,98% foram constituídos de ácido láurico (Lescano et al., 2015).

Óleos quando submetidos à hidrogenação catalítica são transformados em produtos completamente saturados conhecido como gorduras sólidas que podem ser utilizadas como alternativas para melhorar características funcionais dos sistemas lipídicos. Gorduras sólidas apresentam uma composição homogênea de triglicerídeos, elevado ponto de fusão e podem ser utilizados como aditivos de baixo custo industrial (Ribeiro, Basso, & Kieckbusch, 2013). Mistura de óleos polinsaturados com óleos altamente saturados reduz o teor de ácido linoleico e linolênico para o nível desejado, onde o efeito é semelhante à hidrogenação parcial sem se preocupar com a formação de isômeros de ácidos graxos trans (Naghshineh & Mirhosseini, 2010; Tiwari et al., 2014). Considerando a composição de ácidos graxos presente na amêndoa de *A. intumescens*, observa-se uma aplicação interessante uma vez que em relação à dislipidemia, sabe-se que gorduras sólidas saturadas ricas em ácido láurico resultam em perfil lipídico mais favorável do que uma gordura sólida rica em ácidos graxos trans (Mensink et al., 2003). Portanto, visto que o objetivo da mistura pode ser comercial, técnico, funcional, nutricional ou suas interações, dependendo da aplicação pretendida (Waghray & Gulla, 2011), o óleo da amêndoa pode ser introduzido em diversas linhas de processamento industrial.

### 3.2 Qualidade nutricional da fração lipídica da polpa e amêndoa de macaíbeira

Na fração lipídica da polpa da macaíbeira (Tabela 3) foram quantificados 1,56 g.100g<sup>-1</sup> de ácidos graxos ômega 6 e 0,13 g.100g<sup>-1</sup> de ômega 3 sendo superiores aos encontrados na amêndoa que apresentou média entre os genótipos de aproximadamente 1 e 0,020 g.100g<sup>-1</sup>, respectivamente. Baixos teores de ômega 3 e 6 também foram encontrados em polpas de frutas nativas da Amazônia como bacuri, cubiu e ingá-açu (Berto et al., 2015).

A razão  $\omega 6:\omega 3$  para a polpa foi de 12,34:1. A WHO/FAO estabelece a razão  $\omega 6:\omega 3$  de 5:1-10:1. Várias fontes de informação sugerem que a dieta humana deve evoluir para uma

relação  $\omega 6:\omega 3$  de cerca de um. No entanto, dietas ocidentais tem uma proporção de 10:1 a 20:25:1 (Simopoulos, 2011). Resultados semelhantes foram observados em azeites de oliva espanhol (Reboredo-Rodríguez et al., 2015) e esta relação foi muito elevada nos óleos de abacate (17,75-20,53:1) e girassol (221,89:1) (Pérez-Monterroza, Márquez-Cardozo, & Ciro-Velásquez, 2014; Rodríguez-Carpena, Morcuende, & Estévez, 2012).

Os valores médios para as relações AGPI/AGS e AGMI/AGS foram respectivamente de 1,33 e 7,09. De acordo com o *Department of Health and Social Security* (1984) dietas que apresentam uma relação AGPI/AGS  $> 0,45$  são consideradas benéficas para a saúde humana e dietas que apresentam uma razão  $< 0,45$  são considerados indesejáveis porque podem levar ao aumento dos níveis séricos de colesterol. A polpa de macaíba atende a este requisito e a razão AGMI/AGS foi superior aos dados obtidos no azeite de oliva que oscilou de 4,14-4,40 (Fuentes de Mendoza et al., 2013).

A dieta mediterrânea é caracterizada pelo elevado consumo de verduras, legumes, frutas e cereais e consumo moderado de vinho, peixe, carne branca e produtos lácteos. O consumo de gordura é relativamente alto, mas é composta principalmente de gordura monoinsaturada (ácido oleico), devido ao amplo uso de azeite de oliva (Caporaso et al., 2015). O efeito cardioprotetor dos componentes do azeite de oliva e da dieta do mediterrâneo deve-se provavelmente à redução da pressão arterial, da resistência à insulina, da aterogenicidade e carga inflamatória associada com a síndrome metabólica (Poudyal, Campbell, & Brown, 2010).

Os índices de aterogenicidade e trombogenicidade indicam o potencial de estímulo à agregação plaquetária, isto é, quanto menores os valores de IA e IT maior é a quantidade de AG anti-aterogênicos presentes em determinado óleo/gordura e, conseqüentemente, maior é o potencial de prevenção ao aparecimento de doenças coronarianas (Turan, Sonmez & Kaya, 2007). O índice HH está relacionado com o metabolismo do colesterol e valores mais elevados são considerados nutricionalmente mais benéficos para a saúde humana (Fernandes et al., 2014). Todos os genótipos na polpa apresentaram AGD superiores a 90% e os valores médios de IA, IT e HH foram de 0,11, 0,21 e 9,10, respectivamente. Estes resultados estão diretamente relacionados à abundância de AGMI, notadamente de ácido oleico e demonstraram uma atividade anti-aterogênica superior à polpa de guarirova (Nozaki et al., 2012). Avaliação da qualidade nutricional de filés de agulha branca, agulha negra, cavala e sardinha revelou IA (0,26-0,48); IT (0,2-0,44); HH (0,87-2,43) (Fernandes et al., 2014). Portanto, o consumo de polpa de macaíba demonstra potencial proteção à doença coronariana.

Sobretudo, porque dietas ricas em ácidos graxos monoinsaturados protegem melhor a mitocôndria cardíaca de alterações derivadas do envelhecimento do que uma dieta rica em  $\omega 6$  que requerem grandes quantidades de antioxidantes para se parecer com efeitos de AGMI (Quiles et al., 2010).

Dada à prevalência de doenças relacionadas com a dieta, como obesidade, diabetes, hipertensão, doenças cardiovasculares e certos tipos de câncer, a ligação entre dieta e saúde tornou-se importante e a demanda dos consumidores por produtos alimentares de qualidade superior aumentou (Kalogeropoulos, Chiou, Gavala, Christea, & Andrikopoulos, 2010). Portanto, considerando que a substituição de ácidos graxos saturados por insaturados (cis) ajuda a manter o colesterol LDL em concentrações plasmáticas normais (EFSA, 2011) e que os AGI foram responsáveis por 89,81% do teor de ácidos graxos totais da polpa, a mesma pode ser considerada uma fonte com características nutricionais saudáveis para os seres humanos.

Quanto à amêndoa, observou-se que a razão  $\omega 6:\omega 3$  foi extremamente elevada (49,78:1). Resultados similares foram observados em pesquisa conduzida por Lai et al. (2015) e razões  $\omega 6/\omega 3$  superiores às recomendações também foram encontrados em castanha de caju (82,88), castanha do Brasil (376), macadâmia (10,6), amêndoa (1.428) e amendoim (402-600) (Rodrigues et al., 2013; Rodrigues et al., 2011). A razão AGPI:AGS foi inferior a 0,45 em todos os genótipos e os valores médios de IA, IT, HH e AGD foram 2,19; 1,11; 2,08; e 40,20%, respectivamente. Estes índices refletem a predominância de AGS, principalmente de ácido láurico nas amêndoas.

Nas últimas décadas, a OMS recomendou a redução do consumo de ácidos graxos saturados com base em seus efeitos no aumento do LDL e os riscos de doenças cardíacas (Santos et al., 2013). No entanto, o óleo de coco rico em ácido láurico tem sido positivamente associado com o HDL sem afetar as concentrações de LDL ou triglicerídeos em 1.839 mulheres filipinas (Feranil, Duazo, Kuzawa & Adair, 2011). Sendo assim, experimentos *in vivo* são necessários para avaliar o efeito metabólico da amêndoa de *A. intumescens* e comprovar o efeito hipocolesterolêmico de sua polpa.

De acordo com a Figura 1, foram constatadas correlações significativas entre a maioria dos caracteres avaliados. Correlações positivas e elevadas foram observadas entre o conteúdo de  $\omega 3$  e as relações AGPI:AGS, AGMI:AGS e AGD; o índice de trombogenicidade correlaciona-se fortemente com o índice de aterogenicidade e o índice HH está correlacionado com o conteúdo de  $\omega 3$ , as relações AGPI:AGS, AGMI:AGS e o teor de AGD.

No entanto, correlações elevadas e negativas foram observadas entre a relação  $\omega_6/\omega_3$  com o conteúdo de  $\omega_3$ , com os teores de AGP:AGS, AGM:AGS e AGD. Verificou-se estimativas de correlação para baixo também entre os índices IA e IT com o conteúdo de  $\omega_3$ , com a relações AGP:AGS e AGM:AGS e os níveis de AGD. O índice HH está correlacionado negativamente com a  $\omega_6:\omega_3$ , IA e IT.

### 3.3 Avaliação térmica dos óleos brutos da polpa e da amêndoa

O comportamento termogravimétrico (TG/DTA) dos óleos brutos de macaíba estão apresentados na Tabela 4. Todos os óleos apresentaram curvas de DTA de caráter exotérmico (Figura 2), porém com perfis termogravimétricos diferentes entre as duas frações pesquisadas, o que pode estar relacionado à composição em ácidos graxos própria de cada amostra. Para o óleo da polpa, as perdas de massa ocorreram em quatro etapas em todos os genótipos pesquisados com início a 189 °C (G1) e término a 568 °C (G5). A primeira perda, representando em média 2,48% está relacionada possivelmente à perda de água e componentes voláteis (Santos et al., 2015). A segunda etapa compreendida entre 189-393 °C promoveu em média 53,82% de perda de massa exibindo curva exotérmica (Tpeak próxima a 375 °C) (Figura 2A) provavelmente devido à oxidação do ácido oleico, componente majoritário do perfil lipídico, enquanto que na terceira fase, 34,57% podem indicar a combustão completa de AGPI e compostos polimerizados formados durante a segunda etapa. A temperatura final de decomposição ocorreu entre 460-568 °C com perdas que oscilaram de 5,32% (G5) a 10,7% (G4) decorrentes da decomposição de AGS.

As curvas termogravimétricas dos óleos da amêndoa apresentaram perfis semelhantes entre os genótipos e ocorreram em quatro fases com pouca formação de resíduos carbonáceos. Na primeira etapa observou-se uma pequena redução em massa. Considerando o perfil de ácidos graxos das amostras, a segunda etapa (169-387 °C) pode estar associada à oxidação de AGS representada pela transição exotérmica nas curvas DTA (Tpeak próxima a 374 °C) (Figura 2B) observando-se variação acentuada de perda de massa (72,2 a 80,97%). Após esta reação, mais duas etapas de decomposição térmica foram observadas, possivelmente ocasionadas pelos processos de oxidação completa de AGMI, AGPI e polímeros formados durante o aquecimento da amostra. Amêndoas de macaíba da região Sudeste apresentaram menor estabilidade térmica com picos de decomposição a 229, 379 e 492 °C com 93,3% de perda de massa total (Politi, Matos, & Sales, 2013).

No entanto, considerando a  $T_i$  de decomposição, verificou-se comportamento semelhante entre a polpa e a amêndoa com valores médios entre os genótipos de 232,4 e 236 °C, respectivamente, destacando-se G3 na polpa e G6 na amêndoa por exibirem maior estabilidade térmica. Portanto, considerando que a fritura do óleo a uma temperatura elevada (aproximadamente 180 °C ou mais) é um método de processamento muito comum, usado para preparar alimentos de origem vegetal ou animal (Santos, Cruz, Cunha, & Casal, 2013; Zhang, Saleh, Chen, & Shen, 2012), todos os óleos estudados podem ser utilizados em processos de fritura visto que não foram observadas perdas de massa significativas que poderiam inviabilizar a sua utilização como matéria-prima na indústria de alimentos.

### 3.4 *Análise de componentes principais*

As variáveis relacionadas ao perfil de ácidos graxos e índices de qualidade nutricional dos frutos de macaibeira apresentaram um comportamento distinto entre os 7 genótipos estudados. Por isso, a análise de componentes principais com os escores (Tabelas 5, 6 e 7) e círculo de autovetores (Figuras 3 e 4) mostram a eficiência desse método estatístico em diferenciar os genótipos e apontar as variáveis mais preponderantes deste estudo. Nota-se que para o perfil de ácidos graxos foram necessários dois componentes para explicar satisfatoriamente a variabilidade entre os genótipos, atingindo variância acumulada já no CP2 de 86,92% (Tabela 5) e 84,15% (Tabela 6) para polpa e amêndoa, respectivamente.

Na polpa, o CP1 reproduz 65,89% e o CP2 21,02% de toda a informação (Figura 3A). Para o CP1, os principais ácidos graxos que explicaram a variabilidade entre os genótipos foram palmítico, heptadecenóico, oleico, linoleico, linolênico, araquídico juntamente com o somatório de AGI, AGMI, AGPI, AGS e totais. Para o CP2, os principais ácidos graxos foram mirístico, palmitoleico, margárico, esteárico e vacênico. Apenas o ácido gadoleico (C20:1n9) não esteve presente em nenhum dos dois componentes e por isso não apresenta importância para explicar a variabilidade entre os genótipos.

Em relação à amêndoa, o CP1 explica 61,85% e o CP2 22,3% da variabilidade entre os genótipos (Figura 3B). As principais características associadas ao CP1 que explicaram a variabilidade entre os genótipos foram os ácidos caprílico, láurico, mirístico, pentadecílico, palmítico, margárico, esteárico, oleico, vacênico, araquídico, gadoleico, behênico, DHA e o conteúdo total de AGI, AGMI, AGS e totais. Por outro lado, os maiores escores no CP2 foram

devido aos ácidos cáprico, hedecanóico, láurico, miristoléico, linoleico, linolênico, lignocérico e AGPI.

Considerando os índices de qualidade nutricional, dois componentes principais também foram formados. Na polpa e na amêndoa, respectivamente, o CP1 explica 62,70% e 72,77%, o CP2 25,88% e 19,63% da variabilidade entre os genótipos com variância acumulada já no CP2 de 88,18% e 92,40% (Tabela 7). Na polpa, todas as variáveis contribuíram quase que igualmente, em ambos CP1 e CP2, para a explicação da variabilidade entre os genótipos. Na amêndoa, por sua vez, apenas o teor de  $\omega 6$  e HH não estiveram associados a nenhum dos componentes considerados. Nota-se que as diferenças entre os genótipos para os valores dos índices de qualidade nutricional indicam um comportamento acentuadamente diferente entre as porções do fruto.

De acordo com as semelhanças observadas no perfil de ácidos graxos da polpa e amêndoa de macaibeira foram formados dois grupos em ambas as porções. O grupo 2, na polpa (Figura 3A), foi constituído por G1, G4 e G5 sendo detentor dos menores conteúdos de ácidos graxos totais, AGS, AGMI e AGPI e o grupo 1 (G2, G3, G6 e G7) que apresentou concentrações mais elevadas de AGS, AGMI, AGPI e ácidos graxos totais. Na amêndoa, o agrupamento foi constituído por G4 e G7 no grupo 1 e G1, G2, G3, G5 e G6 no grupo 2 (Figura 3B). O grupo 1 caracterizou-se pelos maiores valores de AGS (láurico e palmítico), AGMI (oleico) e AG TOTAL.

O comportamento diferenciado das características entre os genótipos pode ser em decorrência de fatores edafoclimáticos, mas também à influência do grau de lipogênese dos frutos e teor de lipídios das frações analisadas. Uma característica valiosa da macaíba é a variabilidade nas características fenotípicas. Isto pode ter impacto na produtividade dos frutos e nas características do óleo (Ciconini et al., 2013). Existem vários fatores que podem afetar a composição de ácidos graxos, incluindo a origem vegetal, fatores genéticos, o amadurecimento das frutas, condições ambientais e a temperatura durante o tempo decorrido entre a floração e o amadurecimento (Gecgel, Velioglu, & Velioglu, 2011; Velasco, Rojas-Barros, & Fernández-Martínez, 2005). Li et al. (2015) também observaram variabilidade elevada na análise quantitativa de ácidos graxos de sementes de peônia, os quais poderiam ser atribuídos a diferentes cultivares, às condições de crescimento, tempo de colheita e método quantitativo de análise. Pesquisa realizada com azeites de oliva italianos sugerem que a composição de ácidos graxos é determinada principalmente pelo genótipo e não por práticas culturais ou condições climáticas (Cicatelli et al., 2013).



Com base nos escores das variáveis associadas aos dois componentes para os índices de qualidade nutricional foi possível a formação de dois agrupamentos similares internamente homogêneos tanto para a polpa quanto para a amêndoa. Na polpa (Figura 4A), o grupo 2, formado pelos genótipos G1, G4 e G5 foi caracterizado pelos maiores níveis de AGD e HH e menores valores de  $\omega 3$  e IA e o grupo 1 reuniu os genótipos G2, G3, G6 e G7. Na amêndoa, G1 e G2 compuseram o grupo 2, destacando-se por apresentar os maiores valores de IA e IT e resultados inferiores para  $\omega 6/\omega 3$ , AGPI:AGS, AGMI:AGS, AGD e HH e no grupo 1 foram reunidos os genótipos G3, G4, G5, G6 e G7 (Figura 4B).

### 3.4.1 Análise de agrupamento hierárquico

Observou-se que os dendogramas para os dois grupos formados a partir dos escores das variáveis do perfil de ácidos graxos (Figura 5A e 5B) mostraram arranjos diferentes entre os genótipos tanto na polpa quanto na amêndoa. Todavia, os genótipos G2, G3 e G6 foram reunidos no mesmo grupo nas duas porções do fruto devido, sobretudo pela maior concentração dos ácidos graxos oleico, linoleico e o somatório de AGMI e AGPI na polpa. Já na amêndoa, houve a contribuição dos insaturados, mas também os teores de AGS foram as variáveis cujos valores mais elevados aproximaram esses três genótipos. Além disso, com base ainda nessas mesmas variáveis, verificou-se que os genótipos G6 e G7 (polpa) e G4 e G7 (amêndoa) são os mais similares entre si. No entanto, estes últimos formam isoladamente um grupo por alcançarem uma distância maior que aquela observada para os genótipos do grupo 2 (Figura 5B).

Estudos de diversidade genética em populações naturais são importantes para quantificar a variabilidade, em particular no que diz respeito às características de interesse, além de indicar os locais de coleta e estratégias de amostragem para a conservação e uso dos recursos genéticos (Conceição et al., 2015). Contudo, Souza, Quieóz, & Dias (2005) destacaram que além da dissimilaridade genética para a escolha dos genitores destinados a programas de hibridação, o desempenho agrônomo dos genitores, bem como a complementaridade alélica entre eles devem ser considerados. Sendo assim, não existem estudos de variância e seus componentes para *A. intumescens*, porém é descrito para *A. aculeata* a presença de um sistema reprodutivo misto (Abreu et al., 2012), com grande variabilidade genética entre e dentro de populações naturais, especialmente para características agrônomicas (Oliveira et al., 2012) e também para o perfil lipídico da polpa e

amêndoa sendo o teor de ácido oleico da polpa o maior responsável pela divergência total (Conceição et al., 2015).

Na disposição hierárquica dos genótipos com base nas variáveis da qualidade nutricional da fração lipídica de frutos de macaibeira, observou-se elevada similaridade entre os genótipos G2 e G3 na polpa e G5 e G6 na amêndoa. Em ambas as porções, a similaridade deve ser atribuída ao grande número de variáveis semelhantes quando mutuamente comparados com os demais genótipos. De modo geral, aqueles reunidos no grupo 2 na polpa (G1, G4 e G5) e na amêndoa (G1 e G2) são internamente homogêneos, já que as distâncias euclidianas são menores em relação aos genótipos reunidos no grupo 1 de ambas as porções. O grupo 2 na polpa (Figura 5C) apresentou os menores valores para os ácidos graxos  $\omega 3$  e IA e valores elevados de HH e AGD. Os genótipos G1 e G2 na amêndoa apresentaram os menores valores para os índices  $\omega 6/\omega 3$ , AGPI:AGS, AGMI:AGS, AGD e HH e valores mais elevados para IA e IT, tendo essas variáveis contribuído para a dissimilaridade do grupo.

A variabilidade genética, tanto entre os genótipos quanto entre as duas porções comestíveis analisadas com a formação de grupos distintos para as variáveis perfil de ácidos graxos e índices de qualidade nutricional é uma característica importante a ser considerada na conservação e uso comercial desta espécie. Estes resultados estão em conformidade com os reportados por Berton, de Azevedo Filho, Siqueira, & Colombo (2013) que evidenciaram a existência de importante variabilidade genética na *A. aculeata* destacando que a herdabilidade é uma propriedade não apenas de um único traço, mas também da população e das circunstâncias do ambiente ao qual os indivíduos são submetidos.

Além dos fatores edafoclimáticos que influenciaram no desenvolvimento dos frutos, a maturação é um fator importante no acúmulo de óleo e no perfil de ácidos graxos saturados, insaturados e carotenoides até a ocasião da colheita. Além disso, o perfil de metabólitos lipídicos no mesocarpo é bastante diferenciado e regulado por hormônios, sobretudo por etileno (Tranbarger et al., 2011). Assim, para *Acrocomia intumescens*, a diferenciação de diferentes genótipos com base no perfil de ácidos graxos e em índices de qualidade nutricional consiste em um importante passo na escolha de plantas de alto potencial e na agregação de valor de uma espécie de ampla ocorrência no Brejo paraibano.

#### 4. Conclusões

Os resultados deste estudo apontam o potencial nutritivo e tecnológico da macaíba. A polpa apresentou elevados teores de AGI (89,81%) sendo mais abundantes os ácidos oleico, linoleico e palmítico além de excelentes índices de qualidade nutricional. A amêndoa, embora também rica em ácido oleico contem teores significativos de AGS, sobretudo láurico, mirístico e palmítico. Os óleos das duas frações possuem boa estabilidade térmica até 230 °C com curvas de DTA de caráter exotérmico. A espécie *Acrocomia intumescens* exibiu comportamento distinto entre os sete genótipos pesquisados indicando variabilidade genética com formação de dois agrupamentos em que os genótipos G2, G3 e G6 foram reunidos no mesmo grupo por apresentar os maiores teores de AGMI, AGPI, AGS e AG total nas duas frações. Finalmente, a polpa de macaíba pode ser considerada uma excelente fonte de ácido oleico e juntamente com a amêndoa se constituem como matéria-prima de alto potencial para uso nas indústrias de alimentos, fármacos e cosméticos.

#### 5. Referências

- Abreu, A. G., Priolli, R. H. G., Azevedo-Filho, J. A., Nucci, S. M., Zuchi, M. I., Coelho, R. M., & Colombo, C. A. (2012). The genetic structure and mating system of *Acrocomia aculeate* (Arecaceae). *Genet. Mol. Biol.*, 35, 119–121.
- Abdalla, A. L., Silva Filho, J. C., Godoy, A. R., Carmo, C. A., & Eduardo, J. L. P. (2008). Utilização de subprodutos da indústria de biodiesel na alimentação de ruminantes. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 37, 260–258.
- Ai, F.-F., Bin, J., Zhang, Z., Huang, J., Wang, J., Liang, Y., ... Yang, Z. (2014). Application of random forests to select premium quality vegetable oils by their fatty acid composition. *Food Chemistry*, 143, 472–8. <http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.08.013>
- Atabani, A. E., Silitonga, A. S., Badruddin, I. M., Mahlia, T. M. I., & Masjuki Mekhilef, S. (2012). A comprehensive review on biodiesel as an alternative energy resource and its characteristics. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 16, 2070–2093.
- Basso, R. C., Silva, C. A. S. da, Sousa, C. de O., Meirelles, A. J. de A., & Batista, E. A. C. (2013). LLE experimental data, thermodynamic modeling and sensitivity analysis in the ethyl biodiesel from macauba pulp oil settling step. *Bioresource Technology*, 131, 468–475. <http://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.12.190>
- Bergmann, J. C., Tupinamba, D. D., Costa, O. Y. A., & Almeida, J. R. M. (2013). Biodiesel production in Brazil and alternative biomass feedstocks. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 21, 411–420.
- Berto, A., da Silva, A. F., Visentainer, J. V., Matsushita, M., Fernandes, E., & de Souza, N. E. (2015). Proximate compositions, mineral contents and fatty acid compositions of native Amazonian fruits. *Food Research International*. <http://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.08.018>

- Berton, L. H. C., de Azevedo Filho, J. A., Siqueira, W. J., & Colombo, C. A. (2013). Seed germination and estimates of genetic parameters of promising macaw palm (*Acrocomia aculeata*) progenies for biofuel production. *Industrial Crops and Products*, 51, 258–266. <http://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.09.012>
- Bora, P. S., & Rocha, R. V. M. (2004). Macaiba Palm: Fatty and amino acids composition of fruits. *Cienc.Tecnol. Aliment.*, 4(3), 158–162.
- BRASIL. (2016). Ministério do Meio Ambiente. Biomas. <http://www.mma.gov.br/biomas>. Acesso em 11 de fevereiro de 2016.
- Caporaso, N., Savarese, M., Paduano, A., Guidone, G., De Marco, E., & Sacchi, R. (2015). Nutritional quality assessment of extra virgin olive oil from the Italian retail market: Do natural antioxidants satisfy EFSA health claims? *Journal of Food Composition and Analysis*, 40, 154–162. <http://doi.org/10.1016/j.jfca.2014.12.012>
- Cicatelli, A., Fortunati, T., De Feis, I., & Castiglione, S. (2013). Oil composition and genetic biodiversity of ancient and new olive (*Olea europea* L.) varieties and accessions of southern Italy. *Plant Science : An International Journal of Experimental Plant Biology*, 210, 82–92. <http://doi.org/10.1016/j.plantsci.2013.05.011>
- Ciconini, G., Favaro, S. P., Roscoe, R., Miranda, C. H. B., Tapeti, C. F., Miyahira, M. A. M., ... Naka, M. H. (2013). Biometry and oil contents of *Acrocomia aculeata* fruits from the Cerrados and Pantanal biomes in Mato Grosso do Sul, Brazil. *Industrial Crops and Products*, 45, 208–214. <http://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.12.008>
- Coimbra, M.C., & Jorge, N. (2012). Fatty acids and bioactive compounds of the pulps and kernels of Brazilian palm species, guariroba (*Syagrus oleraceae*), jerivá (*Syagrus romanzoffiana*) and macaúba (*Acrocomia aculeata*). *J. Sci. Food Agric.*, 92, 679–684.
- Coimbra, M. C., & Jorge, N. (2011). Proximate composition of guariroba (*Syagrus oleracea*), jerivá (*Syagrus romanzoffiana*) and macaúba (*Acrocomia aculeata*) palm fruits. *Food Research International*, 44(7), 2139–2142. <http://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.03.032>
- Conceição, L. D. H. C. S., Antoniassi, R., Junqueira, N. T. V., Braga, M. F., de Faria-Machado, A. F., Rogério, J. B., ... Bizzo, H. R. (2015). Genetic diversity of macauba from natural populations of Brazil. *BMC Research Notes*, 8(1), 406. <http://doi.org/10.1186/s13104-015-1335-1>
- Cunha, M. A. E., Neves, R. F., Souza, J. N. S., França, L. F., Araújo, M. E., Brunner, G., & Machado, N. T. (2012). Supercritical adsorption of buriti oil (*Mauritia flexuosa* Mart.) in  $\gamma$ -alumina: A methodology for the enriching of anti-oxidants. *The Journal of Supercritical Fluids*, 66, 181–191. <http://doi.org/10.1016/j.supflu.2011.10.021>
- Department of Health and Social Security (1984). *Nutritional aspects of cardiovascular disease*. Report on Health and Social Subjects, 46. London: HMSO.
- Dubois, V., Breton, S., Linder, M., Fanni, J., & Parmentier, M. (2007). Fatty acid profiles of 80 vegetable oils with regard to their nutritional potential. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.*, 109, 710–722.
- EFSA (2011). Scientific Opinion on the substantiation of health claims related to the replacement of mixtures of saturated fatty acids (SFAs) as present in foods or diets with mixtures of monounsaturated fatty acids (MUFAs) and/or mixtures of polyunsaturated fatty acids (PUFAs), and maintenance of normal blood LDL-cholesterol concentrations (ID 621, 1190, 1203, 2906, 2910, 3065) pursuant to Article 13(1) of Regulation (EC) No 1924/2006. *EFSA Journal*, 9(4), 2069.
- Faria, J. P., Arellano, D. B., Grimaldi, R., Silva, L. C. R., Vieira, R. F., Silva, D. B., & Agostini-Costa, T. S. (2008). Caracterização química da amêndoa de coquinho-azedo (*Butia capitata* var *capitata*). *Revista Brasileira de Fruticultura*, 30(2), 549–552
- Feranil, A. B., Duazo, P. L., Kuzawa, C. W., & Adair, L. S. (2011). Coconut oil is associated

- with a beneficial lipid profile in pre-menopausal women in the Philippines. *Asia Pac. J. Clin. Nutr.*, 20, 190–195.
- Fernandes, C. E., Vasconcelos, M. A. da S., Ribeiro, M. de A., Sarubbo, L. A., Andrade, S. A. C., & Filho, A. B. de M. (2014). Nutritional and lipid profiles in marine fish species from Brazil. *Food Chemistry*, 160, 67–71. <http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.03.055>
- Folch, J., Less, M., & Stanley, S. (1957). A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *Journal of Biological Chemistry*, 226, 497–509.
- Fuentes de Mendoza, M., De Miguel Gordillo, C., Marín Expósito, J., Sánchez Casas, J., Martínez Cano, M., Martín Vertedor, D., & Franco Baltasar, M. N. (2013). Chemical composition of virgin olive oils according to the ripening in olives. *Food Chemistry*, 141(3), 2575–81. <http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.05.074>
- Gecgel, U., Velioglu, S. D., & Velioglu, H. M. (2011). Investigating some physicochemical properties and fatty acid composition of native black mulberry (*Morus nigra* L.) seed oil. *Journal of the American Oil Chemists Society*, 88, 1179–1187.
- Hartman, L., & Lago, R.C.A. (1973). Rapid preparation of fatty acids methyl esters. *Laboratory Practice*, 22, 475–476.
- Hiane, P. A., Ramos Filho, M. M., Ramos, M. I. L., & Macedo, M. L. R. (2005). Bocaiúva, *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd., pulp and kernel oils: characterization and fatty acid composition. *Braz. J. Food Technol.*, 8(3), 256–259.
- Huang, C. L., & Sumpio, B. E. (2008). Olive oil, the Mediterranean diet and cardiovascular health. *Journal of the American College of Surgeons*, 207, 407–416.
- Kalogeropoulos, N., Chiou, A., Gavala, E., Christea, M., & Andrikopoulos, N. K. (2010). Nutritional evaluation and bioactive microconstituents (carotenoids, tocopherols, sterols and squalene) of raw and roasted chicken fed on DHA-rich microalgae. *Food Research International*, 43(8), 2006–2013. <http://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.05.018>
- Lai, T. N. H., André, C., Rogez, H., Mignolet, E., Nguyen, T. B. T., & Larondelle, Y. (2015). Nutritional composition and antioxidant properties of the sim fruit (*Rhodomyrtus tomentosa*). *Food Chemistry*, 168, 410–6. <http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.07.081>
- Lescano, C. H., Oliveira, I. P., Silva, L. R., Baldivia, D. S., Sanjinez-Argandoña, E. J., Arruda, E. J., Moraes, I. C. F., & Lima, F. F. (2015). Nutrients content, characterization and oil extraction from *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. fruits. *African Journal of Food Science*, 9(3), 113–119.
- Li, S.-S., Yuan, R.-Y., Chen, L.-G., Wang, L.-S., Hao, X.-H., Wang, L.-J., ... Du, H. (2015). Systematic qualitative and quantitative assessment of fatty acids in the seeds of 60 tree peony (*Paeonia* section *Moutan* DC.) cultivars by GC-MS. *Food Chemistry*, 173, 133–40. <http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.10.017>
- Lin, S. W., & Huey, S. M. (2009). High oleic enhancement of palm olein via enzymatic interesterification. *Journal of Oleo Science*, 58, 549–555.
- Machado, W., Guimarães, M. F., Lira, F. F., Santos, J. V. F., Takahashi, L. S. A., Leal, A. C., & Coelho, G. T. C. P. (2015). Evaluation of two fruit ecotypes (total and sclerocarpa) of macaúba (*Acrocomia aculeata*). *Industrial Crops and Products*, 63, 287–293. <http://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.11.002>
- Manfio, C. E., Motoike, S. Y., Santos, C. E. M. dos, Pimentel, L. D., Queiroz, V., & Sato, A. Y. (2011). Repetibilidade em características biométricas do fruto de macaúba (Repeatability in biometric characteristics of macaw palm fruit). *Ciência Rural*, 41, 70–76

- Manfio, C. E., Motoike, S. Y., Resende, M. D. V., Santos, C. E. M., & Sato, A. Y. (2012). Avaliação de progênies de macaúba na fase juvenil e estimativas de parâmetros genéticos e diversidade genética. *Pesquisa Florestal Brasileira*, 32(69), 63-69.
- Mensink, R. P., Zock, P. L., Kester, A. D., & Katan, M. B. (2003). Effects of dietary fatty acids and carbohydrates on the ratio of serum total to HDL cholesterol and on serum lipids and apolipoproteins: a meta-analysis of 60 controlled trials. *Am J Clin Nutr.*, 77(5), 1146-55.
- Michelin, S., Penha, F. M., Sychoski, M. M., Scherer, R. P., Treichel, H., Valério, A., ... Oliveira, J. V. (2015). Kinetics of ultrasound-assisted enzymatic biodiesel production from Macauba coconut oil. *Renewable Energy*, 76, 388-393. <http://doi.org/10.1016/j.renene.2014.11.067>
- Mielke, T. (2012). *Oil Word Annual 2012*. Hamburg: ISTA Mielke Gmbh.
- Naghshineh, M., & Mirhosseini, H. (2010). Effects of frying condition on physicochemical properties of palm olein-olive oil blends. *Journal of Food Agriculture & Environment*, 8(3-4), 175-178.
- Nehdi, I. A., Sbihi, H., Tan, C. P., & Al-Resayes, S. I. (2013). Evaluation and characterisation of *Citrullus colocynthis* (L.) Schrad seed oil: Comparison with *Helianthus annuus* (sunflower) seed oil. *Food Chemistry*, 136(2), 348-53. <http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.09.009>
- Nozaki, V. T., Munhoz, C. L., Guimarães, R C. A., Hiane, P. A., Andreu, M. P., Viana, L. H., & Macedo, M. L. R. (2012). Perfil lipídico da polpa e amêndoa da guarirova. *Ciência Rural*, 42(8), 1518-1523.
- Oliveira, D. A., Melo-Júnior, A. F., Brandão, M. M., Rodrigues, L. A., Menezes, E. V., & Ferreira, P. R. (2012). Genetic diversity in populations of *Acrocomia aculeata* (Arecaceae) in the northern region of Minas Gerais, Brazil. *Gen. Mol. Res.*, 11, 531-538.
- Pérez-Monterroza, E. J., Márquez-Cardozo, C. J., & Ciro-Velásquez, H. J. (2014). Rheological behavior of avocado (*Persea americana* Mill, cv. Hass) oleogels considering the combined effect of structuring agents. *LWT - Food Science and Technology*, 59(2), 673-679. <http://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.07.020>
- Politi, J. R. S., Matos, P. R. R., & Sales, M. J. A. (2013). Comparative study of the oxidative and thermal stability of vegetable oils to be used as lubricant bases. *J Therm Anal Calorim*, 111, 1437-1442.
- Portarena, S., Farinelli, D., Lauteri, M., Famiani, F., Esti, M., & Brugnoli, E. (2015). Stable isotope and fatty acid compositions of monovarietal olive oils: Implications of ripening stage and climate effects as determinants in traceability studies. *Food Control*, 57, 129-135. <http://doi.org/10.1016/j.foodcont.2015.03.052>
- Poudyal, H., Campbell, F., & Brown, L. (2010). Olive leaf extract attenuates cardiac, hepatic, and metabolic changes in high carbohydrate-, high fat-fed rats. *J. Nutr.*, 140, 946-53.
- Quiles, J. L., Pamplona, R., Ramirez-Tortosa, M. C., Naudí, A., Portero-Otin, M., Araujo-Nepomuceno, E., López-Frías, M., Battino, M., & Ochoa, J. J. (2010). Coenzyme Q addition to an n-6 PUFA-rich diet resembles benefits on age-related mitochondrial DNA deletion and oxidative stress of a MUFA-rich diet in rat heart. *Mech. Ageing Dev.* 131, 38-47.
- Reboredo-Rodríguez, P., González-Barreiro, C., Cancho-Grande, B., Fregapane, G., Salvador, M. D., & Simal-Gándara, J. (2015). Characterisation of extra virgin olive oils from Galician autochthonous varieties and their co-crushings with Arbequina and Picual cv. *Food Chemistry*, 176, 493-503. <http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.12.078>
- Reboredo-Rodríguez, P., González-Barreiro, C., Cancho-Grande, B., & Simal-Gándara, J.

- (2014). Quality of extra virgin olive oils produced in an emerging olive growing area in north-western Spain. *Food Chemistry*, 164, 418–426. <http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.05.043>
- Ribeiro, A. P. B., Basso, R. C., & Kieckbusch, T. G. (2013). Effect of the addition of hardfats on the physical properties of cocoa butter. *European Journal Lipid Science and Technology*, 115(3), 301–312.
- Rodrigues, A. C., Souza, A. H. P., Matsushita, M., Dias, L. F., Visentainer, J. V., Tonsig, S. M., & Souza, N. E. (2013). Proximate composition and fatty acids profile in oleaginous seeds. *Journal of Food Research*, 2(1), 109–117.
- Rodrigues, A. C., Ströher, G. L., Freitas, A. R., Visentainer, J. V., Oliveira, C. C., & de Souza, N. E. (2011). The effect of genotype and roasting on the fatty acid composition of peanuts. *Food Research International*, 44, 187–192.
- Rodriguez-Amaya, D. B., Kimura, M., Godoy, H. T., & Amaya-Farfan, J. (2008). Updated Brazilian database on food carotenoids: Factors affecting carotenoid composition. *Journal of Food Composition and Analysis*, 21(6), 445–463.
- Rodríguez-Carpena, J. G., Morcuende, D., & Estévez, M. (2012). Avocado, sunflower and olive oils as replacers of pork back-fat in burger patties: effect on lipid composition, oxidative stability and quality traits. *Meat Science*, 90(1), 106–115. <http://doi.org/10.1016/j.meatsci.2011.06.007>
- Rufino, M. do S. M., Pérez-Jiménez, J., Arranz, S., Alves, R. E., de Brito, E. S., Oliveira, M. S. P., & Saura-Calixto, F. (2011). Açai (*Euterpe oleraceae*) “BRS Pará”: A tropical fruit source of antioxidant dietary fiber and high antioxidant capacity oil. *Food Research International*, 44(7), 2100–2106. <http://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.09.011>
- Santos, R. M., Santos, A. O., Sussuchi, E. M., Nascimento, J. S., Lima, Á. S., & Freitas, L. S. (2015). Pyrolysis of mangaba seed: Production and characterization of bio-oil. *Bioresource Technology*, 196, 43–8. <http://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.07.060>
- Santos, C. S. P., Cruz, R., Cunha, S. C., & Casal, S. (2013). Effect of cooking on olive oil quality attributes. *Food Research International*, 54, 2016–2024.
- Santos, R.D., Gagliardi, A.C.M, Xavier, H.T. et al. (2013). Sociedade Brasileira de Cardiologia. I Diretriz sobre o consumo de Gorduras e Saúde Cardiovascular, *Arquivos Brasileiros de Cardiologia*, 100(1 Suppl.3), 1–40.
- Santos-Silva, J., Bessa, R. J. B., & Santos-Silva, F. (2002). Effect of genotype, feeding system and slaughter weight on the quality of light lambs. II. Fatty acid composition of meat. *Livestock Production Science*, 77(2/3), 187–194.
- SAS (2010). INC, SAS INSTITUTE. SAS/STAT® 9.22 User's Guide.
- Schulz, M., Borges, G. da S. C., Gonzaga, L. V., Seraglio, S. K. T., Olivo, I. S., Azevedo, M. S., ... Fett, R. (2015). Chemical composition, bioactive compounds and antioxidant capacity of juçara fruit (*Euterpe edulis* Martius) during ripening. *Food Research International*. <http://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.08.006>
- Silva, R. B., Silva-Júnior, E. V., Rodrigues, L. C., Andrade, L. H. C., Silva, S. I. DA, Harand, W., & Oliveira, A. F. M. (2015). A comparative study of nutritional composition and potential use of some underutilized tropical fruits of Arecaceae. *Anais Da Academia Brasileira de Ciencias*, 87(3), 1701–1709. <http://doi.org/10.1590/0001-3765201520140166>
- Simopoulos, A. P. (2011). Evolutionary aspect of diet: the omega-6/omega-3 ratio and the brain. *Molecular Neurobiology*, 44, 203–215.
- Souza, F. F., Quieóz, M. A., & Dias, R. C. S. (2005). Divergência genética entre linhagens de melancia. *Horticultura Brasileira*, 23(2), 179–183.

- Sumathi, S., Chai, S. P., & Mohamed, A. R. (2008). Utilization of oil palm as a source of renewable energy in Malaysia. *Renew Sust Energ Rev.*, 12, 2404–2421.
- Tiwari, M. R., Tiwari, K. K., & Toliwal, D. (2014). Studies on thermal stability of palm–sesame oil blends during deep fat frying. *Journal of Scientific & Industrial Research*, 73, 153–156.
- Traesel, G. K., de Souza, J. C., de Barros, A. L., Souza, M. A., Schmitz, W. O., Muzzi, R. M., ... Arena, A. C. (2014). Acute and subacute (28 days) oral toxicity assessment of the oil extracted from *Acrocomia aculeata* pulp in rats. *Food and Chemical Toxicology: An International Journal Published for the British Industrial Biological Research Association*, 74, 320–25. <http://doi.org/10.1016/j.fct.2014.10.026>
- Tranbarger, T. J., Dussert, S., Joet, T., Argout, X., Summo, M., Champion, A., ... Morcillo, F. (2011). Regulatory Mechanisms Underlying Oil Palm Fruit Mesocarp Maturation, Ripening, and Functional Specialization in Lipid and Carotenoid Metabolism. *Plant Physiology*, 156(2), 564–584. <http://doi.org/10.1104/pp.111.175141>
- Turan, H., Sonmez, G., & Kaya, Y. (2007). Fatty acid profile and proximate composition of the thornback ray (*Raja clavata*, L 1758) from the Sinop coast in the Black Sea. *Journal of Fisheries Sciences*, 1, 97–103.
- Ulbricht, T. L. V., & Southgate, D. A. T. (1991). Coronary heart disease: seven dietary factors. *Lancet*, 338 (8773), 985–992.
- Velasco, L., Rojas-Barros, P., & Fernández-Martínez, J. M. (2005). Fatty acid and tocopherol accumulation in the seeds of a high oleic acid castor mutant. *Industrial Crops and Products*, 22, 201–206.
- Waghray, K., & Gulla, S. (2011). A freedom of choice – Sensory profiling and consumer acceptability of oil blends. *Studies on Home and Community Science*, 5(1), 1–6.
- World Health Organization. (1995). Joint Consultation: fats and oils in human nutrition. *Nutr Rev.*, 53(7), 202–205.
- Zhang, Q., Saleh, A. S. M., Chen, J., & Shen, Q. (2012). Chemical alterations taken place during deep-fat frying based on certain reaction products: A review. *Chemistry and Physics of Lipids*, 165, 662–681.



**Tabela 1.** Composição de ácidos graxos da polpa de *A. intumescens*. Areia-PB, 2016.

Ácidos Graxos (mg.100g <sup>-1</sup> )*	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	Média	CV(%)
<b>C14:0</b>	4,56	6,42	6,24	3,26	5,14	13,1	7,91	6,66	48,08
<b>C16:0</b>	910,13	1524,36	1328,73	688,67	922,99	1094,03	1058,60	1075,36	25,93
<b>C16:1n7</b>	107,02	173,71	272,75	94,15	172,44	323,93	303,64	206,81	45,17
<b>C17:0</b>	4,37	5,57	1,22	2,41	1,31	3,15	2,67	2,96	53,42
<b>C17:1n7c</b>	9,90	13,28	13,24	6,98	9,67	10,82	10,63	10,65	20,52
<b>C18:0</b>	139,71	200,32	98,2	72,12	74,09	56,65	53,15	99,18	53,93
<b>C18:1n9c</b>	7878,69	11242,4	8985,77	5232,54	7660,33	7987,16	7660,55	8092,49	22,18
<b>C18:1n11</b>	334,47	504,89	684,52	299,30	437,78	664,40	599,01	503,48	30,59
<b>C18:2n6c</b>	1023,83	2479,41	2394,86	1232,91	906,73	1706,7	1200,82	1563,61	41,40
<b>C18:3n3</b>	99,79	148,83	144,00	82,73	117,63	137,76	153,37	126,30	21,35
<b>C20:0</b>	7,29	15,72	8,19	5,41	6,72	6,55	7,88	8,25	41,44
<b>C20:1n9</b>	9,97	17,65	3,44	7,01	2,46	8,90	11,42	8,69	59,15
<b>AGS</b>	1066,06	1752,39	1442,58	771,87	1010,26	1173,48	1130,22	1192,41	26,66
<b>AGI</b>	9463,65	14580,16	12498,58	6955,61	9307,03	10839,68	9939,45	10512,02	23,34
<b>AGMI</b>	8340,04	11951,92	9959,73	5639,97	8282,66	8995,21	8585,25	8822,11	21,62
<b>AGPI</b>	1123,61	2628,24	2538,86	1315,64	1024,36	1844,47	1354,2	1689,91	39,26
<b>AG TOTAL</b>	10529,71	16332,55	13941,16	7727,48	10317,29	12013,16	11069,67	11704,43	23,67

AGS = ácidos graxos saturados; AGI = ácidos graxos insaturados; AGMI = ácidos graxos monoinsaturados; AGPI = ácidos graxos polinsaturados; \* = base úmida; CV = coeficiente de variação.

**Tabela 2.** Composição de ácidos graxos da amêndoa de *A. intumescens*. Areia-PB, 2016.

Ácidos Graxos (mg.100g <sup>-1</sup> )*	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	Média	CV(%)
<b>C8:0</b>	650,59	326,16	371,22	255,35	382,45	585,59	407,59	425,56	33,26
<b>C10:0</b>	1072,97	716,19	702,95	588,31	490,86	693,51	572,16	690,99	27,17
<b>C11:0</b>	11,41	8,24	7,15	5,45	5,23	7,4	5,44	7,19	30,52
<b>C12:0</b>	11667,8	8809,72	8623,59	6604,97	6647,54	8961,35	6364,58	8239,94	22,96
<b>C14:0</b>	2887,21	2396,06	2316,82	1618,47	2082,24	2619,86	1531,08	2207,39	22,65
<b>C14:1</b>	7,72	3,98	4,87	4,36	2,97	5,29	3,9	4,73	32,03
<b>C15:0</b>	3,94	4,55	4,21	2,8	4,41	7,29	3,29	4,36	33,01
<b>C16:0</b>	2253,53	2027,76	2191,75	1480,35	2091,85	2488,24	1471,66	2000,73	19,33
<b>C16:1n7</b>	11,91	35,05	18,77	10,21	14,22	21,93	11,37	17,64	49,74
<b>C17:0</b>	7,59	6,84	7,01	4,38	6,83	9,28	5,32	6,75	23,31
<b>C17:1n7c</b>	3,69	1,09	3,98	1,72	4,25	4,4	2,9	3,15	41,23
<b>C18:0</b>	830,13	734,52	705,39	527,05	555,05	981,65	499,97	690,54	25,62
<b>C18:1n9c</b>	7529,45	7174,63	8961,67	5526,13	7802,23	9900,42	6408,71	7614,75	19,40
<b>C18:1n11</b>	84,82	75,83	102,33	63,22	91,64	115,11	71,08	86,29	21,11
<b>C18:2n6c</b>	896,03	838,95	1057,97	769,35	1138,08	1331,93	962,71	999,29	19,33
<b>C18:3n3</b>	2,6	1,8	3,97	3,91	3,79	4,71	3,35	3,45	28,13
<b>C20:0</b>	55,45	48,86	49,73	37,53	41,75	62,23	36,67	47,46	19,93
<b>C20:1n9</b>	40,55	34,18	40,24	27,7	38,97	39,73	31,61	36,14	13,96
<b>C22:0</b>	23,64	19,61	21,49	17,33	22,1	25,26	17,42	20,98	14,40
<b>C22:6n3</b>	20,8	17,26	20,19	10,78	17,43	17,54	13,33	16,76	21,36
<b>C24:0</b>	14,58	17,45	19,11	12,07	7,31	8,23	5,25	12,00	44,19
<b>AGS</b>	19478,83	15115,97	15020,44	11154,07	12337,6	16449,9	10920,42	14353,89	21,62
<b>AGI</b>	8597,57	8182,78	10214,00	6417,38	9113,58	11441,04	7508,98	8782,19	19,07
<b>AGMI</b>	7678,15	7324,76	9131,87	5633,35	7954,28	10086,87	6529,58	7762,69	19,37
<b>AGPI</b>	919,42	858,02	1082,13	784,03	1159,30	1354,18	979,40	1019,50	19,15
<b>TOTAL</b>	28076,4	23298,75	25234,44	17571,45	21451,18	27890,94	18429,4	23136,08	18,29

AGS = ácidos graxos saturados; AGI = ácidos graxos insaturados; AGMI = ácidos graxos monoinsaturados; AGPI = ácidos graxos polinsaturados; \* = base úmida; CV = coeficiente de variação.

**Tabela 3.** Índices de qualidade nutricional da fração lipídica da polpa e amêndoa de diferentes genótipos de macaíbeira. Areia-PB, 2016.

Índices	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	Média	CV(%)
<b>Pulp</b>									
<b>ω6*</b>	1023,83	2479,41	2394,86	1232,91	906,73	1706,7	1200,82	1563,61	41,40
<b>ω3*</b>	99,79	148,83	144	82,73	117,63	137,76	153,37	126,30	21,35
<b>ω6/ω3</b>	10,26	16,66	16,63	14,9	7,71	12,39	7,83	12,34	31,34
<b>AGPI:AGS</b>	1	1,45	1,7	1,57	0,95	1,49	1,14	1,33	22,24
<b>AGMI:AGS</b>	7,43	6,61	6,66	6,73	7,69	7,25	7,23	7,09	5,95
<b>AGD (%)</b>	91,2	90,39	90,36	90,94	90,93	90,7	90,27	90,68	0,39
<b>IA</b>	0,10	0,11	0,11	0,1	0,1	0,11	0,11	0,11	5,06
<b>IT</b>	0,21	0,23	0,22	0,21	0,2	0,2	0,21	0,21	5,06
<b>HH</b>	9,84	9,06	8,63	9,46	9,36	8,88	8,45	9,10	5,38
<b>Kernel</b>									
<b>ω6</b>	896,03	838,95	1057,97	769,35	1138,08	1331,93	962,71	999,29	19,33
<b>ω3</b>	23,4	19,6	24,16	14,69	21,22	22,25	16,68	20,29	17,34
<b>ω6/ω3</b>	38,29	42,8	43,79	52,37	53,63	59,86	57,72	49,78	16,46
<b>AGPI:AGS</b>	0,05	0,06	0,07	0,07	0,09	0,08	0,09	0,07	20,53
<b>AGMI:AGS</b>	0,39	0,47	0,59	0,49	0,62	0,6	0,58	0,53	15,99
<b>AGD (%)</b>	33,58	38,27	43,27	36,52	45,07	44,54	40,75	40,29	10,79
<b>IA</b>	2,96	2,50	1,97	2,27	1,87	1,92	1,86	2,19	18,88
<b>IT</b>	1,37	1,25	1,01	1,12	1,03	1,05	0,92	1,11	13,96
<b>HH</b>	1,64	1,82	2,23	2,04	2,15	2,2	2,46	2,08	13,17

ω6 = ácidos graxos ômega 6; ω3 = ácidos graxos ômega 3; AGPI = ácidos graxos polinsaturados; AGS = ácidos graxos saturados; AGMI = ácidos graxos monoinsaturados; AGD = ácidos graxos desejáveis; IA = Índice de aterogenicidade; IT = Índice de trombogenicidade; HH =  $\Sigma$  hipocolesterolêmicos/ $\Sigma$  hipercolesterolêmicos; CV = coeficiente de variação; \* = mg.100g<sup>-1</sup>

**Tabela 4.** Dados das curvas TG, DTA dos óleos brutos da polpa e amêndoa de macaíba.

Samples	TG – Dynamic			DTA	Resíduo
	Step	T <sub>i</sub> <sup>a</sup> – T <sub>f</sub> <sup>b</sup> / °C	Δm <sup>c</sup> / %	T <sub>peak</sub> (°C) <sup>d</sup>	(%)
<b>Pulp</b>					
<b>G1</b>	1 <sup>st</sup>		2.44		
	2 <sup>nd</sup>	189 – 388	57.49	381	
	3 <sup>rd</sup>	388 – 487	32.01	474	0.84
	4 <sup>th</sup>	487 – 559	6.78	518	
<b>G2</b>	1 <sup>st</sup>		2.27		
	2 <sup>nd</sup>	244 – 393	58.19	385	
	3 <sup>rd</sup>	393 – 474	32.69	412	0.65
	4 <sup>th</sup>	474 – 564	5.44	500	
<b>G3</b>	1 <sup>st</sup>		2.20		
	2 <sup>nd</sup>	265 – 378	55.04	369	
	3 <sup>rd</sup>	378 – 460	32.00	407	0.42
	4 <sup>th</sup>	460 – 559	9.84	480	
<b>G4</b>	1 <sup>st</sup>		6.44		
	2 <sup>nd</sup>	202 – 373	48.62	363	
	3 <sup>rd</sup>	373 – 461	32.27	417	0.87
	4 <sup>th</sup>	461 – 547	10.70	475	
<b>G5</b>	1 <sup>st</sup>		0.82		
	2 <sup>nd</sup>	249 – 389	56.90	383	
	3 <sup>rd</sup>	389 – 474	36.56	416	0.82
	4 <sup>th</sup>	474 – 568	5.32	485	
<b>G6</b>	1 <sup>st</sup>		1.90		
	2 <sup>nd</sup>	242 – 381	49.88	376	
	3 <sup>rd</sup>	381 – 461	37.32	385	1.04
	4 <sup>th</sup>	461 – 564	9.64	474	
<b>G7</b>	1 <sup>st</sup>		1.29		
	2 <sup>nd</sup>	236 – 385	50.59	365	
	3 <sup>rd</sup>	385 – 468	39.12	467	0.49
	4 <sup>th</sup>	468 – 556	7.90	522	
<b>Kernel</b>					
<b>G1</b>	1 <sup>st</sup>		8.00		
	2 <sup>nd</sup>	169 – 365	73.00	363	0.28
	3 <sup>rd</sup>	365 – 449	11.09	420	
	4 <sup>th</sup>	449 – 539	6.98	472	
<b>G2</b>	1 <sup>st</sup>		1.16		
	2 <sup>nd</sup>	254 – 379	80.13	373	0.75
	3 <sup>rd</sup>	379 – 458	12.67	447	
	4 <sup>th</sup>	458 – 550	5.75	478	
<b>G3</b>	1 <sup>st</sup>		2.88		
	2 <sup>nd</sup>	177 – 380	72.20	374	0.42
	3 <sup>rd</sup>	380 – 450	16.43	393	
	4 <sup>th</sup>	450 – 554	7.16	486	
<b>G4</b>	1 <sup>st</sup>		0.95		
	2 <sup>nd</sup>	264 – 387	80.97	379	0.50
	3 <sup>rd</sup>	387 – 451	10.65	408	
	4 <sup>th</sup>	451 – 543	7.14	483	
<b>G5</b>	1 <sup>st</sup>		0.86		
	2 <sup>nd</sup>	250 – 378	76.27	373	0.55
	3 <sup>rd</sup>	378 – 457	14.60	423	
	4 <sup>th</sup>	457 – 544	7.52	480	
<b>G6</b>	1 <sup>st</sup>		1.34		
	2 <sup>nd</sup>	276 – 385	75.53	377	1.17
	3 <sup>rd</sup>	385 – 450	14.42	413	
	4 <sup>th</sup>	450 – 525	7.42	489	

<b>G7</b>	1 <sup>st</sup>		0.96		
	2 <sup>nd</sup>	262 – 383	78.38	377	0.56
	3 <sup>rd</sup>	383 – 453	13.36	426	
	4 <sup>th</sup>	453 – 552	6.29	479	

<sup>a</sup>Initial temperature; <sup>b</sup>Final temperature; <sup>c</sup>Mass loss; <sup>d</sup>Peak temperature.

**Tabela 5.** Autovetores de dois componentes principais (CP1 e CP2) de variáveis relacionadas com o conteúdo de ácidos graxos na polpa de frutos de sete genótipos de macaíbeira. Areia-PB, 2016.

<b>Variables</b>	<b>Component 1</b>	<b>Component 2</b>
C12:0	0,113	<b>0,348*</b>
C16:0	<b>0,297</b>	0,021
C16:1n7	0,127	<b>0,459</b>
C17:0	0,138	<b>-0,354</b>
C17:1n7c	<b>0,284</b>	0,086
C18:0	0,185	<b>-0,405</b>
C18:1n9c	<b>0,286</b>	-0,082
C18:1n11	0,184	<b>0,415</b>
C18:2n6c	<b>0,257</b>	0,021
C18:3n3	<b>0,241</b>	0,250
C20:0	<b>0,257</b>	-0,237
C20:1n9	0,165	-0,260
AGS	<b>0,296</b>	-0,051
AGI	<b>0,297</b>	-0,008
AGMI	<b>0,291</b>	-0,021
AGPI	<b>0,261</b>	0,031
AG TOTAL	<b>0,297</b>	-0,013
<b>Eigenvalues</b>	<b>11,20</b>	<b>3,57</b>
<b>VA(%)</b>	<b>65,89</b>	<b>86,92</b>

\*Negrito indica as variáveis com contribuição significativa dentro de cada CP definidas com base no valor de 0,7 do máximo |autovetor|; VA = variância acumulada.

**Tabela 6.** Autovetores de dois componentes principais (CP1 e CP2) de variáveis relacionadas com o conteúdo de ácidos graxos na amêndoa de frutos de sete genótipos de macaíbeira. Areia-PB, 2016.

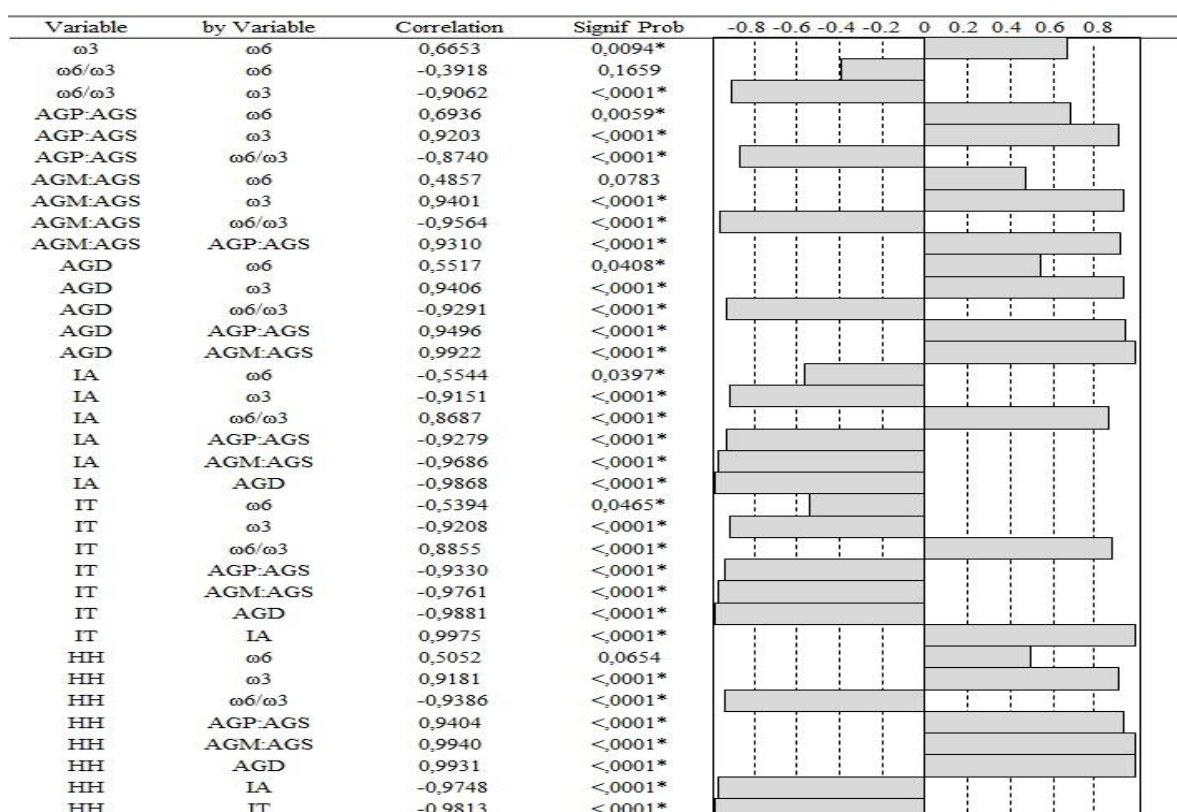
<b>Variables</b>	<b>Component 1</b>	<b>Component 2</b>
C8:00	<b>0,197*</b>	0,064
C10:0	0,139	<b>0,324</b>
C11:0	0,156	<b>0,318</b>
C12:0	<b>0,187</b>	<b>0,272</b>
C14:0	<b>0,227</b>	0,156
C14:1	0,141	<b>0,258</b>
C15:0	<b>0,199</b>	-0,164
C16:0	<b>0,242</b>	-0,016
C16:1n7	0,076	0,062
C17:0	<b>0,242</b>	-0,052
C17:1n7c	0,163	-0,210
C18:0	<b>0,227</b>	0,061
C18:1n9c	<b>0,225</b>	-0,154
C18:1n11	<b>0,218</b>	-0,187
C18:2n6c	0,166	<b>-0,307</b>
C18:3n3	0,040	<b>-0,328</b>
C20:0	<b>0,237</b>	0,053
C20:1n9	<b>0,226</b>	-0,028
C22:0	<b>0,239</b>	-0,046
C22:6n3	<b>0,210</b>	0,098
C24:0	0,055	<b>0,260</b>
AGS	<b>0,212</b>	0,216
AGI	<b>0,221</b>	-0,173
AGMI	<b>0,225</b>	-0,153
AGPI	0,168	<b>-0,303</b>
TOTAL	<b>0,243</b>	0,090
<b>Eigenvalues</b>	<b>16,08</b>	<b>5,79</b>
<b>VA(%)</b>	<b>61,85</b>	<b>84,15</b>

\*Negrito indica as variáveis com contribuição significativa dentro de cada CP definidas com base no valor de 0,7 do máximo |autovetor|; VA = variância acumulada.

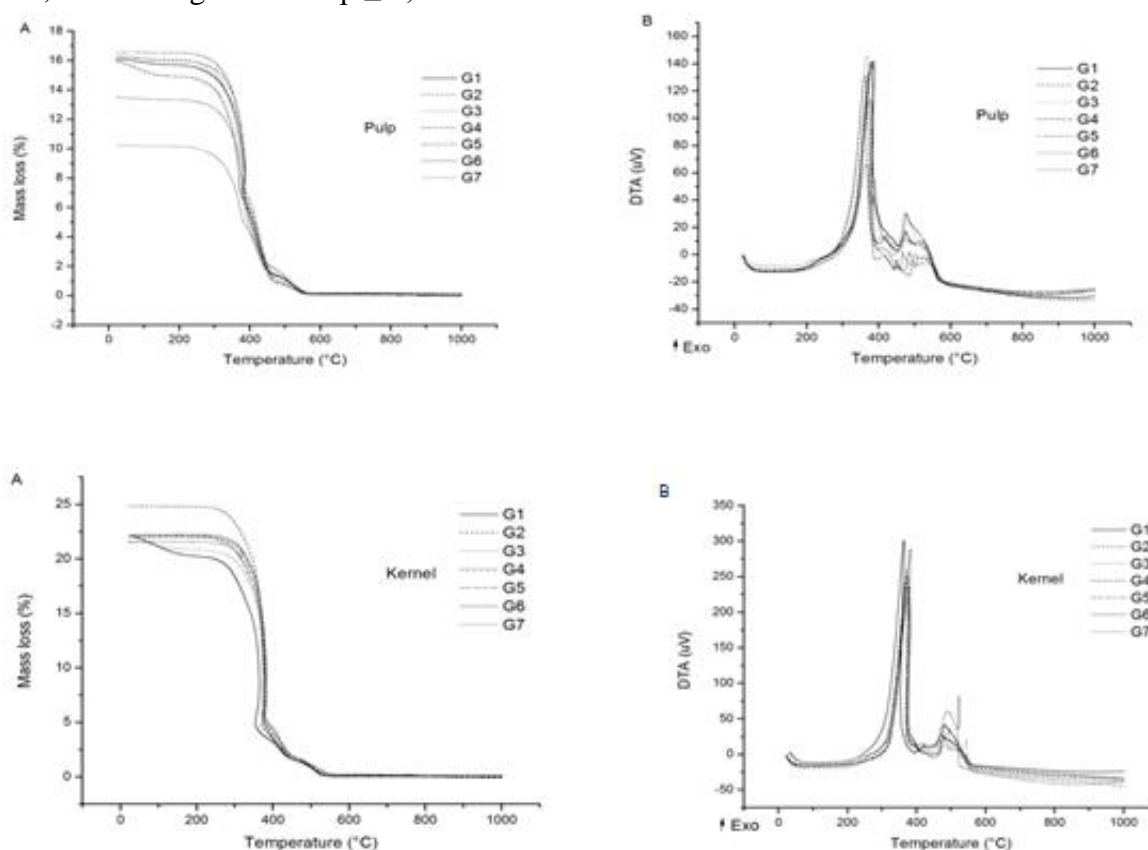
**Tabela 7.** Autovetores de dois componentes principais (CP1 e CP2) de variáveis relacionadas com os índices de qualidade nutricional da fração lipídica de frutos de diferentes genótipos de macaibeira. Areia-PB, 2016.

<b>Pulp</b>		
<b>Variables</b>	<b>Eigenvectors</b>	
	<b>Component 1</b>	<b>Component 2</b>
<b><math>\omega 6</math></b>	<b>0,392*</b>	0,126
<b><math>\omega 3</math></b>	<b>0,294</b>	<b>-0,441</b>
<b><math>\omega 6/\omega 3</math></b>	<b>0,303</b>	<b>0,444</b>
<b>AGP:AGS</b>	<b>0,322</b>	0,286
<b>AGM:AGS</b>	<b>-0,342</b>	<b>-0,347</b>
<b>AGD</b>	<b>-0,362</b>	0,296
<b>IA</b>	<b>0,362</b>	-0,293
<b>IT</b>	<b>0,306</b>	0,231
<b>HH</b>	<b>-0,303</b>	<b>0,405</b>
<b>Autovalores</b>	<b>5,69</b>	<b>2,33</b>
<b>VA(%)</b>	<b>62,70</b>	<b>88,18</b>
<b>Almond</b>		
<b>Variables</b>	<b>Eigenvectors</b>	
	<b>Component 1</b>	<b>Component 2</b>
<b><math>\omega 6</math></b>	0,263	0,495
<b><math>\omega 3</math></b>	-0,040	<b>0,737</b>
<b><math>\omega 6/\omega 3</math></b>	<b>0,328</b>	-0,224
<b>AGP:AGS</b>	<b>0,370</b>	-0,141
<b>AGM:AGS</b>	<b>0,381</b>	0,120
<b>AGD</b>	<b>0,350</b>	0,289
<b>IA</b>	<b>-0,385</b>	0,035
<b>IT</b>	<b>-0,371</b>	0,136
<b>HH</b>	0,363	-0,158
<b>Eigenvalues</b>	<b>6,550</b>	<b>1,780</b>
<b>VA(%)</b>	<b>72,77</b>	<b>92,40</b>

\*Negrito indica as variáveis com contribuição significativa dentro de cada CP definidas com base no valor de 0,7 do máximo |autovetor|; VA = variância acumulada.

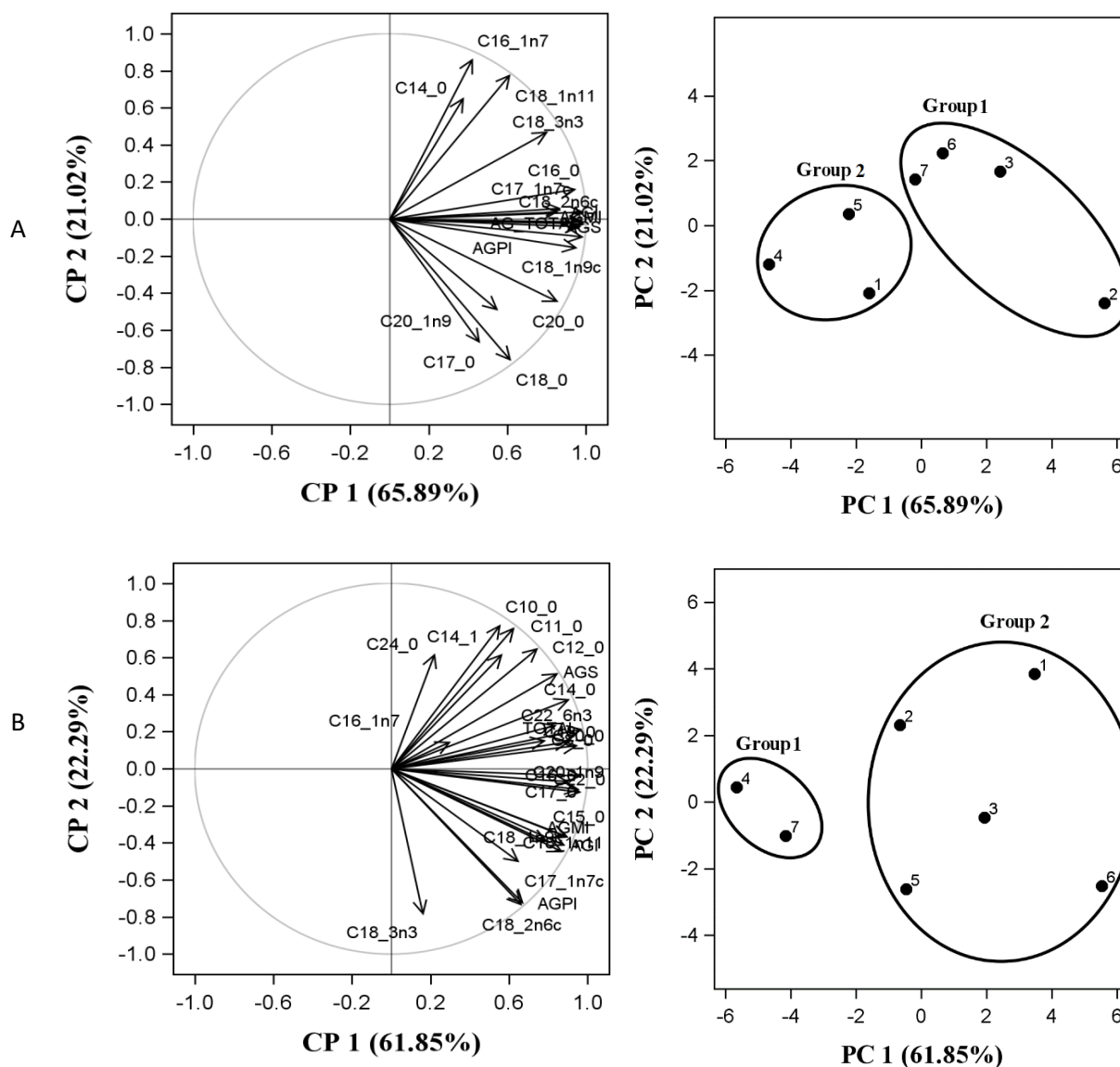


**Figura 1.** Valores de correlação entre as variáveis relacionadas com os índices de qualidade nutricional da fração lipídica da polpa e amêndoa de *A. intumescens*. Areia-PB, 2016. \*Significância  $p \leq 0,05$ .

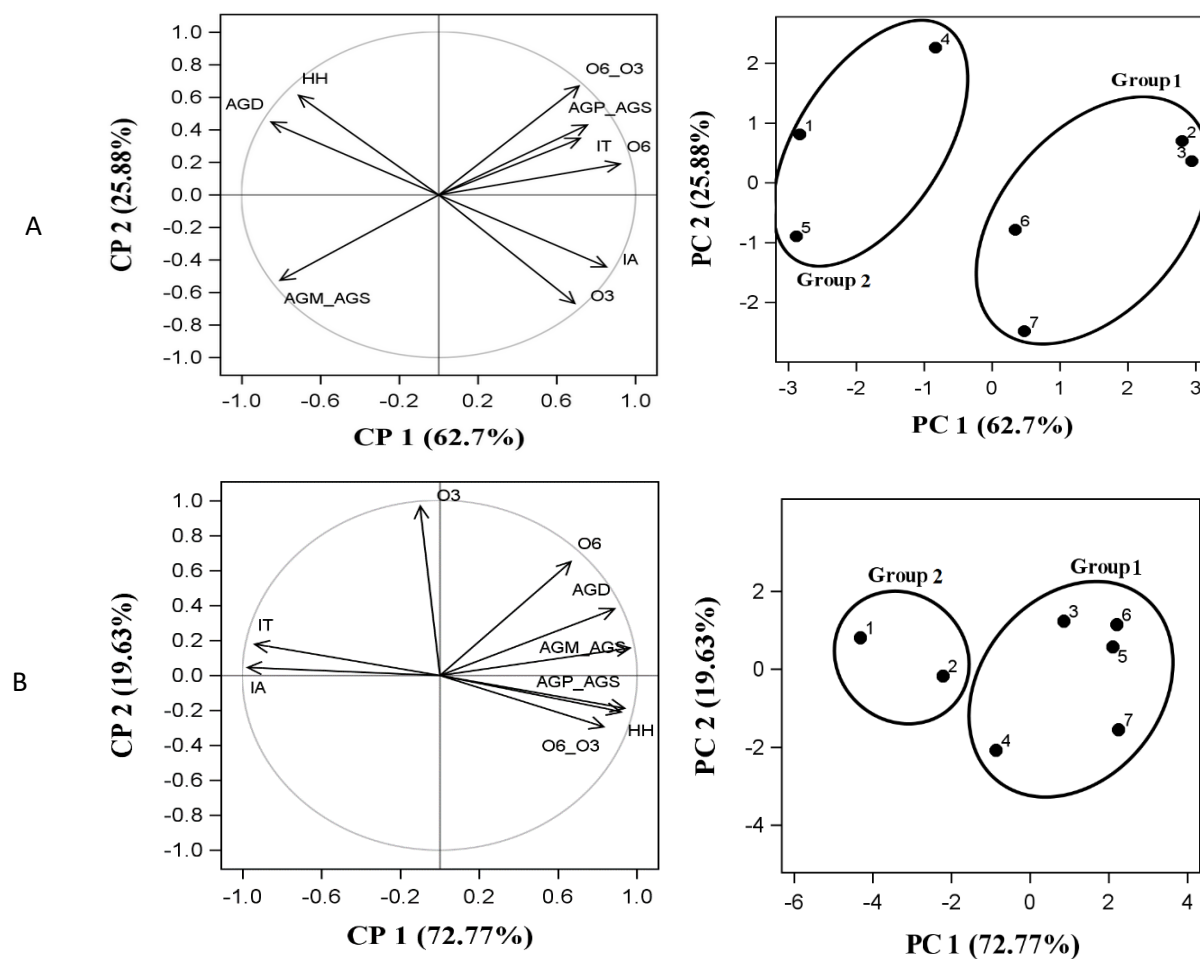


**Figura 2.** Curvas TG (A) e DTA (B) dos óleos brutos de macaíba.

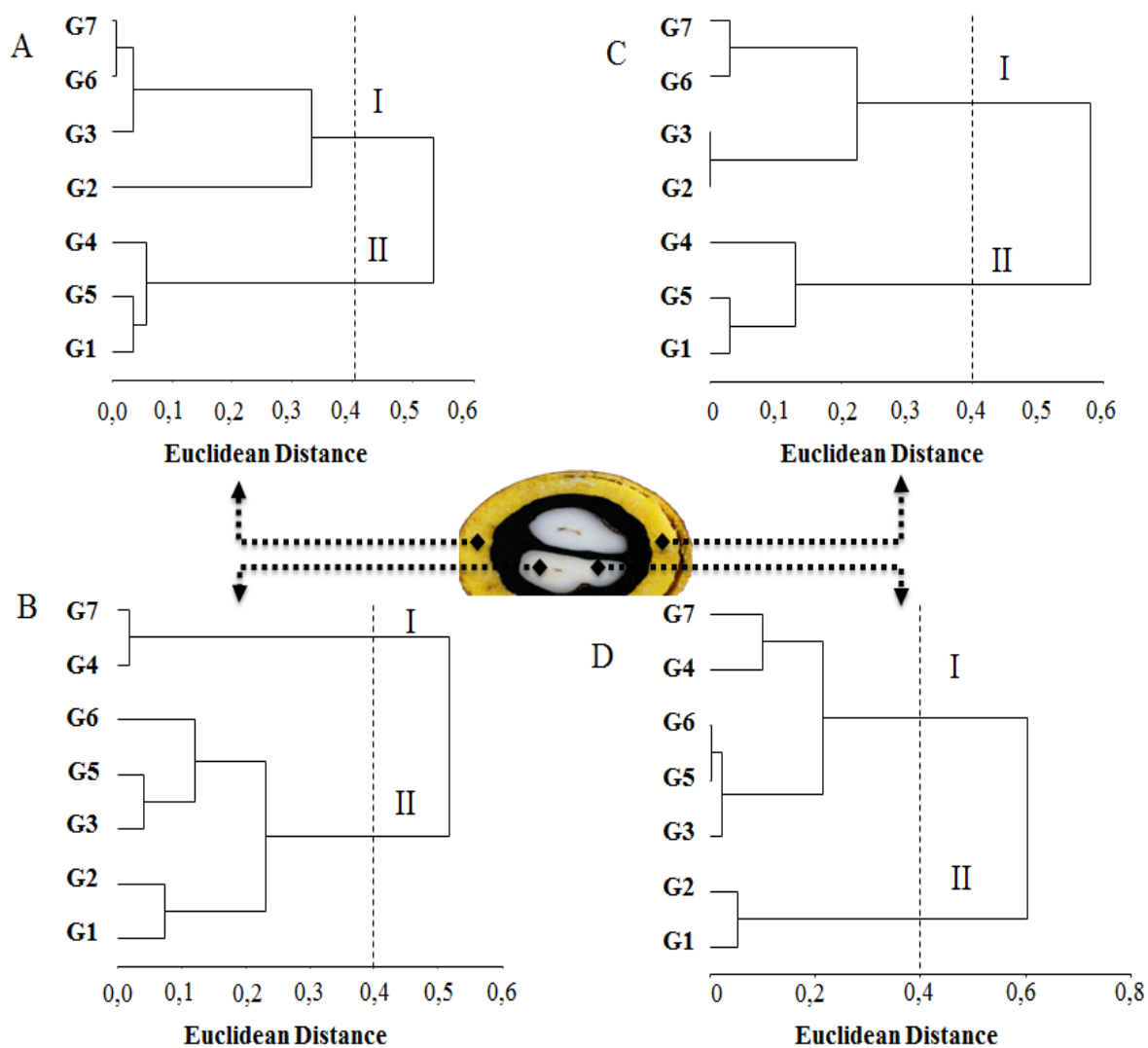




**Figura 3.** Círculo de autovetores das variáveis relacionadas ao conteúdo de ácidos graxos na polpa (A) e amêndoa (B) de macaíbeira e dispersão dos genótipos (1-7) com base nos escores de dois componentes principais: CP1 e CP2. Areia-PB, 2016. O número de grupos na ACP foi definido com base no valor de CCC (SAS, 2010).



**Figura 4.** Círculo de autovetores das variáveis relacionadas aos índices de qualidade nutricional da fração lipídica na polpa (A) e amêndoa (B) de macaibeira e dispersão dos genótipos (1-7) com base nos escores de dois componentes principais: CP1 e CP2. Areia-PB, 2016. O número de grupos na ACP foi definido com base no valor de CCC (SAS, 2010).



**Figura 5.** Dendograma de dissimilaridade entre genótipos de macaibeira avaliados através de análise de cluster pelo método Ward's, com base no perfil de ácidos graxos (A e B) e nos índices de qualidade nutricional (C e D) da fração lipídica de frutos de *A. intumescens*. Areia-PB, 2016.

**Compostos bioativos, atividade antioxidante e perfil de fenólicos de casca, polpa e  
amêndoa de macaíba (*Acrocomia intumescens* Drude)**

Cassara Camelo Eloi de Souza<sup>a\*</sup>; Bruno Raniere Lins de Albuquerque Meireles<sup>b</sup>, Angela Tribuzy Magalhães Cordeiro<sup>b</sup>, Renato Pereira Lima<sup>c</sup>, Alex Sandro Bezerra de Sousa<sup>c</sup> Silvanda de Melo Silva<sup>c</sup>

<sup>a</sup>Campus Anísio Teixeira (CAT), Instituto Multidisciplinar em Saúde (IMS), Universidade Federal da Bahia-UFBA. Rua Rio de Contas, 58, Quadra 17, Lote 58, Bairro Candeias, CEP: 45.029-094, Vitória da Conquista-BA, Brazil.

<sup>b</sup>Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, CT, Universidade Federal da Paraíba (UFPB), 58051-970, Campus I, João Pessoa - Paraíba, Brasil.

<sup>c</sup>Departamento de Ciências Fundamentais e Sociais do Centro de Ciências Agrárias - DCFS, Centro de Ciências Agrárias - CCA, Universidade Federal da Paraíba - UFPB, Rod. BR 079, Km 12, CEP 8397-000, Areia, PB, Brazil, e-mail:silvasil@cca.ufpb.br

**\*Corresponding author:** Cassara Camelo Eloi de Souza. Campus Anísio Teixeira (CAT), Instituto Multidisciplinar em Saúde (IMS), Universidade Federal da Bahia-UFBA. Rua Rio de Contas, 58, Quadra 17, Lote 58, Bairro Candeias | CEP: 45.029-094, Vitória da Conquista-BA, Brazil.

Telefone:

e-mail: cassara@ufba.br.

**Resumo:** A proposta desta pesquisa foi avaliar os compostos bioativos, perfil de fenólicos e atividade antioxidante de casca, polpa e amêndoa de sete genótipos de macaíba (*A. intumescens*). Verificou-se que os maiores teores de fenólicos totais foram observados na casca ( $274,55 \text{ mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$ ) e na amêndoa ( $147,23 \text{ mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$ ). O alto conteúdo de carotenoides totais e flavonoides amarelos foram encontrados tanto na polpa quanto na casca dos genótipos e a polpa destacou-se também pelos níveis de ácido ascórbico ( $47,60 \text{ mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$ ). Os genótipos que se destacaram por apresentar maior atividade antioxidante foram G6 (casca), G2, G3 e G6 (polpa) e G5 (amêndoa). O perfil de fenólicos (HPLC-UV) das frações analisadas foi composto por catequina, crisina, flavanonas e principalmente ácidos fenólicos e flavonóis. A catequina ( $0,34\text{-}15,39 \text{ mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$ ) foi o único fenólico encontrado em todas as frações e genótipos pesquisados. No entanto, as maiores concentrações de fenólicos foram observadas na casca e a miricetina ( $11,42\text{-}40,62 \text{ mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$ ) foi majoritária. A ACP se mostrou eficiente para identificar as características mais significativas na diferenciação entre os genótipos e a macaíba exibiu riqueza de bioativos e capacidade de exploração industrial de todas as suas frações.

**Palavras-chave:** carotenoides; HPLC; ACP; genótipo; macaíba.

## 1. Introdução

O Brasil possui uma região geográfica com condições climáticas adequadas para um grande número de frutas nativas que podem possuir um excelente potencial agroindustrial, representando, assim, uma renda econômica interessante para os produtores locais. A avaliação de suas propriedades bioativas reforça a sua posição no mercado, atingindo tanto mercados específicos criados pela demanda dos consumidores por novos produtos capazes de manter a saúde e prevenir doenças, bem como o crescente mercado de ingredientes funcionais. Entre estes compostos, aqueles relacionados com a atividade antioxidante são objeto de diversos estudos de investigação, devido à sua enorme importância para a saúde humana (Paz et al., 2015). O consumo de frutas é conhecido por reduzir o risco de desenvolvimento de diversas doenças não transmissíveis, como câncer e acidente vascular cerebral (Nunes et al., 2016).

A palmeira macaíba, *Acrocomia intumescens* Drude, pertencente à família Arecaceae, é nativa e endêmica da Mata Atlântica brasileira (Leitman et al., 2015) e os seus frutos fornecem o mesocarpo (polpa) e amêndoa que são consumidos de forma incipiente *in natura*

ou na forma de farinhas para diversos preparos alimentícios. Têm sido referenciada como alimento de alta densidade energética, rico em carboidratos, fibras, proteínas, lipídios e carotenoides totais destacando-se como fonte economicamente importante de óleo constituído por um perfil de ácidos graxos com elevados teores de ácido oleico e linoleico na polpa e de láurico, palmítico e oleico na amêndoa (Bora & Rocha, 2004; Silva et al., 2015). Embora rica nutricionalmente, permanece não domesticada e pouco explorada e dentre os obstáculos para sua exploração, existe o desconhecimento de dados relativos à sua morfologia, produção, processamento, perfil de vitaminas, fenólicos, minerais e aspectos moleculares, especialmente em genótipos que estão localizadas no bioma Mata Atlântica.

Assim, o estudo de tais espécies de frutos, a caracterização de seus compostos bioativos e avaliação das suas propriedades funcionais são desafios a superar, a fim de garantir a sua apreciação efetiva no agronegócio, gerando matéria prima de qualidade para as indústrias farmacêutica, cosmética e de alimentos (Berto, Ribeiro, de Souza, Fernandes, & Chisté, 2015). Adicionalmente, não foram encontradas pesquisas científicas sobre a diversidade genética da *A. intumescens* em populações naturais referentes à composição em bioativos e propriedades antioxidantes, as quais são fundamentais em programas de melhoramento genético e na obtenção de plantas de qualidade superior que atendam a demanda do mercado de alimentos funcionais. Portanto, para estimular o cultivo e o consumo de uma fruta com amplo potencial de utilização, o presente artigo teve como objetivo determinar os compostos bioativos, a atividade antioxidante e o perfil de fenólicos da casca, polpa e amêndoa de *A. intumescens* em diferentes genótipos da Mata Atlântica.

## **2. Material e Métodos**

### **2.1 Material Vegetal**

Os frutos de macaibeira (*Acrocomia intumescens* Drude) no estágio maduro foram colhidos manualmente nas primeiras horas do dia de diferentes cachos presentes na copa das plantas em julho de 2013. A colheita foi realizada antes da abscisão da planta em frutos de sete genótipos de ocorrência espontânea da Mata Atlântica provenientes do Parque Estadual Mata do Pau Ferro (G1, G2, G3 e G4) e entorno (G5, G6 e G7) no município de Areia, PB, Brasil.

Após a colheita, os frutos foram transportados ao laboratório de Biologia e Tecnologia Pós-Colheita do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Paraíba

(CCA/UFPB), lavados, secos à temperatura ambiente e selecionados quanto à ausência de injúrias. Os frutos foram processados manualmente e separados em casca, polpa, amêndoa e endocarpo, onde este último foi descartado. As frações foram homogeneizadas separadamente e armazenadas em potes plásticos sob refrigeração (-18°C) até o momento das análises. O material estudado foi identificado e registrado no Herbário Jayme Coêlho de Moraes da Universidade Federal da Paraíba, sob o número 21694.

## 2.2 Análises fitoquímicas

**Ácido Ascórbico (mg.100 g<sup>-1</sup>):** Determinado logo após o processamento por titulometria utilizando-se solução de DFI (2,6 dicloro-fenolindofenol 0,002%) de acordo com Strohecker & Henning (1967). Utilizou-se 1 g de polpa e 2,5 g de amêndoa diluídas em 50 mL de ácido oxálico a 0,5% para preparo do extrato. Os resultados foram calculados pela fórmula:  $(V \times F/1000) \times 100/P$  sendo V= volume de DFI gasto na titulação; F = fator do DFI; e P= peso da amostra.

**Clorofila total (mg.100 g<sup>-1</sup>):** Foi determinada na casca conforme metodologia de Bruinsma (1963). Os extratos foram preparados a partir da maceração de 3 g de casca em 10 mL de acetona a 80% permanecendo protegidos da luz durante 12 horas sob refrigeração para posterior leitura em espectrofotômetro a 652 nm. Os resultados foram calculados pela equação de Engel & Poggiani (1991).

**Carotenoides Totais (mg.100 g<sup>-1</sup>):** Foram determinados pelo método de Higby (1962). Os extratos foram preparados utilizando-se 3 g de casca, 1 g de polpa e 4 g de amêndoa maceradas em 10 mL de hexano PA e carbonato de cálcio os quais permaneceram protegidos da luz durante 12 horas sob refrigeração. Em seguida, procedeu-se a centrifugação a 8.000 rpm durante 10 minutos para posterior leitura em espectrofotômetro a 450 nm. Os extratos da casca foram previamente macerados com acetona a 50%, a qual foi desprezada e adicionou-se areia calcinada. Os resultados foram calculados utilizando a fórmula: Carotenoides totais =  $(A_{450} \times 100)/(250 \times L \times W)$ , sendo A<sub>450</sub> = absorbância; L = largura da cubeta em cm; e W = quociente entre a massa da amostra em gramas e o volume final da diluição em mL.

**Flavonoides Amarelos (mg.100 g<sup>-1</sup>):** Foram determinados conforme método de Francis (1982). Os extratos foram preparados a partir da maceração de 1 g de casca, 1 g de polpa e 3 g de amêndoa em 10 mL de solução extratora (etanol PA: HCl 1,5 M - 85:15), os quais permaneceram protegidos da luz durante 12 horas sob refrigeração. Em seguida, foi feita a

centrifugação a 9.000 rpm por 15 min para posterior leitura em espectrofotômetro a 374 nm. Os resultados foram calculados através da fórmula: fator de diluição x absorbância/76,6.

## **2.3 Determinação de compostos fenólicos e atividade antioxidante total**

### *2.3.1 Preparo dos extratos*

Os extratos provenientes da casca, polpa e amêndoa utilizados para a determinação da atividade antioxidante e polifenóis extraíveis totais (PET) foram obtidos conforme Larrauri *et al.* (1997). Pesou-se 1 g de casca e amêndoa e 3 de polpa e adicionou-se 4 mL de metanol 50%, deixando-se em repouso por 1 hora para extração e seguiu-se de centrifugação por 15 minutos a 15.000 rpm. Em seguida, foi retirado o sobrenadante, colocando-o em tubo de ensaio graduado. Adicionou-se 4 mL de acetona 70% ao resíduo, deixando-se extrair por 1 hora, sendo centrifugado por 15 minutos a 15.000 rpm. O sobrenadante foi retirado e colocado junto com o primeiro sobrenadante, completando o volume para 10 mL com água destilada. Todo procedimento foi realizado na ausência de luz.

### *Polifenóis Extraíveis Totais (PET)*

A determinação foi realizada conforme Obanda & Owuor (1997) utilizando-se o reagente de Folin- Ciocalteau e leitura em espectrofotômetro a 700 nm. Tomou-se uma alíquota do extrato fenólico, completando-se o volume para 1.000  $\mu$ L com água destilada. Esta diluição foi adicionada de 1 mL do reagente Folin-Ciocalteau, 2 mL de carbonato de sódio 20% e 2 mL de água destilada. Após agitação, incubou-se a solução, contendo o extrato por 30 minutos na ausência de luz. Os resultados foram expressos em mg de ácido gálico equivalente (AGE)/100g.

### *Atividade antioxidante - Método DPPH•*

A partir de extrato fenólico obtido anteriormente, foram preparadas três diluições (200, 600 e 1000  $\mu$ L. mL<sup>-1</sup>) em triplicata, determinadas através de testes prévios, tomando como base a curva padrão do DPPH• (concentração final variando de 0 a 60  $\mu$ M, diluída e metanol PA). De cada diluição, utilizou-se uma alíquota de 100  $\mu$ L à qual foi adicionado 3,9 mL do radical DPPH• (60  $\mu$ M). Como controle, utilizou-se 100  $\mu$ L da solução controle (álcool



metílico 50% + acetona 70% + água destilada – 4:4:2). Para calibração do espectrofotômetro (Geneses TM 10s UV VIS) no comprimento de onda de 515 nm, utilizou-se álcool metílico PA.

As diluições foram incubadas à temperatura ambiente, na ausência da luz por 50 minutos, tomando como base a estabilização de absorbância. Para calcular a ATT (g polpa. g DPPH<sup>•-1</sup>), foi determinada a equação da reta, a partir da absorbância das três diluições, substituindo-se em seguida na equação a absorbância equivalente a 50% da concentração do DPPH<sup>•</sup> (abs. inicial do controle/2), encontrando-se a quantidade da amostra necessária para reduzir em 50% a concentração inicial do radical DPPH<sup>•</sup> (EC<sub>50</sub>). Os resultados foram expressos como EC<sub>50</sub> em g fruta/g DPPH = (EC<sub>50</sub> (mg/L) / 1.000 x 1) / g DPPH<sup>•</sup> (Rufino et al., 2007a).

#### *Atividade antioxidante - Método ABTS<sup>•+</sup>*

A atividade antioxidante total (AAT) foi determinada através de ensaio com o radical livre ABTS<sup>•+</sup> preparado pela reação de 5 mL de ABTS<sup>•+</sup> (7 mM) com 88 µL de persulfato de potássio (140 mM). O sistema foi mantido em repouso, à temperatura ambiente (25°C) durante 16 horas na ausência de luz. Uma vez formado o radical ABTS<sup>•+</sup>, o mesmo foi diluído com etanol PA até se obter valor de absorbância de 700 nm a 734 nm. Usando uma alíquota de 30 µL do extrato + água, foram adicionados 3 ml da solução com absorbância a 700 nm (radical ABTS<sup>•+</sup> + etanol PA) na ausência de luz.

O decréscimo da absorbância a 734 nm foi medido depois de 6 minutos. Os resultados foram expressos como TEAC (Atividade Antioxidante Equivalente ao Trolox) em µM de Trolox/g de polpa fresca (Rufino et al., 2007b).

## **2.4 Perfil de fenólicos**

### *2.4.1 Extração*

Utilizou-se 5 g de amostra (polpa, casca e amêndoa) e adicionou-se 20 mL de metanol (50%). Em seguida, as amostras foram homogeneizadas durante 2 minutos em vortex. A mistura foi deixada em repouso por uma hora à temperatura ambiente e seguiu para centrifugação a 9.000 rpm durante 15 minutos a 25 °C. O sobrenadante foi reservado em tubo de ensaio devidamente protegido da luz. Adicionou-se 20 mL de acetona (70%) ao

precipitado e repetiu-se o procedimento descrito acima. O segundo sobrenadante foi adicionado ao primeiro e concentrado em estufa a 40°C.

#### 2.4.2 Identificação

A separação e quantificação dos compostos fenólicos foi realizada em cromatógrafo líquido de alta eficiência em fase reversa usando o módulo de separação (LC-20 AT, Shimadzu Corporation, Japão) equipado com uma coluna C18 (SUPELCOSIL™ LC-PAH HPLC Column, 250 x 4,6 mm, tamanho de partícula 5 µm, Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, EUA) e um detector UV-VISÍVEL a 280 nm (Rheodyne, EUA). As amostras foram eluídas em um sistema gradiente que consiste nas seguintes fases móveis: solvente A (2% de ácido acético, v/v) e solvente B (acetonitrila: metanol, 2:1, v/v), em fluxo constante de 1 mL/min. O sistema gradiente iniciou-se a partir de 90% de A a 0 minutos a 80% de A em 10 minutos, 70% de A em 15 min, 60% de A em 25 min, 50% de A em 30-40 min, 75% A a 42 min e 90% de A em 44 min. A temperatura da coluna foi mantida a 40 °C e o volume de injeção foi de 20 µL (Nagendra Prasad et al., 2009). A identificação dos fenólicos foi feita por comparação com os padrões.

#### 2.5 Análise estatística

O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado com três repetições de vinte frutos analisando-se sete genótipos e três porções (casca, polpa e amêndoa). Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F e as médias entre genótipos comparadas pelo teste de Scott Knott em até 5% de probabilidade. Realizou-se análise multivariada de componentes principais (ACP) para identificar as características mais significativas na diferenciação entre os genótipos e análise de *cluster* pelo método de Ward para agrupar os genótipos que possam apresentar similaridade em relação às características estudadas. A correlação entre os fitoquímicos e a atividade antioxidante foi determinada por meio do coeficiente de correlação de Pearson. Utilizou-se os softwares SAS 9.22 (2010) e JMP 10 Demo para as análises.

### 3. Resultados e discussão

#### 3.1 Compostos bioativos

Os compostos bioativos da casca, polpa e amêndoa de diferentes genótipos de macaibeira estão apresentados na Tabela 1. No que se refere à casca, os valores médios de clorofila oscilaram entre 1,03 a 2,11 mg.100g<sup>-1</sup> diferindo entre os genótipos ( $p \leq 0.05$ ). Para os níveis de carotenoides totais, foram evidenciadas na casca concentrações médias de 2,10 mg.100g<sup>-1</sup> e G5, G6 e G7 exibiram os valores mais elevados sendo iguais entre si e diferindo ( $p \leq 0.05$ ) dos demais genótipos. Os dados da literatura científica para *A. intumescens* são relativos apenas ao teor de carotenoides totais na polpa e amêndoa e comparando-se o conteúdo de carotenoides totais de outras frutíferas, observou-se na casca de tucumã níveis médios de  $\beta$ -caroteno de 52,83 mg.100g<sup>-1</sup> (Sagrillo et al., 2015). Os carotenoides têm um papel essencial na fotossíntese e durante o amadurecimento dos frutos, como a atividade fotossintética diminui, os cloroplastos e as clorofilas são degradados e o nível dos carotenoides associados com a fotossíntese diminui progressivamente (Carvalho, Fraser, & Martens, 2013).

Na polpa, o conteúdo médio de carotenoides totais foi de 8,64 mg.100g<sup>-1</sup> existindo diferença entre os genótipos ( $p \leq 0.05$ ) com destaque para G7 (13,64 mg.100g<sup>-1</sup>). Estes resultados foram elevados e superiores aos reportados em diferentes palmeiras brasileiras como açaí (2,8 mg.100g<sup>-1</sup>), jussara (1,9 mg.100g<sup>-1</sup>), carnaúba (0,6 mg.100g<sup>-1</sup>) e butiá (2,8-4,08 mg.100g<sup>-1</sup>) (Beskow et al., 2015; Rufino et al., 2010). Em relação à amêndoa, apenas nos teores de carotenoides totais não houve diferença ( $p \leq 0.05$ ) entre os genótipos com média de 0,23 mg.100 g<sup>-1</sup>. Estes resultados são superiores aos reportados em amêndoas de *A. aculeata* (0,18 mg.100g<sup>-1</sup>), guariroba (0,081 mg.100g<sup>-1</sup>) e jerivá (0,22 mg.100g<sup>-1</sup>) (Coimbra & Jorge, 2011). Em estudo com amêndoas do estado de Pernambuco foram observados 0,07; 0,19; 0,07 mg.100g<sup>-1</sup> em base seca para *Syagrus cearensis*, *A. intumescens* e *Syagrus coronata*, respectivamente (Silva et al., 2015).

Os carotenoides são pigmentos orgânicos que ocorrem naturalmente e são precursores de vitamina A que é indispensável para diferenciação celular, desenvolvimento embrionário e visão bem como têm muitos outros papéis, incluindo potenciais benefícios terapêuticos no tratamento de várias morbidades devido a suas propriedades antioxidantes (Lee, Giordano, & Zhang, 2012). Rodriguez-Amaya, Kimura, Godoy, & Amaya-Farfan (2008) reportaram que os frutos das palmeiras tucumã, macaúba e bacuri são ricas fontes de  $\beta$ -caroteno destacando que

uma vez que os lipídios são conhecidos por estimular a absorção de carotenoides, frutos de palmeiras podem ter a vantagem adicional de uma maior biodisponibilidade destes compostos.

Dados quantitativos confiáveis sobre carotenoides de alimentos são essenciais para a agricultura na escolha de cultivares/variedades e otimização das condições de produção e manuseio pós-colheita; em tecnologia de alimentos na seleção de matérias-primas e no monitoramento e controle da degradação durante o processamento e armazenamento; em nutrição e saúde pública na avaliação da adequação da ingestão alimentar e formulação das recomendações/orientações dietéticas; nas ciências médicas para estabelecer associações entre a ingestão dietética e prevenção de doenças (Rodriguez-Amaya, 2010).

De acordo com a classificação de boas fontes de carotenoides por gama de conteúdo, têm-se os critérios: (baixo, 0-100  $\mu\text{g} \cdot 100\text{g}^{-1}$ ; moderado, 100-500  $\mu\text{g} \cdot 100\text{g}^{-1}$ ; alto, 500-2000  $\mu\text{g} \cdot 100\text{g}^{-1}$ ; muito alto, > 2000  $\mu\text{g} \cdot 100\text{g}^{-1}$ ) (Britton & Khachik, 2009). Deste modo, verifica-se o potencial da casca e polpa dos genótipos de macaibeira estudados, as quais ultrapassam 2000  $\mu\text{g} \cdot 100\text{g}^{-1}$  tornando-se excelentes fontes destes compostos. Nesta perspectiva, a exploração integrante de todo o tecido da planta pode ter benefícios econômicos aos produtores e um impacto benéfico sobre o meio ambiente, levando a uma maior diversidade de produtos direcionados principalmente para o uso humano. Estes novos produtos representam uma nova classe de alimentos funcionais que não tenha sido completamente explorados e que podem também contribuir com diferentes benefícios para a saúde dos consumidores (Ayala-Zavala et al., 2011)

Nos teores de flavonoides amarelos foram observados na casca diferença entre os genótipos ( $p \leq 0.05$ ) com mínimo de 8,27 em G4 e máximo de 29,91  $\text{mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$  em G6. Os valores médios de flavonoides amarelos na polpa foram baixos e oscilaram entre 2,04 a 6,25  $\text{mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$ , diferindo entre os genótipos ( $p \leq 0.05$ ); e na amêndoa os genótipos G6 (2,72  $\text{mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$ ) e G7 (3,22  $\text{mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$ ) também diferiram ( $p \leq 0.05$ ) dos demais por exibirem conteúdos mais elevados (Tabela 1). Na polpa de *A. aculeata* foram encontrados valores superiores (35 a 37,21  $\text{mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$ ) (Oliveira, Costa, Clemente, & Costa, 2013; Oliveira, Clemente, & da Costa, 2014). Estes resultados podem ser justificados pelo fato de que os compostos fenólicos são metabolizados como uma resposta de defesa contra a intensa radiação solar e outros fatores adversos. Variações nos frutos resultam da via de formação destes compostos e por isso a sua presença difere em cada fruto. Assim, as diferentes contribuições dos compostos fenólicos individuais nos extratos são esperadas para produzir diferentes efeitos antioxidantes (Denardin et al., 2015).

Os teores de fenólicos totais na casca variaram de 171,69 (G2) a 456,06 mg AGE.100g<sup>-1</sup> (G6) sendo inferiores aos reportados na casca de tucumã (790,95 mg AGE.100g<sup>-1</sup>), porém superiores aos relatados na casca de abacate (181,17 mg AGE.100g<sup>-1</sup> dw) (Moraes et al., 2015; Sagrillo et al., 2015). Na polpa, apenas os PET não apresentaram diferença ( $p \leq 0.05$ ) entre os genótipos variando de 38,41 (G3) a 60,49 mg AGE.100g<sup>-1</sup> (G7). Estes resultados foram semelhantes aos constatados na polpa de *A. aculeata* do Ceará e Piauí (20,73 – 60,85 mg AGE.100g<sup>-1</sup>) (Oliveira, Costa, Clemente, & Costa, 2013; Rocha, Figueiredo, Araújo, & Moreira-Araújo, 2013) e em frutos como siriguela (55 mg AGE.100g<sup>-1</sup>), umbu (44,6 mg AGE.100g<sup>-1</sup>) e graviola (54,8 mg AGE.100g<sup>-1</sup>) (Almeida et al., 2011). Os teores médios de PET (147,23 mg AGE.100g<sup>-1</sup>) na amêndoa diferiram ( $p \leq 0.05$ ) entre os genótipos e os níveis máximos foram determinados em G5 (202,06 mg AGE.100g<sup>-1</sup>). Estes resultados são superiores aos encontrados por Belviso et al. (2013) em amêndoas desengorduradas de licuri (121 mg AGE.100g<sup>-1</sup>). Coimbra & Jorge (2012) detectaram teores elevados de fenólicos totais nos óleos extraídos da polpa (2,21 mg AGE.g<sup>-1</sup> óleo) e amêndoa (4,38 mg AGE. g<sup>-1</sup> óleo) de *A. aculeata* provavelmente devido à concentração destes compostos na fração lipídica.

No tocante aos teores de vitamina C verificou-se na polpa diferença significativa ( $p \leq 0.05$ ) entre todos os genótipos avaliados com mínimo de 21,68 mg.100g<sup>-1</sup> para G3 e máximo para G6 com 72,90 mg.100g<sup>-1</sup>. Comparando-se o conteúdo de vitamina C de diferentes frutas, G6 com 72,90 mg.100g<sup>-1</sup> é superior à laranja cv. pêra (68,1 mg.100g<sup>-1</sup>), limão cv. tahiti (41,4 mg.100g<sup>-1</sup>), açaí (68,5 mg.100g<sup>-1</sup>), cajá (31,9 mg.100g<sup>-1</sup>), goiaba (65,8 mg.100g<sup>-1</sup>), manga cv. Palmer (40,9 mg.100g<sup>-1</sup>), mamão cv. formosa (64,2 mg.100g<sup>-1</sup>) e maracujá (12,2 mg.100g<sup>-1</sup>) (Barros, Ferreira, & Genovese, 2012; Neves, Tosin, Benedette, & Cisneros-Zevallos, 2015; Valente, Albuquerque, Sanches-Silva, & Costa, 2011). O maior conteúdo de ácido ascórbico na amêndoa foi observado nos frutos de G4 (6,75 mg.100g<sup>-1</sup>) e os dados são superiores aos encontrados nas sementes de atemóia que oscilaram de 1,54 a 2,03 mg.100g<sup>-1</sup> (Albuquerque et al., 2016).

A vitamina C é um importante antioxidante solúvel em água, em fluidos extracelulares e é capaz de neutralizar ERO na fase aquosa antes que eles possam atacar os lipídios, além de ser capaz de regenerar a vitamina E,  $\beta$ -caroteno e outros carotenoides, apresentando propriedades antioxidantes e podendo atuar em sinergia com a vitamina E (Prior, 2014). De acordo com a RDC nº 269 (ANVISA, 2005), a ingestão diária recomendada (IDR) de vitamina C para adultos brasileiros é de 45 mg/dia. Considerando um consumo médio diário de 100 g/dia, alimentos podem ser classificados como uma "fonte" ou como "rico" em vitaminas quando eles fornecem no mínimo 15% ou 30% da IDR, respectivamente (ANVISA,

2012). Portanto, tomando-se a média entre os genótipos ( $47,60 \text{ mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$ ), o consumo de 100 g de polpa de macaíba fornece 105,77% da IDR para homens e mulheres, o que lhe confere a propriedade de alimento rico neste composto.

No presente estudo foi observado também entre as frações (casca, polpa e amêndoa) grande variação nos níveis de todos os compostos bioativos analisados. Verificou-se que os maiores teores de fenólicos totais foram evidenciados na casca e na amêndoa. O alto conteúdo de carotenoides totais e flavonoides amarelos foram encontrados tanto na polpa quanto na casca dos genótipos e a polpa destacou-se também pelos níveis de ácido ascórbico. Estes resultados são consistentes com a literatura que aponta variabilidade no conteúdo de bioativos entre espécies vegetais e diferentes partes da planta onde os compostos fenólicos são mais abundantes na casca e sementes dos frutos (Omena et al., 2012).

### 3.2 Atividade antioxidante

A avaliação da capacidade antioxidante pelos métodos DPPH• e ABTS•<sup>+</sup> mostrou grande variação com diferenças significativas entre os genótipos e as porções analisadas (Figura 1). Os valores médios de EC<sub>50</sub> na casca, polpa e amêndoa de *A. intumescens* foram 320; 2.474,8 e 337,5 g/g DPPH•, respectivamente. Foram observadas em todas as frações diferenças entre os genótipos ( $p \leq 0.05$ ) quanto à avaliação da capacidade antioxidante pelos métodos DPPH• e ABTS•<sup>+</sup>. Os genótipos G6 na casca, G4 e G6 na polpa e G2, G3 e G5 na amêndoa diferiram dos demais por apresentar os valores mais altos na avaliação da atividade pelos dois métodos (Figura 1). O alto valor de EC<sub>50</sub> que corresponde à baixa atividade sequestradora do radical DPPH• foi obtida em todos os extratos da polpa. Resultados semelhantes foram encontrados para a polpa de *A. aculeata* e outras palmeiras brasileiras como açaí, jussara e carnaúba (Rufino et al., 2010; Rocha et al., 2013). Os valores baixos para atividade antioxidante com DPPH• podem ser justificados pela composição química das amostras que são ricas em lipídios. A fração lipofílica apresenta esteróis, carotenoides, clorofilas e glicerídeos que não atuam no mecanismo de avaliação da atividade antioxidante em métodos como DPPH• e FRAP (Borges et al., 2013). A avaliação da atividade antioxidante pelo método de DPPH• em polpa de jussara também mostrou grande variação demonstrando que a região de crescimento influencia os compostos fenólicos e consequentemente a atividade antioxidante (Borges et al., 2011).

Em relação à atividade antioxidante pelo método ABTS•<sup>+</sup>, foram encontrados teores médios de 32,77; 2,40 e 18,76  $\mu\text{M}$  trolox/g na casca, polpa e amêndoa, respectivamente

(Figura 1). Os genótipos que se destacaram por apresentar maior atividade antioxidante foram G6 (casca), G2, G3 e G6 (polpa) e G5 (amêndoa). Em estudo de investigação da capacidade antioxidante de diferentes frações de frutas brasileiras, Omena et al. (2012) concluíram que os extratos das cascas e sementes de siriguela e umbu e apenas a polpa de jenipapo exibiram as propriedades antioxidantes mais significativas. Os resultados da polpa foram superiores aos encontrados em frutas como jaca ( $0,63 \mu\text{M}$  trolox/g matéria fresca), umbu ( $1,07 \mu\text{M}$  trolox/g matéria fresca) e sapoti ( $0,99 \mu\text{M}$  trolox/g matéria fresca) (Almeida et al., 2011). Outros estudos científicos também demonstraram variação no comportamento da capacidade antioxidante pelo método ABTS<sup>•+</sup> em diferentes espécies vegetais (Rufino et al., 2010; Souza et al., 2014).

Não existem dados de atividade antioxidante para *A. intumescens* e a falta de padronização dos ensaios provoca diferenças nos protocolos analíticos, o que limita as possibilidades de comparação entre amostras, devido a diferentes valores de capacidade antioxidante que também é dependente de fatores como reatividade química dos compostos e suas interações, localização física e condições ambientais (Silva & Jorge, 2014). De modo geral, as frações podem ser classificadas em função de sua maior atividade antioxidante pelos dois métodos empregados neste estudo da seguinte maneira: casca > amêndoa > polpa demonstrando que os melhores resultados são provavelmente atribuídos às suas composições ricas em fenólicos e entre os genótipos avaliados, merecem destaque G6 na casca e na polpa e G5 na amêndoa. Considerando que as cascas e sementes da maioria das frutas exóticas não são consumidas, a elevada quantidade de compostos bioativos apresentados nestas partes não comestíveis podem ser usadas para diferentes fins na indústria alimentar, tais como o enriquecimento ou desenvolvimento de novos produtos (Ayala-Zavala et al., 2011).

A Figura 2 apresenta a análise de correlação entre os conteúdos totais de compostos bioativos e atividade antioxidante entre os genótipos de macaibeira. A correlação positiva e significativa foi encontrada entre Vitamina C ( $p < 0,05$ ) - carotenoides totais ( $r = 0,79$ ), flavonoides amarelos ( $r = 0,75$ ) e DPPH<sup>•</sup> ( $r = 0,70$ ). Foi observada correlação significativa e negativa entre PET – carotenoides totais ( $r = 0,44$ ), vitamina C ( $r = 0,75$ ) e DPPH<sup>•</sup> ( $r = 0,70$ ). A correlação negativa observada entre PET e DPPH<sup>•</sup> deve-se ao fato de que através da EC<sub>50</sub> os resultados alcançados são inversamente proporcionais. A atividade antioxidante pelo método ABTS<sup>•+</sup> foi negativa e significativamente correlacionada entre o teor de carotenoides totais ( $r = 0,57$ ), vitamina C ( $r = 0,77$ ) e DPPH<sup>•</sup> ( $r = 0,78$ ). No entanto, a correlação significativa e positiva mais forte ocorreu entre ABTS<sup>•+</sup> e PET ( $r = 0,94$ ;  $p < 0,05$ ).

Evidências científicas sugerem que compostos bioativos encontrados em plantas, tais como os compostos fenólicos e carotenoides tem a propriedade de eliminação de espécies reativas de oxigênio (ERO) e nitrogênio (ERN) (Chisté, Freitas, Mercadante, e Fernandes, 2012). Portanto, as atividades antioxidantes em frutas não podem ser atribuídas apenas aos seus conteúdos fenólicos, mas também pelas ações dos diferentes compostos antioxidantes presentes e nos possíveis efeitos sinérgicos e antagonistas ainda desconhecidos (Almeida et al., 2011). No entanto, vários estudos demonstraram correlação forte e positiva entre PET e atividade antioxidante (Cândido et al., 2015; Souza et al., 2014; Vieira et al., 2011), corroborando com os resultados desta pesquisa que aponta para os PET a contribuição mais importante para a atividade antioxidante nos genótipos de macaibeira pesquisados.

### 3.3 Perfil de fenólicos

Os compostos fenólicos identificados na casca, polpa e amêndoa de macaibeira estão listados na Tabela 2. Os sete genótipos de *A. intumescens* demonstraram heterogeneidade no perfil de fenólicos. Foram identificados catequina, crisina, flavanonas, um estilbeno (resveratrol) e principalmente ácidos fenólicos e flavonóis nas três frações. A catequina foi o único fenólico encontrado em todas as porções e genótipos pesquisados. Na casca, ácido salicílico e miricetina (11,42-40,62 mg.100g<sup>-1</sup>), ácido 2,5 dihidroxibenzóico (2,15-7,54 mg.100g<sup>-1</sup>), ácido 4-hidroxibenzóico (2,15-7,54 mg.100g<sup>-1</sup>) e catequina (2,54-14,46 mg.100g<sup>-1</sup>) foram os compostos mais abundantes. Resultados semelhantes foram observados na palmeira jussara com predominância de ácidos fenólicos e flavonóis (Borges et al., 2013).

Ácido elágico, sinápico, trans cinâmico e rutina na casca estiveram presentes em todos os genótipos com exceção de G3. As maiores concentrações de rutina foram observadas em G6 (7,52 mg.100g<sup>-1</sup>) e G7 (8,73 mg.100g<sup>-1</sup>). Glicosídeos flavonóides foram predominantes em cascas de banana (242,2-618,7 µg.g<sup>-1</sup> de peso seco) sendo a rutina o mais abundante (Passo Tsamo et al., 2015). A polpa e casca de tucumã também contém teores significativos de rutina, quercetina, ácido gálico, clorogênico e caféico (Sagrillo et al., 2015).

Em relação à polpa, os resultados mostraram os menores teores destes bioativos quando comparados com a casca e amêndoa. Foram detectados em alguns genótipos, canferol e quercetina em baixas concentrações. Dos 18 compostos identificados, o ácido 3,4-dihidroxibenzóico (3,38 mg.100g<sup>-1</sup> em G1) destacou-se como o fenólico dominante. Treze compostos foram tentativamente identificados em extratos de buriti incluindo catequina,



ácidos fenólicos, flavonóis, naringenina e antocianinas (Koolen, da Silva, Gozzo, de Souza, & de Souza, 2013).

Dos compostos bioativos analisados na amêndoa, ácido p-cumárico ( $0,49-4,46 \text{ mg.100g}^{-1}$ ) e catequina ( $1,04-15,39 \text{ mg.100g}^{-1}$ ) foram os principais. Os ácidos 2,5 dihidroxibenzóico e 4-Hidroxibenzóico não foram encontrados apenas em G4. Em G6 foi identificado o resveratrol ( $0,42 \text{ mg.100g}^{-1}$ ). Estudos *in vitro* demonstram a atividade das catequinas na proteção contra doenças degenerativas agindo como agentes antitumorigênicos e imunomoduladores (Gadkari & Balaraman, 2015), hepatoprotetoras e anticancerígenas no estudo de carcinoma hepatocelular humano (células HepG2) (Jain et al., 2013).

De forma geral, os resultados mostraram altas concentrações de fenólicos nos extratos da casca e G6, G1 e G5 foram os genótipos que se destacaram no perfil das frações casca, polpa e amêndoa de macaíba, respectivamente.

A quantificação de fenólicos é influenciada pela natureza do composto, o método de extração empregado e a presença de substâncias interferentes tais como ceras, terpenos e clorofilas. Um método satisfatório para a extração da totalidade ou de uma classe específica de compostos fenólicos presentes na amostra ainda não foi desenvolvido. A solubilidade varia de acordo com a polaridade do solvente utilizado, grau de polimerização dos compostos fenólicos e as suas interações com outros componentes da amostra tais como a complexação com os açúcares e as proteínas (Lutterodt, Slavin, Whent, Turner, & Yu, 2011). Como o procedimento de extração foi semelhante para todas as amostras, as diferenças encontradas nos resultados podem estar associadas a fatores agronômicos e fisiológicos (Morales-Soto et al., 2014).

Análise de extratos fenólicos do azeite de oliva de três regiões italianas mostraram diferenças quantitativas significativas indicando que fatores diferentes, tais como cultivar, condições edafoclimáticas e fatores tecnológicos podem influenciar a composição do azeite e suas propriedades de saúde e nutricionais (Del Monaco et al., 2015). Pérez et al. (2014) observaram que houve uma grande variabilidade em termos de conteúdo fenólico na descendência cruzada de duas cultivares de oliva puras, demonstrando também que a variabilidade genética desempenha um papel fundamental no padrão fenólico. Portanto, infere-se que os genótipos podem ter contribuído para a diferenciação no padrão de fenólicos da macaíba.

Mais estudos são necessários para identificar e quantificar todos os compostos fenólicos presentes nas frutas e determinar a contribuição dos principais compostos para a atividade

antioxidante (Denardin et al., 2015) além de ensaios *in vitro* e *in vivo* para compreensão do papel destas moléculas no controle do estresse oxidativo e suas patologias associadas.

### 3.4 Análise de componentes principais e diversidade genética entre os genótipos

Devido à grande quantidade de dados obtidos (18 variáveis), a análise de componentes principais (ACP) foi utilizada com o objetivo de distinguir os sete genótipos de acordo com a composição de bioativos e atividade antioxidante da casca, polpa e amêndoa de *A. intumescens*. A Tabela 3 mostra os escores e a Figura 3 apresenta o círculo de autovetores das variáveis. Foram necessários dois componentes para explicar satisfatoriamente a variabilidade entre os genótipos. O CP1 reproduz 46,80% e o CP2 24,90% da variação total dos dados com variância acumulada de 71,71%. Para o CP1, todas as variáveis com exceção do teor de flavonoides amarelos na polpa explicaram a variabilidade entre os genótipos. Para o CP2, as principais variáveis foram: casca – clorofila, carotenoides totais, PET e ABTS<sup>•+</sup>; polpa – carotenoides totais, flavonoides amarelos, vitamina C, PET, DPPH<sup>•</sup> e ABTS<sup>•+</sup>; amêndoa – vitamina C, carotenoides totais, DPPH<sup>•</sup> e ABTS<sup>•+</sup> (Tabela 3). Portanto, todas as variáveis apresentaram importância para explicar a variabilidade entre os genótipos de *A. intumescens*.

Um gráfico bidimensional foi projetado e a distribuição dos genótipos ao longo do CP1 e CP2 demonstrou que as amostras podem ser divididas em três grupos. O grupo 1 (Figura 3), foi constituído por G6 e G7 sendo claramente diferenciado pela predominante localização no eixo positivo do CP1 sendo detentor dos maiores valores de carotenoides totais, PET, flavonoides amarelos e ABTS<sup>•+</sup> na casca, vitamina C e flavonoides amarelos na polpa. O grupo 2 foi formado por G4 sendo caracterizado pelos menores teores de flavonoides amarelos na polpa e maior valor de vitamina C na amêndoa. O grupo 3 foi composto por G1, G2, G3 e G5 sendo semelhante em relação aos baixos teores de vitamina C na amêndoa, flavonoides amarelos na amêndoa, ABTS<sup>•+</sup> na casca e valores elevados de EC<sub>50</sub> na casca e ABTS<sup>•+</sup> na amêndoa. Portanto, é possível extrair informações relevantes sobre a correlação existente entre as variáveis que caracterizam as amostras e a disposição hierárquica dos genótipos.

A análise de dissimilaridade para os compostos bioativos e atividade antioxidante determinou a formação de três grupos (Figura 4) com base nas estimativas de distância euclidiana. Observou-se elevada similaridade entre os genótipos 6 e 7 que formaram o grupo I. O grupo II foi constituído apenas por G4 e o maior agrupamento (grupo III) apresentou três subdivisões, com tendência de formação de subgrupos conforme a localização geográfica,

sendo G1, G2 e G3 pertencentes ao bioma Mata Atlântica e G5 originário de regiões próximas à borda do Parque. No grupo III, a maior distância encontrada foi entre G1 e G5 e a menor entre os genótipos G2 e G3.

Não existem estudos de variabilidade genética para *A. intumescens* e variações no conteúdo de bioativos e atividade antioxidante também foram encontrados em sementes de quinoa, porção comestível de butiá, arará e pitangas (Denardin et al., 2015; Tang et al., 2015) e entre diferentes frações de laranja e *Quararibea cordata* (Escobedo-Avellaneda, Gutiérrez-Urbe, Valdez-Fragoso, Torres, & Welte-Chanes, 2014; Berto et al., 2015). Estudos com a palmeira butiá identificou diferenças entre genótipos e concluiu que elevado grau de variabilidade genética é esperado quanto às características morfológicas, fisiológicas e químicas por se tratar de uma espécie de polinização cruzada (Beskow et al., 2015). Estes resultados estão em conformidade com os reportados por Berton, de Azevedo Filho, Siqueira, & Colombo (2013) que evidenciaram a existência de importante variabilidade genética na *A. aculeata* destacando que a herdabilidade é uma propriedade não apenas de um único traço, mas também da população e das circunstâncias do ambiente ao qual os indivíduos são submetidos.

Portanto, a variabilidade dos resultados encontrados pode ser justificada pelas diferenças entre as frações analisadas quanto ao teor de fitoquímicos e capacidade antioxidante, além da influência dos locais de crescimento, fatores ambientais, genéticos e relacionados aos mecanismos de defesa vegetal considerando que os genótipos G1, G2, G3 e G4 são provenientes de acessos naturais do Parque Estadual Mata do Pau Ferro e G5, G6 e G7 do seu entorno.

Portanto, ressalta-se a importância de se conhecer a influência do clima e as condições geográficas sobre a produção de metabolitos secundários de plantas, uma vez que auxiliam na intervenção humana, a fim de orientar a síntese destes compostos para o benefício da saúde (Cândido et al., 2015).

#### **4. Conclusão**

Esta pesquisa abordou o potencial bioativo e antioxidante da *A. intumescens* proveniente de Mata Atlântica e entorno. Os dados dos compostos bioativos apresentaram grande variação entre as frações e genótipos pesquisados. A polpa contém níveis muito elevados de carotenoides totais e pode ser considerada rica em vitamina C. As maiores concentrações de fenólicos totais foram observados na casca e na amêndoa. Os resultados revelaram que as

frações com o maior teor de compostos fenólicos também tiveram a maior atividade antioxidante pelos ensaios DPPH e ABTS<sup>•+</sup> sendo a correlação significativa e positiva mais forte entre ABTS<sup>•+</sup> e PET.

Os ácidos fenólicos e flavonóis foram os compostos majoritários nas frações pesquisadas. A catequina foi o único fenólico encontrado em todas as amostras. No entanto, a miricetina foi o fenólico identificado com a maior concentração.

A ACP se mostrou eficiente para identificar as características mais significativas na diferenciação entre os genótipos sendo formado três grupos principais. O genótipo 6 destacou-se por conter as maiores concentrações de carotenoides totais, flavonoides amarelos e PET na casca, ácido ascórbico e flavonoides amarelos na polpa e maior atividade antioxidante na casca. O genótipo 7 tem o maior teor de carotenoides totais e PET na polpa.

Finalmente, a separação dos genótipos em grupos poderá fornecer subsídios para exploração sustentável da macaíba na indústria de alimentos e fitofármacos considerando o potencial funcional e riqueza de seus bioativos.

## Referências

- Albuquerque, T. G., Santos, F., Sanches-Silva, A., Beatriz Oliveira, M., Bento, A. C., & Costa, H. S. (2016). Nutritional and phytochemical composition of *Annona cherimola* Mill. fruits and by-products: Potential health benefits. *Food Chemistry*, 193, 187–95. <http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.06.044>
- Almeida, M. M. B., de Sousa, P. H. M., Arriaga, Â. M. C., do Prado, G. M., Magalhães, C. E. de C., Maia, G. A., & de Lemos, T. L. G. (2011). Bioactive compounds and antioxidant activity of fresh exotic fruits from northeastern Brazil. *Food Research International*, 44(7), 2155–2159. <http://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.03.051>
- ANVISA (2005). Agência Nacional de Vigilância Sanitária. *Resolução RDC nº 269*, de 23 de setembro de 2005. Aprova o regulamento técnico sobre a ingestão diária recomendada (IDR) de proteína, vitaminas e minerais. [http://portal.anvisa.gov.br/wps/wcm/connect/1884970047457811857dd53fbc4c6735/RDC\\_269\\_2005.pdf?MOD=AJPERES](http://portal.anvisa.gov.br/wps/wcm/connect/1884970047457811857dd53fbc4c6735/RDC_269_2005.pdf?MOD=AJPERES) Acesso 29/10/2015
- ANVISA (2012). *Resolução RDC nº 54*. Dispõe sobre o Regulamento Técnico sobre Informação Nutricional Complementar. Diário Oficial da União, Brasília, 13 de nov. 2012.
- Ayala-Zavala, J. F., Vega-Vega, V., Rosas-Domínguez, C., Palafox-Carlos, H., Villa-Rodriguez, J. A., Siddiqui, M. W., ... González-Aguilar, G. A. (2011). Agro-industrial potential of exotic fruit byproducts as a source of food additives. *Food Research International*, 44(7), 1866–1874. <http://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.02.021>
- Barros, H. R. de M., Ferreira, T. A. P. de C., & Genovese, M. I. (2012). Antioxidant capacity and mineral content of pulp and peel from commercial cultivars of citrus from Brazil. *Food Chemistry*, 134(4), 1892–8. <http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.03.090>
- Belviso, S., Ghirardello, D., Giordano, M., Sousa Ribeiro, G., de Souza Alves, J., Parodi, S., ... Zeppa, G. (2013). Phenolic composition, antioxidant capacity and volatile compounds

- of licuri (*Syagrus coronata* (Martius) Beccari) fruits as affected by the traditional roasting process. *Food Research International*, 51(1), 39–45. <http://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.11.012>
- Berto, A., Ribeiro, A. B., de Souza, N. E., Fernandes, E., & Chisté, R. C. (2015). Bioactive compounds and scavenging capacity of pulp, peel and seed extracts of the Amazonian fruit *Quararibea cordata* against ROS and RNS. *Food Research International*. <http://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.06.018>
- Berton, L. H. C., de Azevedo Filho, J. A., Siqueira, W. J., & Colombo, C. A. (2013). Seed germination and estimates of genetic parameters of promising macaw palm (*Acrocomia aculeata*) progenies for biofuel production. *Industrial Crops and Products*, 51, 258–266. <http://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.09.012>
- Beskow, G. T., Hoffmann, J. F., Teixeira, A. M., Fachinello, J. C., Chaves, F. C., & Rombaldi, C. V. (2015). Bioactive and yield potential of jelly palms (*Butia odorata* Barb. Rodr.). *Food Chemistry*, 172, 699–704. <http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.09.111>
- Bora, P. S., & Rocha, R. V. M. (2004). Macaiba Palm: Fatty and amino acids composition of fruits. *Ciencia y Tecnologia Alimentaria*, 4(3), 158–162.
- Borges, G. S. C., Gracieli Kunradi Vieira, F., Copetti, C., Valdemiro Gonzaga, L., Zambiasi, R. C., Mancini Filho, J., & Fett, R. (2011). Chemical characterization, bioactive compounds, and antioxidant capacity of jussara (*Euterpe edulis*) fruit from the Atlantic Forest in southern Brazil. *Food Research International*, 44(7), 2128–2133. <http://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.12.006>
- Borges, G. D. S. C., Gonzaga, L. V., Jardini, F. A., Mancini Filho, J., Heller, M., Micke, G., ... Fett, R. (2013). Protective effect of *Euterpe edulis* M. on Vero cell culture and antioxidant evaluation based on phenolic composition using HPLC–ESI-MS/MS. *Food Research International*, 51(1), 363–369. <http://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.12.035>
- Britton G, & Khachik F. (2009). *Carotenoids in food*. In: Britton, G., Liaaen-Jensen, S., Pfander, H. (Eds.), *Carotenoids: Nutrition and Health*, vol. 5. Birkhauser/Verlag, Basel/Boston/Berlin, p.45–66.
- Bruinsma, J. (1963). The quantitative analysis of chlorophylls A and B in plant extracts. *Photochemistry and Photobiology*, 2, 241–249.
- Cândido, T. L. N., Silva, M. R., & Agostini-Costa, T. S. (2015). Bioactive compounds and antioxidant capacity of buriti (*Mauritia flexuosa* L.f.) from the Cerrado and Amazon biomes. *Food Chemistry*, 177, 313–319. <http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.01.041>
- Carvalho, E., Fraser, P. D., & Martens, S. (2013). Carotenoids and tocopherols in yellow and red raspberries. *Food Chemistry*, 139(1-4), 744–752. <http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.12.047>
- Chisté, R. C., Freitas, M., Mercadante, A. Z., & Fernandes, E. (2014). Carotenoids inhibit lipid peroxidation and hemoglobin oxidation, but not the depletion of glutathione induced by ROS in human erythrocytes. *Life Sciences*, 99(1-2), 52–60. <http://doi.org/10.1016/j.lfs.2014.01.059>
- Chisté, R. C., Freitas, M., Mercadante, A., & Fernandes, E. (2012). The potential of extracts of *Caryocar villosum* pulp to scavenge reactive oxygen and nitrogen species. *Food Chemistry*, 135, 1740–1749.
- Coimbra, M. C., & Jorge, N. (2011). Proximate composition of guariroba (*Syagrus oleracea*), jerivá (*Syagrus romanzoffiana*) and macaúba (*Acrocomia aculeata*) palm fruits. *Food Research International*, 44(7), 2139–2142. <http://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.03.032>
- Coimbra, M.C., & Jorge, N. (2012). Fatty acids and bioactive compounds of the pulps and kernels of Brazilian palm species, guariroba (*Syagrus oleracea*), jerivá (*Syagrus romanzoffiana*) and macaúba (*Acrocomia aculeata*). *J. Sci. Food Agric.*, 92, 679–684.
- Del Monaco, G., Officioso, A., D'Angelo, S., La Cara, F., Ionata, E., Marcolongo, L., ...

- Morana, A. (2015). Characterization of extra virgin olive oils produced with typical Italian varieties by their phenolic profile. *Food Chemistry*, 184, 220–8. <http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.03.071>
- Denardin, C. C., Hirsch, G. E., da Rocha, R. F., Vizzotto, M., Henriques, A. T., Moreira, J. C. F., ... Emanuelli, T. (2015). Antioxidant capacity and bioactive compounds of four Brazilian native fruits. *Journal of Food and Drug Analysis*, 23(3), 387–398. <http://doi.org/10.1016/j.jfda.2015.01.006>
- Engel, V. L., & Poggiani, F. (1991). Estudo da concentração de clorofila nas folhas e seu espectro de absorção de luz em função sombreamento em mudas de quatro espécies florestais. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, 3(1), 39-45.
- Escobedo-Avellaneda, Z., Gutiérrez-Urbe, J., Valdez-Fragoso, A., Torres, J. A., & Welti-Chanes, J. (2014). Phytochemicals and antioxidant activity of juice, flavedo, albedo and comminuted orange. *Journal of Functional Foods*, 6, 470–481. <http://doi.org/10.1016/j.jff.2013.11.013>
- Francis, F. J. (1982). Analysis of anthocyanins. In P. Markakis (Ed.), *Anthocyanins as Food Colors* (pp. 263). London, UK: Academic Press.
- Gadkari, P. V., & Balaraman, M. (2015). Catechins: Sources, extraction and encapsulation: A review. *Food and Bioprocess Processing*, 93, 122–138. <http://doi.org/10.1016/j.fbp.2013.12.004>
- Higby, W. K. (1962). A simplified method for determination of some the carotenoid distribution in natural and carotene-fortified orange juice. *Journal of Food Science*, 27(1), 42–49.3
- Jain, P., Kumar, N., Josyula, V.R., Jagani, H.V., Udupa, N., Mallikarjuna-Rao, C., & Vasanth-Raj, P. (2013). A study on the role of (+)-catechin in suppression of HepG2 proliferation via caspase dependent pathway and enhancement of its in vitro and in vivo cytotoxic potential through liposomal formulation. *Eur. J. Pharm. Sci.*, 50, 353–365.
- Koolen, H. H. F., da Silva, F. M. A., Gozzo, F. C., de Souza, A. Q. L., & de Souza, A. D. L. (2013). Antioxidant, antimicrobial activities and characterization of phenolic compounds from buriti (*Mauritia flexuosa* L. f.) by UPLC–ESI-MS/MS. *Food Research International*, 51(2), 467–473. <http://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.01.039>
- Larrauri, J. A., Rupérez, P., & Saura-Calixto, F. (1997). Effect of drying temperature on the stability of polyphenols and antioxidant activity of red grape pomace peels. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 45(4), 1390–1393.
- Lee, J., Giordano, S., & Zhang, J. (2012). Autophagy, mitochondria and oxidative stress: Cross-talk and redox signaling. *Biochemical Journal*, 441, 523–540.
- Leitman, P., Soares, K., Henderson, A., Noblick, L., & Martins, R.C. *Arecaceae in Lista de Espécies da Flora do Brasil*. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB43452>>. Acesso em: 11 Nov. 2015.
- Lutterodt, H., Slavin, M., Whent, M., Turner, E., & Yu, L. (2011). Fatty acid composition, oxidative stability, antioxidant and antiproliferative properties of selected cold-pressed grape seed oils and flours. *Food Chemistry*, 128, 391–399.
- Morais, D. R., Rotta, E. M., Sargi, S. C., Schmidt, E. M., Bonafe, E. G., Eberlin, M. N., ... Visentainer, J. V. (2015). Antioxidant activity, phenolics and UPLC–ESI(–)–MS of extracts from different tropical fruits parts and processed peels. *Food Research International*. <http://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.08.036>
- Morales-Soto, A., García-Salas, P., Rodríguez-Pérez, C., Jiménez-Sánchez, C., Cádiz- Gurrea, M. L., Segura-Carretero, A., et al. (2014). Antioxidant capacity of 44 cultivars of fruits and vegetables grown in Andalusia (Spain). *Food Research International*, 58, 35–46.
- Nagendra Prasad, K. et al. (2009). Identification of phenolic compounds and appraisal of antioxidant and antityrosinase activities from litchi (*Litchi sinensis* Sonn.) seeds. *Food*

*Chemistry*, 116, 1-7.

- Neves, L. C., Tosin, J. M., Benedette, R. M., & Cisneros-Zevallos, L. (2015). Post-harvest nutraceutical behaviour during ripening and senescence of 8 highly perishable fruit species from the Northern Brazilian Amazon region. *Food Chemistry*, 174, 188–96. <http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.10.111>
- Nunes, J. C., Lago, M. G., Castelo-Branco, V. N., Oliveira, F. R., Torres, A. G., Perrone, D., & Monteiro, M. (2016). Effect of drying method on volatile compounds, phenolic profile and antioxidant capacity of guava powders. *Food Chemistry*, 197, 881–890. <http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.11.050>
- Obanda, M., & Owuor, P. O. (1997). Flavonol composition and caffeine content of green leaf as quality potential indicators of kenyan black teas. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 74(2), 209–215
- Oliveira, D. M., Clemente, E., & da Costa, J. M. C. (2014). Bioactive Compounds and Physicochemical Parameters of Grugru Palm (*Acrocomia aculeata*) from Brazil: Pulp and Powder. *Food Science and Technology Research*, 20(1), 7–12. <http://doi.org/10.3136/fstr.20.7>
- Oliveira, D. M.; Costa, J.P., Clemente, E., & Costa, J.M.C. (2013). Characterization of Grugru palm pulp for food applications. *J. Food Sci. Eng.* 3, 107–112.
- Omena, C. M. B., Valentim, I. B., Guedes, G. da S., Rabelo, L. A., Mano, C. M., Bechara, E. J. H., ... Goulart, M. O. F. (2012). Antioxidant, anti-acetylcholinesterase and cytotoxic activities of ethanol extracts of peel, pulp and seeds of exotic Brazilian fruits. *Food Research International*, 49(1), 334–344. <http://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.07.010>
- Passo Tsamo, C. V., Herent, M.-F., Tomekpe, K., Happi Emaga, T., Quetin-Leclercq, J., Rogez, H., ... Andre, C. (2015). Phenolic profiling in the pulp and peel of nine plantain cultivars (*Musa* sp.). *Food Chemistry*, 167, 197–204. <http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.06.095>
- Paz, M., Gúllon, P., Barroso, M. F., Carvalho, A. P., Domingues, V. F., Gomes, A. M., ... Delerue-Matos, C. (2015). Brazilian fruit pulps as functional foods and additives: Evaluation of bioactive compounds. *Food Chemistry*, 172, 462–468. <http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.09.102>
- Pérez, A. G., León, L., Pascual, M., Romero-Segura, C., Sánchez-Ortiz, A., de la Rosa, R., et al. (2014). Variability of virgin olive oil phenolic compounds in a segregating progeny from a single cross in *Olea europaea* L. and sensory and nutritional quality implications. *PLoS One*, 9, 1–10
- Prior, R. L. (2014). Oxygen radical absorbance capacity (ORAC): New horizons in relating dietary antioxidants/bioactives and health benefits. *Journal of Functional Foods*. <http://doi.org/10.1016/j.jff.2014.12.018>
- Rocha, M. S., Figueiredo, R. W. de, Araújo, M. A. da M., & Moreira-Araújo, R. S. dos R. (2013). Caracterização físico-química e atividade antioxidante (in vitro) de frutos do cerrado Piauiense. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 35(4), 933–941. <http://doi.org/10.1590/S0100-29452013000400003>
- Rodriguez-Amaya, D. B. (2010). Quantitative analysis, in vitro assessment of bioavailability and antioxidant activity of food carotenoids—A review. *Journal of Food Composition and Analysis*, 23(7), 726–740. <http://doi.org/10.1016/j.jfca.2010.03.008>
- Rodriguez-Amaya, D. B., Kimura, M., Godoy, H. T., & Amaya-Farfan, J. (2008). Updated Brazilian database on food carotenoids: Factors affecting carotenoid composition. *Journal of Food Composition and Analysis*, 21(6), 445–463. <http://doi.org/10.1016/j.jfca.2008.04.001>
- Rufino, M. do S. M., Alves, R. E., de Brito, E. S., Pérez-Jiménez, J., Saura-Calixto, F., & Mancini-Filho, J. (2010). Bioactive compounds and antioxidant capacities of 18 non-

- traditional tropical fruits from Brazil. *Food Chemistry*, 121(4), 996–1002. <http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.01.037>
- Sagrillo, M. R., Garcia, L. F. M., de Souza Filho, O. C., Duarte, M. M. M. F., Ribeiro, E. E., Cadoná, F. C., & da Cruz, I. B. M. (2015). Tucumã fruit extracts (*Astrocaryum aculeatum* Meyer) decrease cytotoxic effects of hydrogen peroxide on human lymphocytes. *Food Chemistry*, 173, 741–8. <http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.10.067>
- SAS (2010). INC, SAS INSTITUTE. SAS/STAT® 9.22 User's Guide.
- Silva, A. C., & Jorge, N. (2014). Bioactive compounds of the lipid fractions of agro-industrial waste. *Food Research International*, 66, 493–500. <http://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.10.025>
- Silva, R. B., Silva-Júnior, E. V., Rodrigues, L. C., Andrade, L. H. C., Silva, S. I. DA, Harand, W., & Oliveira, A. F. M. (2015). A comparative study of nutritional composition and potential use of some underutilized tropical fruits of Arecaceae. *Anais Da Academia Brasileira de Ciencias*, 87(3), 1701–1709. <http://doi.org/10.1590/0001-3765201520140166>
- Souza, V. R., Pereira, P. A. P., da Silva, T. L. T., de Oliveira Lima, L. C., Pio, R., & Queiroz, F. (2014). Determination of the bioactive compounds, antioxidant activity and chemical composition of Brazilian blackberry, red raspberry, strawberry, blueberry and sweet cherry fruits. *Food Chemistry*, 156, 362–8. <http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.01.125>
- Strohecker, R., & Henining, H. M. (1967). *Análisis de vitaminas: métodos comprobados*. Madrid: Paz Montalvo.
- Tang, Y., Li, X., Chen, P. X., Zhang, B., Hernandez, M., Zhang, H., ... Tsao, R. (2015). Characterisation of fatty acid, carotenoid, tocopherol/tocotrienol compositions and antioxidant activities in seeds of three *Chenopodium quinoa* Willd. genotypes. *Food Chemistry*, 174, 502–8. <http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.11.040>
- Valente, A., Albuquerque, T. G., Sanches-Silva, A., & Costa, H. S. (2011). Ascorbic acid content in exotic fruits: A contribution to produce quality data for food composition databases. *Food Research International*, 44(7), 2237–2242. <http://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.02.012>
- Vieira, F. G. K., Borges, G. D. S. C., Copetti, C., Di Pietro, P. F., Nunes, E. da C., & Fett, R. (2011). Phenolic compounds and antioxidant activity of the apple flesh and peel of eleven cultivars grown in Brazil. *Scientia Horticulturae*, 128(3), 261–266. <http://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.01.032>



**Tabela 1.** Compostos bioativos de sete genótipos de *A. intumescens* (mg.100g<sup>-1</sup> base úmida).

Genótipos	Porção	Clorofila	Carotenoides Totais	Flavonoides Amarelos	PET
G1	Casca	1,72±0,17 <sup>a</sup>	1,52±0,26 <sup>b</sup>	1,15±3,55 <sup>b</sup>	173,70±11,12 <sup>c</sup>
G2		2,11±0,18 <sup>a</sup>	0,72±0,23 <sup>b</sup>	8,84±0,46 <sup>c</sup>	171,69±11,07 <sup>c</sup>
G3		2,11±0,30 <sup>a</sup>	1,58±0,21 <sup>b</sup>	9,86±0,60 <sup>c</sup>	183,64±4,05 <sup>c</sup>
G4		1,15±0,03 <sup>b</sup>	0,82±0,11 <sup>b</sup>	8,27±0,56 <sup>c</sup>	282,76±9,36 <sup>b</sup>
G5		1,53±0,20 <sup>a</sup>	3,36±0,37 <sup>a</sup>	26,84±2,76 <sup>a</sup>	312,01±18,05 <sup>b</sup>
G6		1,67±0,03 <sup>a</sup>	3,68±1,06 <sup>a</sup>	29,91±0,59 <sup>a</sup>	456,06±27,02 <sup>a</sup>
G7		1,03±0,12 <sup>b</sup>	3,03±0,11 <sup>a</sup>	23,75±0,93 <sup>b</sup>	342,01±14,70 <sup>b</sup>
Média±SD		1,62	2,10	18,37	274,55
CV(%)		29,19	63,89	49,50	37,65
Genótipos		Vitamina C	Carotenoides Totais	Flavonoides Amarelos	PET
G1	Polpa	60,50±2,15 <sup>b</sup>	5,40±0,78 <sup>d</sup>	3,69±0,18 <sup>b</sup>	52,29±1,64 <sup>a</sup>
G2		35,39±0,61 <sup>d</sup>	6,58±0,70 <sup>d</sup>	3,47±0,18 <sup>b</sup>	42,55±4,06 <sup>a</sup>
G3		21,68±2,84 <sup>e</sup>	11,15±0,54 <sup>b</sup>	3,73±0,51 <sup>b</sup>	38,41±4,36 <sup>a</sup>
G4		48,51±1,99 <sup>c</sup>	5,70±0,17 <sup>d</sup>	2,04±0,46 <sup>c</sup>	55,67±2,99 <sup>a</sup>
G5		29,64±0,71 <sup>d</sup>	8,70±0,69 <sup>c</sup>	4,84±0,22 <sup>a</sup>	45,22±1,43 <sup>a</sup>
G6		72,90±3,28 <sup>a</sup>	9,28±0,68 <sup>c</sup>	6,25±0,64 <sup>a</sup>	50,97±3,71 <sup>a</sup>
G7		64,57±3,52 <sup>b</sup>	13,64±1,31 <sup>a</sup>	5,43±0,43 <sup>a</sup>	60,49±12,90 <sup>a</sup>
Média±SD		47,60	8,64	4,21	49,37
CV(%)		39,20	35,67	34,68	22,42
Genótipos		Vitamina C	Carotenoides totais	Flavonoides Amarelos	PET
G1	Amêndoa	3,75±0,03 <sup>b</sup>	0,23±0,03 <sup>a</sup>	2,24±0,31 <sup>b</sup>	136,90±14,33 <sup>b</sup>
G2		2,28±0,11 <sup>e</sup>	0,24±0,05 <sup>a</sup>	1,38±0,03 <sup>b</sup>	179,50±16,15 <sup>a</sup>
G3		1,88±0,00 <sup>f</sup>	0,25±0,03 <sup>a</sup>	1,81±0,12 <sup>b</sup>	151,95±2,94 <sup>b</sup>
G4		6,75±0,05 <sup>a</sup>	0,22±0,03 <sup>a</sup>	1,47±0,01 <sup>b</sup>	116,82±8,09 <sup>c</sup>
G5		2,90±0,13 <sup>d</sup>	0,28±0,03 <sup>a</sup>	2,17±0,02 <sup>b</sup>	202,06±14,34 <sup>a</sup>
G6		3,22±0,29 <sup>c</sup>	0,24±0,01 <sup>a</sup>	2,72±0,30 <sup>a</sup>	140,47±1,78 <sup>b</sup>
G7		2,73±0,05 <sup>d</sup>	0,19±0,01 <sup>a</sup>	3,22±0,48 <sup>a</sup>	102,93±4,62 <sup>c</sup>
Média±SD		3,36	0,23	2,14	147,23
CV(%)		45,90	22,14	33,88	24,46

Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem entre si pelo teste de Scott Knott em até 5% de probabilidade; SD = Standard deviation; CV = coeficiente de variação.

**Tabela 2.** Compostos fenólicos de casca, polpa e amêndoa de *A. intumescens*. (mg.100g<sup>-1</sup> base úmida)

Compostos Fenólicos	Casca						
	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7
<b>Ácidos fenólicos</b>							
Ac 2,5 dihidroxibenzóico	2,60	2,15	2,73	5,53	4,81	7,54	5,96
Ac 3,4 dihidroxibenzóico	3,97	4,12	5,53	7,72	6,88	11,38	12,95
Ac Caféico	4,53	1,63	1,64	0,14	0,30	0,59	0,81
Ac Elágico	1,75	1,56	nd	4,24	4,02	7,52	8,73
Ac Ferúlico	0,64	0,58	0,15	0,83	0,16	1,83	1,39
Ac p-Cumárico	1,14	0,57	0,16	1,31	0,41	2,52	1,51
Ac Salicílico	13,48	14,06	11,42	24,21	14,24	40,62	31,51
Ac Sinápico	0,60	0,16	Nd	1,24	0,67	6,27	1,35
Ac Siríngico	1,48	1,06	1,37	2,23	1,53	3,21	2,32
Ac Trans cinâmico	0,07	0,11	nd	0,70	0,10	0,75	0,17
Ac Vanílico	2,06	1,06	1,37	2,23	1,53	3,21	2,32
Ac 4-Hidroxibenzóico	2,60	2,15	2,73	5,53	4,81	7,54	5,96
<b>Flavonóis</b>							
Miricetina	13,48	14,06	11,42	24,21	14,24	40,62	31,51
Quercetina	4,53	1,63	1,64	0,14	Nd	0,59	0,81
Rutina	2,06	0,79	nd	4,24	4,02	7,52	8,73
<b>Flavanol</b>							
Catequina	5,03	5,33	2,54	4,56	8,44	14,46	4,49
<b>Flavona</b>							
Crisina	0,11	0,06	nd	nd	0,23	0,15	nd
<b>Flavanona</b>							
Hespertina	0,17	0,13	nd	0,24	nd	nd	nd
Naringenin	0,13	0,04	nd	nd	0,11	nd	0,18
Compostos Fenólicos	Polpa						
	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7
<b>Ácidos fenólicos</b>							
Ac 2,5 dihidroxibenzóico	1,11	nd	0,07	0,19	0,18	nd	0,17
Ac 3,4 dihidroxibenzóico	3,38	1,31	1,78	1,9	2,05	1,98	1,39
Ac Caféico	0,48	0,08	0,18	0,15	0,09	0,16	0,20
Ac p-Cumárico	0,20	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Ac Salicílico	0,51	0,06	0,18	0,07	nd	nd	0,25
Ac Sinápico	nd	nd	nd	0,23	nd	nd	nd
Ac Siríngico	0,30	nd	nd	0,49	nd	0,18	0,49
Ac Trans cinâmico	0,05	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Ac Vanílico	nd	nd	0,06	0,21	0,05	0,15	0,39
Ac 4-Hidroxibenzóico	0,70	0,45	0,07	0,33	0,18	0,18	0,18
<b>Flavonóis</b>							
Canferol	0,13	0,26	0,25	nd	nd	nd	nd
Miricetina	1,65	0,06	0,05	0,07	nd	nd	0,25
Quercetina	0,48	Nd	nd	nd	0,08	nd	nd

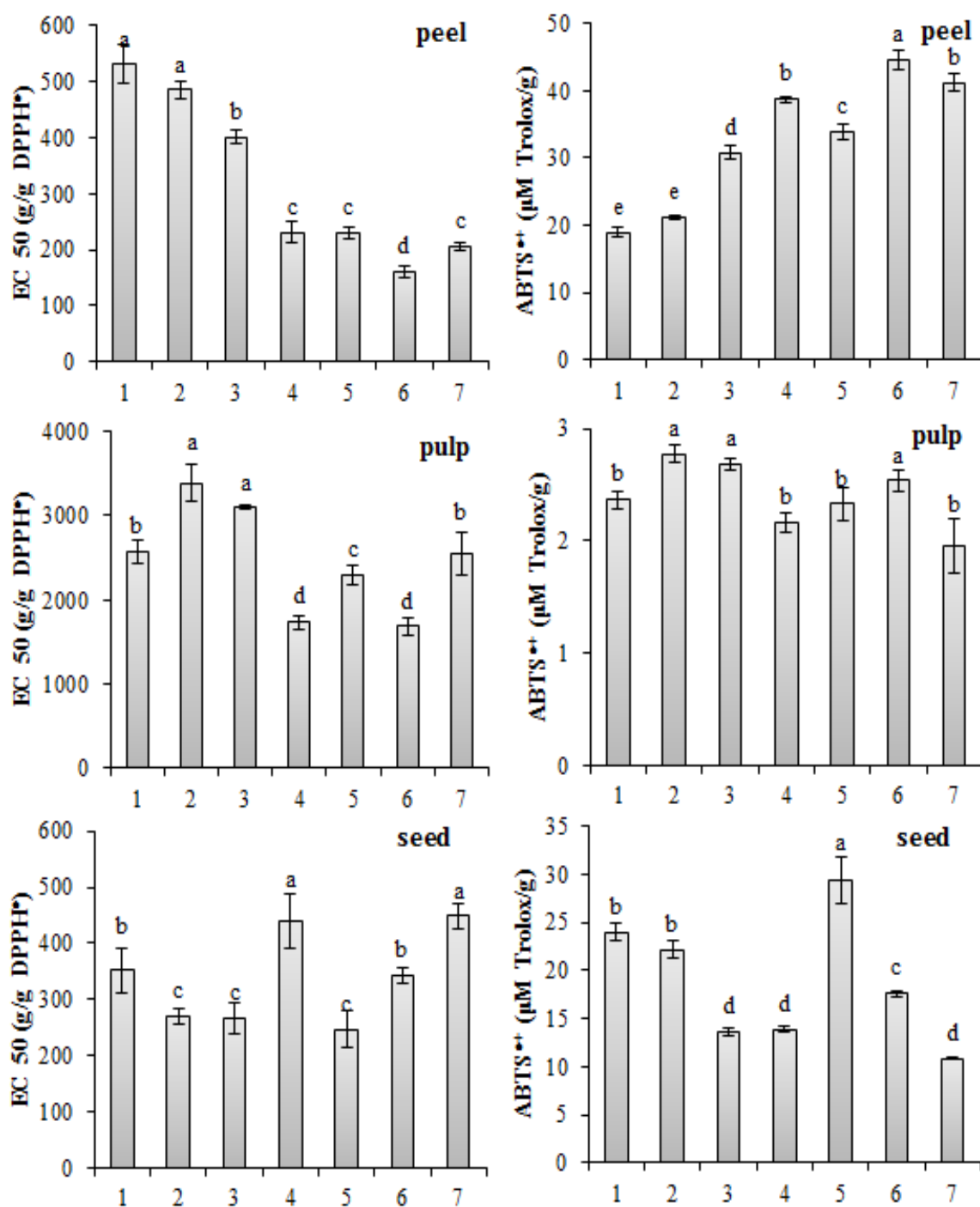
Rutina	nd	Nd	nd	nd	nd	nd	0,10
<b>Flavanol</b>							
Catequina	0,51	0,63	0,34	0,76	0,77	1,30	1,02
<b>Flavona</b>							
Crisina	0,13	0,06	0,31	nd	0,05	0,14	0,17
<b>Flavononas</b>							
Hesptina	0,06	0,03	0,25	0,15	0,17	nd	nd
Naringenina	0,12	nd	nd	nd	0,07	nd	nd
<b>Compostos Fenólicos</b>	<b>Amêndoa</b>						
	<b>G1</b>	<b>G2</b>	<b>G3</b>	<b>G4</b>	<b>G5</b>	<b>G6</b>	<b>G7</b>
<b>Ácidos fenólicos</b>							
Ac 2,5 dihidroxibenzóico	0,41	0,86	7,19	nd	2,19	3,80	4,54
Ac 3,4 dihidroxibenzóico	3,93	4,24	2,91	0,58	5,96	nd	2,77
Ac Caféico	nd	1,35	1,4	0,75	1,00	0,24	2,35
Ac Elágico	nd	nd	3,2	1,81	3,35	nd	nd
Ac Ferúlico	nd	0,56	0,47	nd	0,85	1,73	0,09
Ac p-Cumárico	1,19	0,56	3,39	2,58	4,46	2,10	0,49
Ac Salicílico	nd	nd	0,47	0,55	1,27	0,62	1,86
Ac Sinápico	nd	nd	0,59	nd	2,22	0,84	0,25
Ac Siríngico	nd	nd	0,25	0,43	3,4	6,27	1,18
Ac Trans cinâmico	nd	nd	0,53	nd	nd	nd	0,09
Ac Vanílico	nd	nd	2,11	0,95	3,4	1,74	4,48
Ac 4-Hidroxibenzóico	0,65	0,86	2,32	nd	2,19	1,25	1,78
<b>Flavonóis</b>							
Canferol	nd	nd	1,86	nd	nd	0,62	0,36
Miricetina	nd	nd	3,11	0,55	1,27	0,62	1,86
Quercetina	nd	1,35	nd	nd	1,00	nd	0,11
Rutina	nd	nd	nd	1,81	3,35	0,93	3,09
<b>Flavanol</b>							
Catequina	2,00	2,31	2,27	14,68	15,39	9,88	1,04
<b>Flavona</b>							
Crisina	1,22	nd	0,33	nd	nd	nd	0,30
<b>Flavanonas</b>							
Hesptina	0,74	0,46	0,73	0,50	0,59	0,18	nd
Naringenina	nd	0,52	2,21	0,48	nd	0,32	0,27
<b>Estilbeno</b>							
Resveratrol	nd	nd	nd	nd	nd	0,42	nd

nd = não detectado.

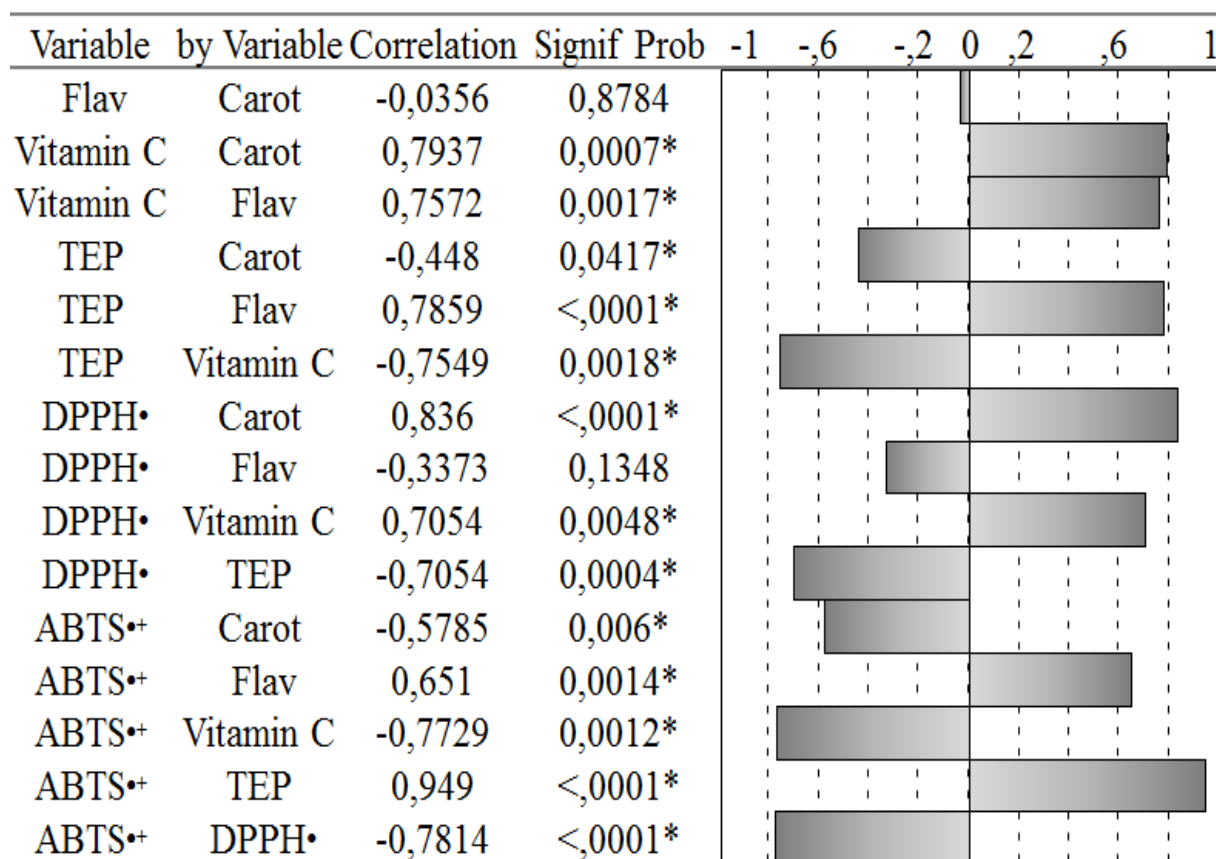
**Tabela 3.** Autovetores de dois componentes principais (CP1 e CP2) de variáveis relacionadas com o conteúdo de bioativos e capacidade antioxidante de sete genótipos de macaibeira. Areia-PB, 2016.

<b>Variáveis</b>	<b>Componente 1</b>	<b>Componente 2</b>
Clorofila da casca	<b>0,236</b>	<b>0,337</b>
Carotenoides totais da casca	<b>0,226</b>	<b>0,301</b>
Flavonoides amarelos da casca	<b>0,268</b>	-0,081
Vitamina C da polpa	<b>0,152</b>	<b>0,140</b>
Carotenoides totais da polpa	<b>0,201</b>	<b>0,340</b>
Flavonoides amarelos da polpa	0,097	<b>-0,312</b>
Vitamina C da amêndoa	<b>-0,173</b>	<b>0,332</b>
Carotenoides totais da amêndoa	<b>0,275</b>	<b>0,140</b>
Flavonoides amarelos da amêndoa	<b>-0,282</b>	-0,097
DPPH• da casca	<b>-0,256</b>	0,024
DPPH• da polpa	<b>0,241</b>	<b>-0,334</b>
DPPH• da amêndoa	<b>0,301</b>	<b>0,164</b>
PET da casca	<b>0,278</b>	<b>-0,221</b>
PET da polpa	<b>-0,208</b>	<b>0,331</b>
PET da amêndoa	<b>0,287</b>	0,050
ABTS• <sup>+</sup> casca	<b>-0,138</b>	<b>0,261</b>
ABTS• <sup>+</sup> amêndoa	<b>-0,248</b>	<b>0,170</b>
ABTS• <sup>+</sup> polpa	<b>0,256</b>	<b>0,146</b>
<b>Autovalores</b>	<b>8,425</b>	<b>4,483</b>
<b>VA(%)</b>	<b>46,805</b>	<b>71,71</b>

\*Negrito indica as variáveis com contribuição significativa dentro de cada CP definidas com base no valor de 0,7 do máximo |autovetor|; VA = variância acumulada.

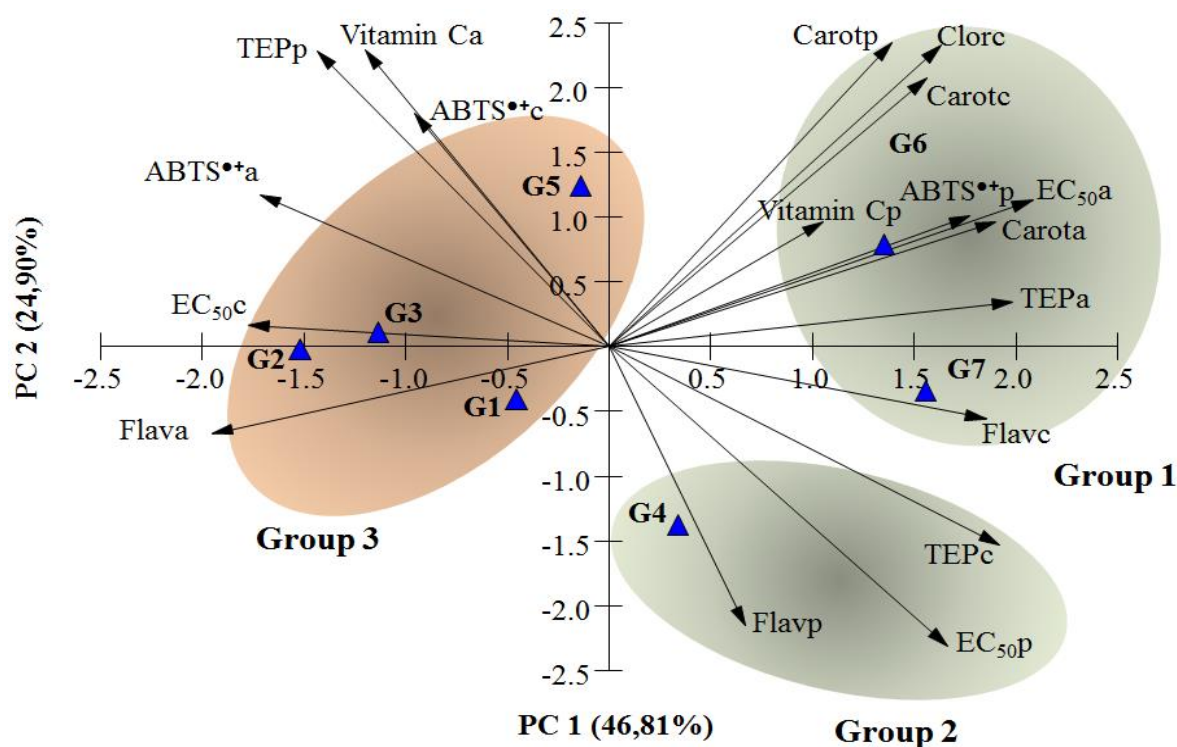


**Figura 1.** Atividade antioxidante pelos métodos DPPH• e ABTS•+ das frações casca, polpa e amêndoa de genótipos de *A. intumescens*.

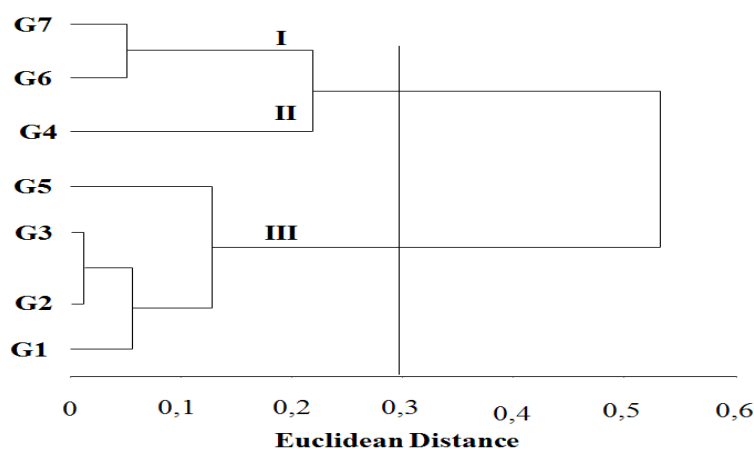


**Figura 2.** Correlação de Pearson entre compostos bioativos e atividade antioxidante da casca, polpa e amêndoa de sete genótipos de *A. intumescens*.

\*Significância  $p \leq 0,05$



**Figura 3.** Autovetores e formação de grupos de genótipos de *A. intumescens* com base nos escores de dois componentes principais (CP1 e CP2) para as variáveis relacionadas aos compostos bioativos e atividade antioxidante. O número de grupos na ACP foi definido com base no valor de CCC (SAS, 2010). Legenda: CLORc: clorofila da casca; CAROTa: carotenoides da amêndoa; CAROTc: carotenoides da casca; CAROTp: carotenoides da polpa; FLAVa: flavonoides amarelos da amêndoa; FLAVc: flavonoides amarelos da casca; FLAVp: flavonoides amarelos da polpa; TEPa: polifenóis extraíveis totais da amêndoa; TEPc: polifenóis extraíveis totais da casca; TEPp: polifenóis extraíveis totais da polpa; VITAMIN Ca: vitamina C da amêndoa; VITAMIN Cp: vitamina C da polpa; EC<sub>50</sub>a: EC<sub>50</sub> da amêndoa; EC<sub>50</sub>c: EC<sub>50</sub> da casca; EC<sub>50</sub>p: EC<sub>50</sub> da polpa; ABTS<sup>•+</sup>a: ABTS<sup>•+</sup> da amêndoa; ABTS<sup>•+</sup>c: ABTS<sup>•+</sup> da casca; ABTS<sup>•+</sup>p: ABTS<sup>•+</sup> da polpa.



**Figura 4.** Dendrograma resultante da análise hierárquica de agrupamentos com base na distribuição das 18 variáveis relacionadas aos compostos bioativos e atividade antioxidante dos sete genótipos de *A. intumescens*.

## **Caracterização dos compostos voláteis por HS-SPME-GC-MS em sete genótipos de**

### ***Acrocomia intumescens***

Cassiara Camelo Eloi de Souza<sup>a\*</sup>; Marta Suely Madruga<sup>b</sup>, Ana Caroliny Vieira da Costa<sup>b</sup>, Renato Pereira Lima<sup>c</sup>, Silvanda de Melo Silva<sup>c</sup>

<sup>a</sup>Campus Anísio Teixeira (CAT), Instituto Multidisciplinar em Saúde (IMS), Universidade Federal da Bahia-UFBA. Rua Rio de Contas, 58, Quadra 17, Lote 58, Bairro Candeias | CEP: 45.029-094, Vitória da Conquista-BA, Brazil.

<sup>b</sup>Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, CT, Universidade Federal da Paraíba (UFPB), 58051-970, Campus I, João Pessoa - Paraíba, Brasil.

<sup>c</sup>Departamento de Ciências Fundamentais e Sociais do Centro de Ciências Agrárias - DCFS, Centro de Ciências Agrárias - CCA, Universidade Federal da Paraíba - UFPB, Rod. BR 079, Km 12, CEP 8397-000, Areia, PB, Brazil, e-mail:silvasil@cca.ufpb.br

\*Corresponding author: Cassiara Camelo Eloi de Souza. Campus Anísio Teixeira (CAT), Instituto Multidisciplinar em Saúde (IMS), Universidade Federal da Bahia-UFBA. Rua Rio de Contas, 58, Quadra 17, Lote 58, Bairro Candeias | CEP: 45.029-094, Vitória da Conquista-BA, Brazil.

Telefone:

e-mail: cassiara@ufba.br



**Resumo:** A macaíba, *Acrocomia intumescens*, é uma palmeira nativa da Mata Atlântica que possui aroma e sabor exótico e intenso. Para caracterização da fração volátil de sete genótipos foi utilizado o sistema HS-SPME-GC-MS. Foram identificados pela primeira vez (62) compostos voláteis, dos quais (12) estiveram presentes em todos os genótipos. As principais classes foram: álcoois (1,5-44,95%), aldeídos (7,72-58,86%) e terpenos (21,46-84,34%). Através da Análise de Componentes Principais, constatou-se a variabilidade entre os genótipos pesquisados, dos quais G3 e G4 apresentaram as maiores concentrações de álcoois, G6 de éteres e ésteres, G7 de aldeídos e G1, G2 e G5 de terpenos.  $\beta$ -Cis-Ocimene,  $\beta$ -Trans-Ocimene e Allo-aromadendrene foram abundantes no cromatograma os quais estão relacionados com o aroma floral, doce e amadeirado. A polpa de macaíba pode ser considerada como material vegetal de elevada importância econômica para extração de voláteis de grande interesse na indústria de alimentos, fragrâncias e cosméticos.

**Palavras-chave:** macaíba, aroma, sabor, ACP, cromatografia gasosa.

## 1. Introdução

Atualmente, os consumidores estão mais interessados na procedência e autenticidade dos seus produtos alimentares. Uma vez que o aroma é uma das características mais típicas de um produto alimentar, a caracterização do perfil aromático pode representar uma ferramenta útil para avaliar a qualidade organoléptica e pode ser utilizado para garantir a sua autenticidade. Portanto, a rápida identificação de potenciais marcadores adequados para diferenciar qualitativamente produtos alimentares de vários países e regiões, é uma exigência crucial na regulamentação e na confiança dos consumidores (Porto-Figueira, Freitas, Cruz, Figueira, & Câmara, 2015). Os atributos organolépticos são relevantes para o controle de qualidade em sistemas de produção/armazenamento/distribuição e em programas de pesquisa, especialmente no setor de desenvolvimento em que a obtenção de novas cultivares com características de sabor superiores é um objetivo cada vez mais importante (Fredes et al., 2016).

A composição da fração volátil de alimentos é essencial para a caracterização e a identidade destes materiais. O sabor de um determinado produto, que é um dos principais atributos para análise sensorial e aceitação pelo consumidor, é dado pela combinação de (geralmente) muitas moléculas. Frutos exóticos têm sido tradicionalmente apreciados em

regiões tropicais. No entanto, a sua produção difusa e sua colheita restrita a algumas localidades resultaram em baixa importância econômica. O interesse crescente de gostos excêntricos agora está mudando esse cenário. O crescente mercado de frutas exóticas e sucos obriga a comunidade científica a caracterizar estes frutos. Neste contexto, a composição da fração volátil é essencial para várias aplicações na indústria alimentar (Bicas et al., 2011).

Existem diferentes métodos analíticos para determinação dos constituintes voláteis de uma amostra. No entanto, Singh & Saini (2014) descrevem que o método isento de solvente utilizando HS-SPME tem sido extensivamente utilizado para a extração de aromas voláteis devido à sua facilidade, sensibilidade e elevada eficiência.

A macaíba, *A. intumescens*, é uma palmeira nativa brasileira que possui uma polpa fibro-mucilaginosa de aroma intenso, duradouro e exótico, rica em carboidratos, vitamina C, lipídios, sobretudo ácido oleico e linoleico e carotenoides. A amêndoa apresenta textura firme, elevado teor de carboidratos e óleo com ácidos oleico e láurico abundantes. A polpa e amêndoa geralmente são consumidas *in natura* ou na forma de farinhas para diversos preparos alimentícios. No entanto, não foram encontrados na literatura científica, dados relativos à fração volátil desta espécie. Neste contexto, o objetivo deste estudo foi caracterizar através de HS-SPME-GC-MS os compostos voláteis da polpa de sete genótipos de *A. intumescens* oriundos de Mata Atlântica.

## **2. Material e métodos**

### *2.1 Material vegetal*

Os frutos de macaibeira (*Acrocomia intumescens* Drude) no estágio maduro foram colhidos manualmente com a ajuda de varas em plantas de porte alto nas primeiras horas do dia de diferentes cachos presentes na copa. A colheita foi realizada antes da abscisão da planta em frutos de sete genótipos de ocorrência espontânea provenientes do Parque Estadual Mata do Pau Ferro (G1, G2, G3 e G4) e no seu entorno (G5, G6 e G7) no município de Areia-PB em julho de 2013.

Após a coleta, os frutos foram transportados ao laboratório de Biologia e Tecnologia Pós-Colheita do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Paraíba (CCA/UFPB), lavados e secos à temperatura ambiente. Uma amostra de 80 frutos por genótipo foi colhida e o material estudado foi identificado e registrado no Herbário Jayme Coêlho de Moraes da Universidade Federal da Paraíba, sob o número 21694. Em seguida,

foram selecionados, separados em três grupos de 20 frutos por genótipo para caracterização química. Os frutos foram descascados e despulpados manualmente e polpa foi homogeneizada e armazenada sob refrigeração (-18°C) até o momento das análises.

## *2.2 Determinação do perfil de compostos voláteis*

### *2.2.1 Extração dos compostos voláteis por HS-SPME*

Para extração dos compostos voláteis, 20 g de polpa de macaíba diluídas em 20 mL de solução salina a 30% foi colocada em um frasco de vidro de 80 mL, fechado com tampa de rosca contendo um orifício central de 3 mm de raio. O sistema foi submetido a aquecimento de 45 °C em banho-maria por 10 minutos antes da exposição da fibra. Após esse período de aquecimento, a fibra de SPME (Polydimethylsiloxane Divinylbenzene/PDMS/DVB 60 µm, Supelco, Bellefonte, PA, EUA) foi exposta ao *headspace*, fase gasosa acima da amostra, por 50 minutos a 45 °C. Em seguida, a fibra foi retraída para dentro da agulha e transferida para o injetor do cromatógrafo a gás, onde os analitos foram desorvidos por 5 minutos. Preliminarmente às extrações, a fibra extratora foi condicionada no injetor do cromatógrafo a gás na temperatura de 250 °C por 30 min.

### *2.2.2 Cromatografia Gasosa acoplada a Espectrometria de Massa*

Para separação e identificação dos compostos extraídos da polpa da macaíba foi utilizado um cromatógrafo a gás Varian Saturn 2000R 3800 acoplado a um detector de massas Varian Saturn 2000R 2000 e uma coluna DB5 (60 m x 0,25 mm x 0,25 µm). A programação da temperatura do forno do cromatógrafo gasoso foi iniciada a 35 °C por 5 min, seguida de rampa de 3 °C/min até atingir 170 °C e nova rampa de 10 °C/min até atingir 220 °C mantendo-se nesta temperatura por 10 minutos. A temperatura do injetor foi mantida a 250 °C. O hélio foi utilizado como gás de arraste a uma vazão constante de 1.0 mL/min. O espectrômetro de massa foi operado por impacto de elétrons com uma temperatura da fonte de 200 °C, e com energia de ionização de 70 V, variação de scan de m/z 29 a m/z 400 a 3.33 scans/s. A identificação dos compostos voláteis foi baseada na comparação de seus espectros de massa com espectros de compostos previamente analisados, com espectros de NIST/EPA/NIH Mass Spectral Database (Version 1.7), ou espectros publicados em periódicos da área. Para a confirmação da identidade de cada componente foi calculado o índice de retenção linear

(LRI), utilizando-se o tempo de retenção de uma serie homóloga de *n*-alcanos C<sub>7</sub> – C<sub>30</sub>, e também por comparação do LRI de compostos autênticos analisados em condições similares.

### 2.3 *Análise estatística*

Realizou-se análise multivariada de componentes principais (ACP) para identificar as características mais significativas na diferenciação entre os genótipos e análise de agrupamento hierárquico com um algoritmo baseado estreitamente no método Sokal; Michener (1958) para agrupar os genótipos que possam apresentar similaridade em relação às características estudadas. Foram utilizados os softwares SAS 9.22 (2010) e JMP 10 Demo para as análises.

## 3. Resultados e discussão

### 3.1 *Compostos voláteis*

A Tabela 1 apresenta os sessenta e dois (62) compostos voláteis detectados e identificados nos genótipos de *A. intumescens*. O perfil de compostos voláteis da polpa de macaíba foi constituído predominantemente por terpenos, aldeídos e álcoois. Foram identificados (10) terpenos, (15) álcoois, (9) aldeídos, (1) cetona, (7) éteres, (7) ésteres, (9) hidrocarbonetos e (4) compostos de outras funções orgânicas.

Doze compostos voláteis foram encontrados em todas as amostras enquanto outros foram específicos para cada genótipo. Os voláteis presentes em todas as amostras foram: 2-ethyl-butanol, 4-heptanol, butanal, 2-methyl-2-pentenal, octanal, nonanal, 2,4,5-trimethyl-1,3-dioxolane, Methyl-2-methoxy-3-methyl-2-butenate, 2-cyclohexyl-4,5-dimethyl-1,3-Dioxolane, β-Cis-Ocimene, β-Trans-Ocimene e Allo-aromadendrene.

Os compostos voláteis majoritários na macaíba foram: 2,6-dimethyl-3-Heptanol, (22,67-27,04%), 4-heptanol (0,3-3,61%), (hexanal (6,03-22,99%), butanal (0,71-5,08%), nonanal (1,23-2,56%), octanal (0,39-4,19%), 2-methyl-2-pentenal (0,46-12,6%), 3-octen-2-one (0,63-9,2%), 2,4,5-trimethyl-1,3-Dioxolane (0,33-4,18%), 2-cyclohexyl-4,5-dimethyl-1,3-Dioxolane (1,46-16,57%), 1-Nonen-4-ol (1,29-8,99%), Methyl-2-methoxy-3-methyl-2-butenate (0,7-6,12%), β-Cis-Ocimene (11,76-39,43%), β-Trans-Ocimene (7,46-28,06%), Allo-aromadendrene (1,19-9,43%) e α-Caryophyllene (0,93-3,24%).

Os álcoois oscilaram de 1,5 a 44,95% da área total do cromatograma. 2-ethyl-butanol (fermentado, doce), 4-heptanol (alcóólico), 2-ethyl-1-hexanol, (doce, gorduroso, frutal) e 1-nonen-4-ol estiveram presentes na maioria dos genótipos e estão associados com o aroma doce, frutado e alcóólico, típicos de fruta em progressão de maturação, indicando participar do aroma característico da macaíba. No entanto, as maiores áreas deste grupo (22,67 e 27,04%) foram encontradas para 2,6-dimetil-3-heptanol apenas em G3 e G4, respectivamente.

Álcoois foram a principal classe química presente em todos os três estádios de maturação da fruta medronho, *Arbutus unedo*; contudo, sua quantidade decresceu com o progresso da maturação. Para esta classe química, 10 compostos foram identificados, incluindo o componente principal, (Z)-3-Hexen-1-ol (Oliveira, Guedes de Pinho, Malheiro, Baptista, & Pereira, 2011).

O maior representante dos aldeídos na polpa de macaíba foi o hexanal que apresenta notas de grama verde, sebo, gordura, frutado, cítrico e sabor residual persistente (Tabela 1), mas também foram representativos butanal, octanal, 2-methyl-2-pentenal e nonanal. Aldeídos tem sido reportados como componentes da fração volátil de frutas como abacate sendo correlacionado com os atributos de aroma da fruta. O hexanal também foi o aldeído principal identificado em frutos pré-climatéricos de abacate (Pereira, Tieman, Sargent, Klee, & Huber, 2013). Durante a maturação do abacate, a concentração dos voláteis mais abundantes, hexanal, (E)-2-hexenal e 2,4-hexadienal diminuiu significativamente. Estes voláteis têm o aroma de erva e é provável que a perda no montante foi responsável pelo declínio no sabor gramínea durante a maturação. No entanto, acetaldeído, acetato de metila, pentanal, nonanal, 2,4-heptadienal e  $\beta$ -myrcene estavam em concentrações mais elevadas na fruta madura do que nas frutas não-maduras (Obenland, Collin, Sievert, Negm, & Arpaia, 2012).

Os ésteres Ethyl acetate (Abacaxi, frutado, solvente, doce), Isopropenyl acetate (Frutado, acético, doce, casca de uva), Butyl acetate (banana madura, solvente, frutado), Methyl hexanoate (Frutal, fresco, doce), Ethyl hexanoate (Casca de maçã, frutado, anis, banana, doce, abacaxi, ceroso) e Hexyl acetate (Frutado, erva, doce, maçã) embora possuam atributos sensoriais relacionados com o aroma característico da fruta foram identificados em poucos genótipos. No entanto, Methyl-2-methoxy-3-methyl-2-butenate esteve presente nos sete genótipos pesquisados. Os ésteres são representantes importantes na fração volátil de diferentes frutas sendo os compostos principais em óleo de maracujá (Leão, Sampaio, Pagani, & Da Silva, 2014), butiá (Aguiar et al., 2014), banana (Bugaud & Alter, 2016) e pequi (Maia, Andrade, & da Silva, 2008).

Os éteres 2,4,5-trimethyl-1,3-dioxolane e 2-cyclohexyl-4,5-dimethyl-1,3-dioxolane estiveram presentes em todas as amostras. Os dioxolanes são compostos com ação repelente encontrados no néctar e flores de cebola (Soto, Maldonado, Jofré, Galmarini, & Silva, 2015) e na mangaba madura foram detectados 6,8% de 2,4,5-trimethyl-1,3-dioxolane (Sampaio & Nogueira, 2006).

A polpa de macaíba apresentou elevados teores de terpenos (21,46-84,34%), sobretudo  $\beta$ -Cis-Ocimene,  $\beta$ -Trans-Ocimene e Allo-aromadendrene.  $\beta$ -myrcene e  $\alpha$ -Caryophyllene também estiveram presentes na maioria dos genótipos e juntamente com os demais devem contribuir com o aroma característico da macaíba, visto apresentarem atributos sensoriais relacionados à floral, herbal, resina, balsâmico, frutado, doce, amadeirado e de especiarias.

Os terpenos são encontrados na fração volátil de muitas frutas, no entanto, as concentrações observadas neste trabalho foram superiores aos relatados para goiaba (46%) (Nunes et al., 2016) e frutos de abacate no período pré-climatérico (Pereira et al., 2013). Os terpenos alloaromadendrene, 3-carene, limonene, myrcene, trans-caryophyllene,  $\alpha$ -pinene e ocimene foram identificados e quantificados também em polpa de manga (Singh & Saini, 2014). Os principais compostos voláteis que contribuíram para o aroma da polpa de umbu foram álcoois e dentre outros compostos de maior significado,  $\beta$ -cis-ocimene que é conhecido por odor agradável frutado também esteve presente (Galvão, Narain, Santos, & Nunes, 2011).

Os terpenóides são sintetizados por duas vias, a partir do ácido mevalônico citosólico e fosfato metiliteritritol plastidial originando sesquiterpenos, terpenos irregulares, geranil-linalol, monoterpenos, hemiterpenos, diterpenos e derivados de carotenóides voláteis (Dudareva et al., 2013). A grande diversidade de terpenóides voláteis em plantas é gerada através da ação das terpeno-sintases, muitas das quais podem sintetizar produtos múltiplos a partir de um único substrato prenil difosfato (Degenhardt et al., 2009). Os monoterpenos desempenham papéis importantes na saúde do ser humano por causa das suas atividades antibacteriana, antiviral, anticancerígena, entre outras. Estes compostos são caracterizados por aromas específicos e são produzidos naturalmente em frutas, legumes e ervas (Kupska, et al., 2014).

Os hidrocarbonetos (0,37-3,59%) e outros compostos (0,2-1,3%) foram encontrados em baixos valores de área dos picos e presentes em alguns genótipos. Maia et al. (2008) assumiram que os ácidos graxos saturados e hidrocarbonetos encontrados no pequi foram produzidos após a hidrogenação e descarboxilação dos ácidos graxos insaturados. Semelhantemente, os hidrocarbonetos identificados na macaíba também podem ter sido

obtidos pela mesma via, pois sua polpa é uma rica fonte de ácidos graxos monoinsaturados, principalmente oleico.

Vários fatores além dos conteúdos originais dos compostos na amostra poderiam afetar as áreas de pico dos compostos. Apesar dessas limitações, elevadas áreas do pico de um dado composto volátil por SPME-GC-MS potencialmente indica altos teores na amostra, embora o inverso não é necessariamente verdade (Nunes et al., 2016). Portanto, a polpa de macaíba pode ser indicada como excelente fonte de terpenos.

A polpa de macaíba apresenta perfil exótico sendo descrita como material de textura fibro-mucilagínosa, coloração amarelo ouro, sabor ligeiramente doce e ácido, regular adstringência e moderado sabor residual de látex. O aroma é muito intenso, levemente adocicado e alcóolico com nuances de banana madura, abacate e vinho (tanino). Para nosso conhecimento, esta é a primeira vez que a composição dos compostos voláteis de *A. intumescens* foi caracterizada e neste contexto, álcoois, aldeídos, ésteres e terpenos identificados na sua polpa provavelmente estão relacionados ao aroma característico da fruta.

No entanto, do ponto de vista de sabor, é bem reconhecido que os compostos voláteis mais abundantes não são necessariamente os compostos sensoriais mais importantes. Alguns compostos voláteis, geralmente conhecidas como principais compostos de sabor, são determinados no aroma percebido, mesmo em concentrações muito baixas (Bermejo-Prada, Vega, Pérez-Mateos, & Otero, 2015). Sendo assim, é importante a determinação do perfil sensorial da fruta e realização de análises cromatográficas/olfatométricas para o conhecimento das substâncias de maior impacto no aroma.

### 3.2 Análise de componentes principais e agrupamento hierárquico

A Tabela 2 mostra os escores e a Figura 1 apresenta o círculo de autovetores das variáveis relacionadas com a classificação química dos compostos voláteis identificados nos sete genótipos de *A. intumescens*. O CP1 reproduz 43,50% e o CP2 28,28% da variação total dos dados com variância acumulada de 71,78%. Para o CP1, os grupos químicos formados por álcoois, hidrocarbonetos e terpenos explicaram a variabilidade entre os genótipos. Por outro lado, os maiores escores no CP2 foram devido ao teor de aldeídos, éteres, ésteres e outras classes químicas identificadas na polpa de macaíba.

Os genótipos exibiram variação no conteúdo de todas as classes de voláteis identificados. Um gráfico bidimensional foi projetado e a distribuição dos genótipos ao longo do CP1 e CP2 demonstrou que as amostras podem ser divididas em três grupos principais. O

grupo A (Figura 1) foi constituído por G6. O grupo B foi formado por G3, G4 e G7. O grupo C foi composto por G1, G2 e G5. Os genótipos 3 e 4 apresentaram as maiores concentrações de álcoois, G6 de éteres e ésteres, G7 de aldeídos, G5 de hidrocarbonetos e todos os genótipos foram abundantes em terpenos sobretudo G1, G2 e G5.

De acordo com as alterações quantitativas nos perfis de voláteis apresentadas no dendograma de agrupamento hierárquico (Figura 2), observou-se elevada similaridade entre os genótipos 3 e 4 que formaram o grupo B. O grupo A foi constituído apenas por G6 e o grupo C apresentou duas subdivisões sendo G2 e G5 os mais semelhantes. De forma geral, os genótipos com maior grau de dissimilaridade foram G1 e G6. Portanto, é possível extrair informações relevantes sobre a correlação existente entre as variáveis que caracterizam as amostras e a disposição hierárquica dos genótipos. Adicionalmente, verificou-se que alguns genótipos apresentaram características peculiares para certos compostos que foram identificados pontualmente.

A composição da fração volátil de frutas é fortemente relacionada com os diferentes estágios de maturação, a interação dos tecidos vegetais com fatores bióticos e abióticos e os mecanismos de defesa induzidos por agentes patogênicos (Janzantti et al., 2012). A presença de diferentes compostos voláteis em uma matriz indica que estes voláteis são produtos diretos ou indiretos de uma via metabólica específica e como tal, podem ser classificados, de acordo com a sua biogênese, como aminoácidos, ácidos graxos, fenóis, terpenos e outros compostos relacionados (Porto-Figueira et al., 2015).

O comportamento diferenciado das características entre os genótipos pode ser em decorrência de fatores edafoclimáticos, mas também à influência de fatores genéticos, fisiológicos e bióticos relacionados aos mecanismos de defesa da planta.

Em relação aos terpenos, a contribuição relativa de cada via de biossíntese das várias classes de terpenos ou até mesmo de um terpeno específico da planta permanece incerta e depende das espécies ou das condições ambientais (Vranová et al., 2013). Merece destaque que o genoma das plantas contém tipicamente famílias muito semelhantes de terpeno sintases, contudo funcionalmente diversa (Chen et al., 2011). Considerando que não existem estudos sobre a rota metabólica dos diferentes compostos voláteis identificados na polpa de macaíba e de acordo com os dados obtidos, o genótipo exerceu forte influência neste perfil.

A composição volátil de seis cultivares de ameixa também foi influenciada pelos genótipos (Cuevas, Moreno-Rojas, Arroyo, Daza, & Ruiz-Moreno, 2016) e foram observadas diferenças significativas entre os voláteis identificados em seis variedades de sucos cítricos



(Ren et al., 2015). A maior parte da variabilidade dos perfis voláteis de azeite de oliva virgem parece corresponder exclusivamente para o genótipo e dentre os compostos responsáveis pelo aroma, aldeídos, ésteres e terpenos incluindo o ocimene foram os principais (Pérez et al., 2016).

#### 4. Conclusões

Foram identificados pela primeira vez (62) compostos voláteis distribuídos entre hidrocarbonetos, éteres, ésteres, cetona e outros grupos químicos, mas principalmente terpenos, aldeídos e álcoois. Houve grande variação no perfil de voláteis entre os genótipos. O teor de álcoois oscilou de 1,5 a 44,99%, os dioxalanes estiveram presentes em todos os genótipos, o hexanal foi o principal representante dos aldeídos. No entanto, a polpa de macaíba destacou-se pelos elevados níveis de terpenos (21,46-83,34%) principalmente  $\beta$ -Cis-Ocimene,  $\beta$ -Trans-Ocimene e Allo-aromadendrene com resultados superiores em G1, G2 e G5. A polpa de macaíba apresenta aroma forte e exótico e os dados de voláteis apontam a aplicação potencial desta fruta na indústria de alimentos e cosméticos.

#### Referências

- Adams, R. P. (2007). *Identification of Essential Oil Components by Gas Chromatography/Mass Spectrometry*. Chicago: Allured Publishing Corporation.
- Aguiar, M. C. S., Silvério, F. O., de Pinho, G. P., Lopes, P. S. N., Fidêncio, P. H., & Ventura, S. J. (2014). Volatile compounds from fruits of *Butia capitata* at different stages of maturity and storage. *Food Research International*, 62, 1095–1099. <http://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.05.039>
- Bermejo-Prada, A., Vega, E., Pérez-Mateos, M., & Otero, L. (2015). Effect of hyperbaric storage at room temperature on the volatile profile of strawberry juice. *LWT - Food Science and Technology*, 62(1), 906–914. <http://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.08.020>
- Bicas, J. L., Molina, G., Dionísio, A. P., Barros, F. F. C., Wagner, R., Maróstica, M. R., & Pastore, G. M. (2011). Volatile constituents of exotic fruits from Brazil. *Food Research International*, 44(7), 1843–1855. <http://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.01.012>
- Bugaud, C., & Alter, P. (2016). Volatile and non-volatile compounds as odour and aroma predictors in dessert banana (*Musa* spp.). *Postharvest Biology and Technology*, 112, 14–23. <http://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.10.003>
- Chen, F., Tholl, D., Bohlmann, J., & Pichersky, E. (2011). The family of terpene synthases in plants: a mid-size family of genes for specialized metabolism that is highly diversified throughout the kingdom. *Plant J.*, 66, 212–229.
- Cuevas, F. J., Moreno-Rojas, J. M., Arroyo, F., Daza, A., & Ruiz-Moreno, M. J. (2016). Effect of management (organic vs conventional) on volatile profiles of six plum cultivars (*Prunus salicina* Lindl.). A chemometric approach for varietal classification and determination of potential markers. *Food Chemistry*, 199, 479–484. <http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.12.049>

- Degenhardt, J., Köllner, T.G., & Gershenzon, J. (2009). Monoterpene and sesquiterpene synthases and the origin of terpene skeletal diversity in plants. *Phytochemistry*, 70, 1621–1637.
- Dudareva, N., Klempien, A., Muhlemann, J.K., & Kaplan, I. (2013). Biosynthesis, function and metabolic engineering of plant volatile organic compounds. *New Phytol.*, 198, 16–32.
- Fredes, A., Sales, C., Barreda, M., Valcárcel, M., Roselló, S., & Beltrán, J. (2016). Quantification of prominent volatile compounds responsible for muskmelon and watermelon aroma by purge and trap extraction followed by gas chromatography-mass spectrometry determination. *Food Chemistry*, 190, 689–700. <http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.06.011>
- Galvão, M. S., Narain, N., Santos, M. do S. P., & Nunes, M. L. (2011). Volatile compounds and descriptive odor attributes in umbu (*Spondias tuberosa*) fruits during maturation. *Food Research International*, 44(7), 1919–1926. <http://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.01.020>
- Janzantti, N. S., Macoris, M. S., Garruti, D. S., & Monteiro, M. (2012). Influence of the cultivation system in the aroma of the volatile compounds and total antioxidant activity of passion fruit. *LWT- Food Science and Technology*, 46(2), 511–518.
- Kondjoyan, N., & Berdagué, J. L. (1996). *A compilation of relative retentive indices for analysis of aromatic compounds*. Champanelle: Laboratoire Flaveur
- Kupska, M., Chmiel, T., Jedrkiewicz, R., Wardencki, W., & Namiesnik, J. (2014). Comprehensive two-dimensional gas chromatography for determination of the terpenes profile of blue honeysuckle berries. *Food Chemistry*, 152, 88–93.
- Leão, K. M. M., Sampaio, K. L., Pagani, A. A. C., & Da Silva, M. A. A. P. (2014). Odor potency, aroma profile and volatiles composition of cold pressed oil from industrial passion fruit residues. *Industrial Crops and Products*, 58, 280–286. <http://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.04.032>
- Maia, J. G. S., Andrade, E. H. A., & da Silva, M. H. L. (2008). Aroma volatiles of pequi fruit (*Caryocar brasiliense* Camb.). *Journal of Food Composition and Analysis*, 21(7), 574–576. <http://doi.org/10.1016/j.jfca.2008.05.006>
- Nunes, J. C., Lago, M. G., Castelo-Branco, V. N., Oliveira, F. R., Torres, A. G., Perrone, D., & Monteiro, M. (2016). Effect of drying method on volatile compounds, phenolic profile and antioxidant capacity of guava powders. *Food Chemistry*, 197, 881–890. <http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.11.050>
- Obenland, D., Collin, S., Sievert, J., Negm, F., & Arpaia, M. L. (2012). Influence of maturity and ripening on aroma volatiles and flavor in “Hass” avocado. *Postharvest Biology and Technology*, 71, 41–50. <http://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2012.03.006>
- Oliveira, I., Guedes de Pinho, P., Malheiro, R., Baptista, P., & Pereira, J. A. (2011). Volatile profile of *Arbutus unedo* L. fruits through ripening stage. *Food Chemistry*, 128(3), 667–673. <http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.03.084>
- Pereira, M. E. C., Tieman, D. M., Sargent, S. A., Klee, H. J., & Huber, D. J. (2013). Volatile profiles of ripening West Indian and Guatemalan-West Indian avocado cultivars as affected by aqueous 1-methylcyclopropene. *Postharvest Biology and Technology*, 80, 37–46. <http://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2013.01.011>
- Pérez, A. G., de la Rosa, R., Pascual, M., Sánchez-Ortiz, A., Romero-Segura, C., León, L., & Sanz, C. (2016). Assessment of volatile compound profiles and the deduced sensory significance of virgin olive oils from the progeny of Picual×Arbequina cultivars. *Journal of Chromatography. A*, 1428, 305–15. <http://doi.org/10.1016/j.chroma.2015.07.055>
- Porto-Figueira, P., Freitas, A., Cruz, C. J., Figueira, J., & Câmara, J. S. (2015). Profiling of passion fruit volatiles: An effective tool to discriminate between species and varieties.

- Food Research International*, 77, 408–418. <http://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.09.007>
- Ren, J.-N., Tai, Y.-N., Dong, M., Shao, J.-H., Yang, S.-Z., Pan, S.-Y., & Fan, G. (2015). Characterisation of free and bound volatile compounds from six different varieties of citrus fruits. *Food Chemistry*, 185, 25–32. <http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.03.142>
- Sampaio, T. S., & Nogueira, P. C. L. (2006). Volatile components of mangaba fruit (*Hancornia speciosa* Gomes) at three stages of maturity. *Food Chemistry*, 95(4), 606–610.
- SAS (2010). INC, SAS INSTITUTE. SAS/STAT® 9.22 User's Guide.
- Singh, S. P., & Saini, M. K. (2014). Postharvest vapour heat treatment as a phytosanitary measure influences the aroma volatiles profile of mango fruit. *Food Chemistry*, 164, 387–95. <http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.05.009>
- Sokal, R. R., & Michener, C. D. (1958). *A Statistical Method for Evaluating Systematic Relationships*. University of Kansas Science Bulletin, 38, 1409–1438.
- Soto, V. C., Maldonado, I. B., Jofré, V. P., Galmarini, C. R., & Silva, M. F. (2015). Direct analysis of nectar and floral volatile organic compounds in hybrid onions by HS-SPME/GC–MS: Relationship with pollination and seed production. *Microchemical Journal*, 122, 110–118. <http://doi.org/10.1016/j.microc.2015.04.017>
- Vranová, R., Coman, D., & Gruissem, W. (2013). Network analysis of the MVA and MEP pathways for isoprenoid synthesis. *Annu. Rev. Plant Biol.*, 64, 665–700.

**Tabela 1.** Compostos voláteis extraídos por SPME em polpa de *Acrocomia intumescens*.

Compostos	LR <sub>Ical</sub>	LR <sub>Ilit</sub> <sup>1</sup>	ID <sup>2</sup>	% Área Total							Atributos <sup>3</sup>
				G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	
Álcoois											
Cyclobutanol	< 700		MS	0,3	0,33	Nd	Nd	0,51	Nd	Nd	Fermentado, doce
3-Heptanol, 2,6-dimethyl	811		MS	Nd	Nd	22,67	27,04	Nd	Nd	Nd	
Butanol, 2-ethyl	857		MS	0,96	0,35	0,54	0,6	0,45	1,6	1,57	
Hexanol	886	865	MS + LRI	Nd	Nd	Nd	1,08	Nd	2,47	0,77	
4-Heptanol	911	885	MS + LRI	1,76	0,3	2,25	1,6	0,54	1,51	3,61	Alcóolico
4-Heptanol, 3-methyl	996		MS	4,5	Nd	Nd	Nd	Nd	3,49	Nd	Ceroso, gorduroso, cítrico
2-Heptanol, 6-methyl	953		MS	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	0,28	Nd	
5-Methyl-4-octanol	997		MS	Nd	Nd	4,53	4,3	Nd	Nd	Nd	
1-Hexanol, 2-ethyl	1051	1028	MS + LRI	1,46	Nd	1,27	1,28	Nd	1,73	1,83	Doce, gorduroso, frutal
2-Isopropyl-5-methyl-1-hexanol	1115		MS	0,2	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	
1-Nonen-4-ol	1124	1110	MS + LRI	2,97	Nd	8,99	7,01	Nd	1,29	4,51	
5-Nonanol-5-methyl	1136		MS	Nd	Nd	Nd	0,34	Nd	1,00	Nd	
Cyclopentanol 2-methyl	1202	1217	MS + LRI	Nd	Nd	1,19	Nd	Nd	Nd	Nd	
2,4-Pentadien-1-ol, 3-propyl-, (2Z)	1227	-	MS	Nd	Nd	0,51	Nd	Nd	Nd	Nd	
3-Decen-1-ol, (Z)	1234		MS	Nd	Nd	2,43	1,7	Nd	Nd	Nd	
Σ Álcoois				12,15	0,98	44,38	44,95	1,5	13,37	12,29	
Aldeídos e Cetonas											
Butanal	< 700	593	MS	1,89	0,71	3,19	2,31	1,00	2,93	5,08	Pungente penetrante, verde, malte, verniz, melão, queimado
Butanal, 3-methyl	< 700	658	MS	0,17	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Amêndoa, chocolate, malte, perfume, frutado, verde
Butanal, 2-ethyl	771		MS	0,19	Nd	0,41	Nd	Nd	Nd	1,08	Doce, verde, frutado com nuance de



Hexyl acetate	1030	1008	MS + LRI	Nd	Nd	Nd	1,18	Nd	2,11	Nd	Frutado, erva, doce, maçã Algodão doce, especiarias, caramelo
4,5-Dimethyl-3-hydroxy-2[5H]-furanone	1113	1112	MS + LRI	2,02	Nd	1,28	1,11	Nd	1,99	Nd	
Ethyl oct-(2Z)-enoate	1218	1199	MS + LRI	Nd	Nd	1,06	Nd	Nd	Nd	Nd	
<b>Σ Éteres e ésteres</b>				<b>7,5</b>	<b>3,14</b>	<b>10,5</b>	<b>6,9</b>	<b>4,54</b>	<b>34,95</b>	<b>6,77</b>	
<b>Hidrocarbonetos</b>											
Undecane	1112	1100	MS + LRI	Nd	Nd	Nd	Nd	0,3	Nd	Nd	Alcano
Dodecane	1217	1200	MS + LRI	0,22	Nd	Nd	Nd	0,28	Nd	0,62	Alcano
Tridecane	1300	1300	MS + LRI	0,31	0,31	Nd	Nd	0,45	Nd	Nd	Alcano
Decane, 2,3,5,8-tetramethyl	1326		MS	Nd	Nd	Nd	Nd	0,47	Nd	Nd	
Dodecane, 2,6,10-trimethyl	1351		MS	0,48	0,49	Nd	Nd	0,73	Nd	Nd	
Dodecane, 2,6,11-trimethyl	1439		MS	Nd	Nd	Nd	0,37	Nd	Nd	Nd	
Tetradecane	1435	1400	MS + LRI	Nd	Nd	Nd	Nd	0,57	Nd	Nd	Levemente ceroso, alcano
Tetradecane, 2,6,10-trimethyl	1536		MS	0,26	0,34	Nd	Nd	0,47	Nd	Nd	
Hexadecane	1587	1600	MS + LRI	0,18	0,24	Nd	Nd	0,32	Nd	Nd	Alcano
<b>Σ Hidrocarbonetos</b>				<b>1,45</b>	<b>1,38</b>	<b>Nd</b>	<b>0,37</b>	<b>3,59</b>	<b>Nd</b>	<b>0,62</b>	
<b>Terpenos</b>											
α-Pinene	948	934	MS + LRI	0,34	0,56	Nd	Nd	0,46	Nd	Nd	Pinho, terebintina, resina, madeira, herbal
3-Carene	997	1008	MS + LRI	Nd	0,66	Nd	Nd	0,57	Nd	Nd	
	1004	989	MS + LRI	1,6	1,8	0,48	0,68	1,69	Nd	Nd	Limão, resina, doce Balsâmico, especiaria, verde, madeira, mentolado, picante, plástico, frutado
β-Myrcene											Balsâmico, herbal, pinho, fresco
Pinane cis	1001	982	MS + LRI	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	0,66	1,05	Cítrico, menta, frutal, herbal
Limonene	1051	1031	MS + LRI	Nd	0,58	Nd	Nd	0,66	Nd	Nd	Floral, herbal, doce
β-Cis-Ocimene	1053	1037	MS + LRI	29,91	39,43	13,52	18,21	33,85	14,83	11,76	Doce, herbal
β-Trans-Ocimene	1065	1048	MS + LRI	21,32	28,06	9,26	12,59	23,89	10,13	7,46	Doce, floral, picante, noz, herbal Madeira
Neo-Allo-Ocimene	1154	1140	MS + LRI	0,5	0,58	Nd	Nd	0,55	Nd	Nd	
Allo-aromadendrene	1488	1483	MS + LRI	5,82	9,43	3,39	5,58	8,36	3,13	1,19	

$\alpha$ -Caryophyllene	1531	1452	MS + LRI	1,87	3,24	1,08	1,92	2,78	0,93	Nd	Madeira, especiarias
<b><math>\Sigma</math> Terpenos</b>				<b>61,36</b>	<b>84,34</b>	<b>27,73</b>	<b>38,98</b>	<b>72,81</b>	<b>29,68</b>	<b>21,46</b>	
<b>Outros</b>											
Cyclobutylamine	< 700		MS	0,2	0,22	Nd	0,2	0,24	Nd	Nd	
Toluene	775	770	MS + LRI	Nd	Nd	Nd	Nd	0,63	Nd	Nd	Tinta, doce
Hexanenitrile	895	884	MS + LRI	Nd	Nd	Nd	0,61	Nd	Nd	Nd	
Thiazole 2-ethoxy	960	951	LRI	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	1,3	Nd	
<b><math>\Sigma</math> Outros</b>				<b>0,2</b>	<b>0,22</b>	<b>Nd</b>	<b>0,81</b>	<b>0,87</b>	<b>1,3</b>	<b>Nd</b>	

<sup>1</sup>LRI literatura (Adams, 2007; Kondjoyan & Berdagué, 1996);

<sup>2</sup>ID= Identificação. MS: Compostos identificados com base na verificação do espectro de massa de referência da base NIST (National Institute of Standards and Technology, USA); MS + LRI: Compostos identificados com base na verificação do espectro de massa de referência da base NIST (National Institute of Standards and Technology, USA) e LRI da literatura;

<sup>3</sup>Atributos descritos no banco de dados disponível em <http://www.odour.org.uk/odour/index.html>, na base da Cornell University Flavornet (<http://www.flavornet.org/flavornet.html>) e na Good Scents Company (<http://www.thegoodscentscompany.com/index.html>)

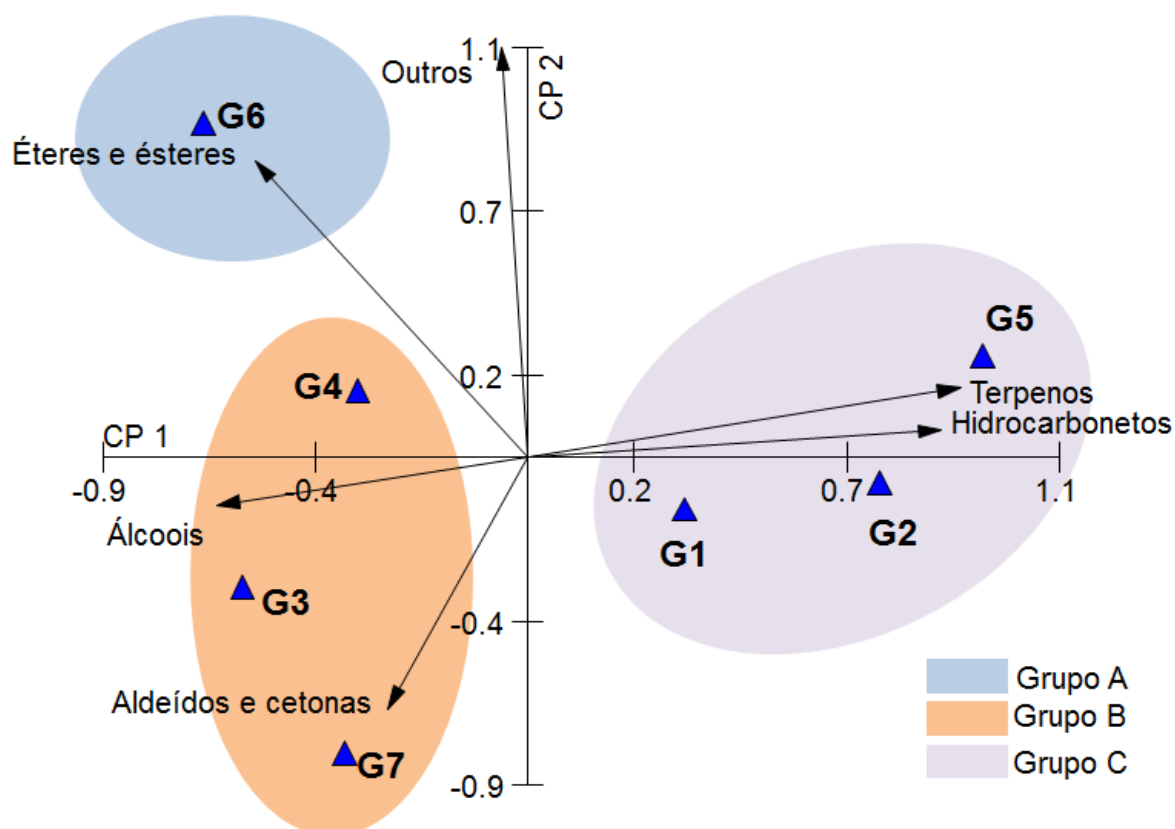
Nd: Composto não detectado.

**Tabela 2.** Autovetores de dois componentes principais (CP1 e CP2) de variáveis relacionadas com o perfil de compostos voláteis de sete genótipos de *A. intumescens*. Areia-PB, 2016.

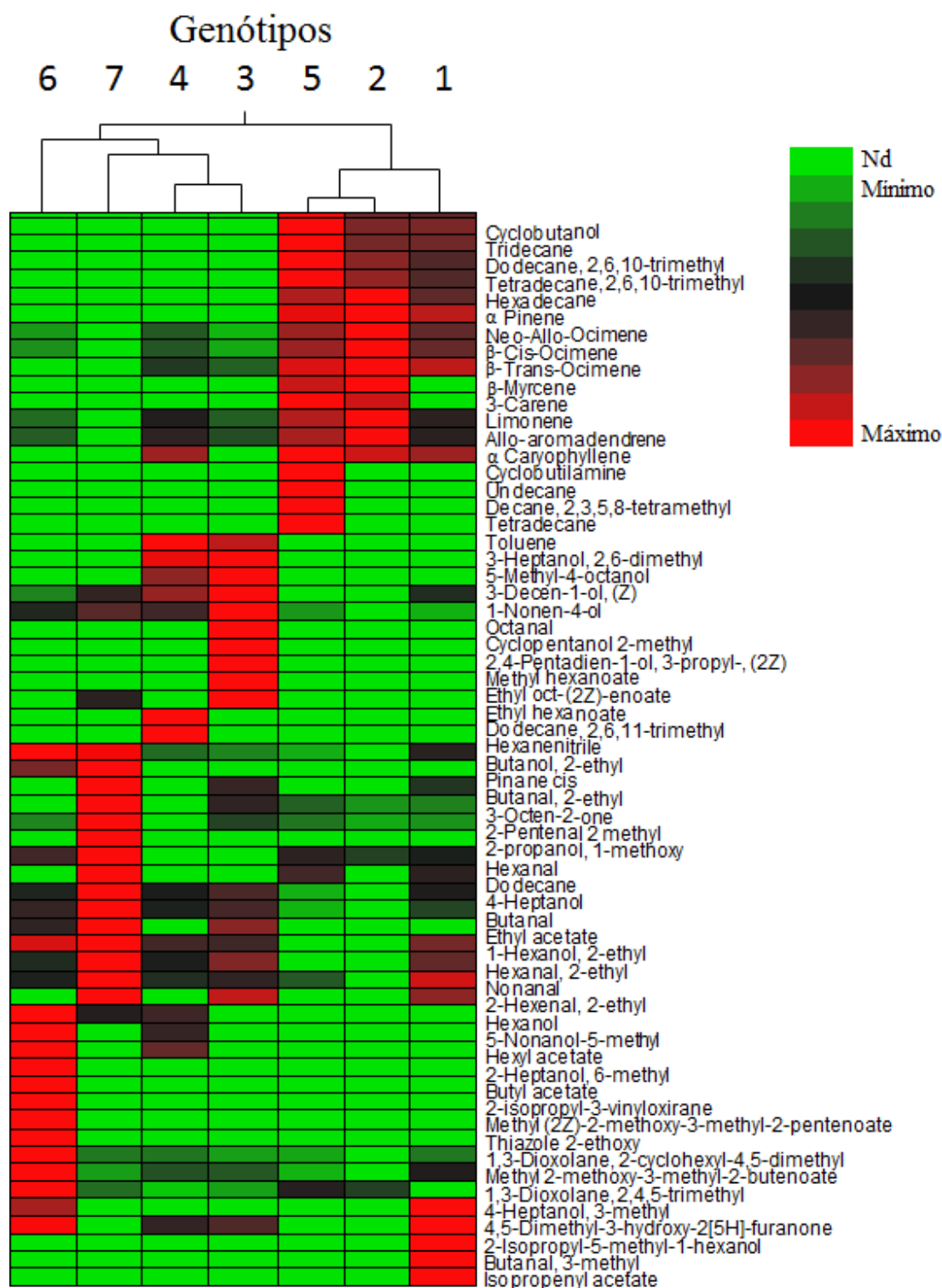
<b>Classes químicas</b>	<b>CP1</b>	<b>CP2</b>
Álcoois	<b>-0,419</b>	-0,083
Aldeídos e cetonas	-0,188	<b>-0,440</b>
Éteres e ésteres	-0,368	<b>0,518</b>
Hidrocarbonetos	<b>0,558</b>	0,049
Terpenos	<b>0,584</b>	0,122
Outros	-0,036	<b>0,717</b>
<b>Autovalores</b>	<b>2,61</b>	<b>1,70</b>
<b>VA(%)</b>	<b>43,50</b>	<b>71,78</b>

\*Negrito indica as variáveis com contribuição significativa dentro de cada CP definidas com base no valor de 0,7 do máximo |autovetor|; VA = variância acumulada.





**Figura 1.** Autovetores e formação de grupos de genótipos de *A. intumescens* com base nos escores de dois componentes principais (CP1 e CP2) para as variáveis relacionadas ao perfil de compostos voláteis. O número de grupos na ACP foi definido com base no valor de CCC (SAS, 2010).



**Figura 2.** Dendrograma de agrupamento hierárquico dos sete genótipos de macaibeira com mapa de cor detalhando a contribuição individual dos compostos voláteis.

## 6. CONCLUSÃO

Esta pesquisa apresenta a primeira caracterização de genótipos de *Acrocomia intumescens* oriundos de Mata Atlântica e entorno.

Os frutos de macaíba mostraram alta variabilidade genética e rendimento superior a 50% com destaque para o forte potencial agroindustrial. A polpa e amêndoa podem ser consideradas como importante fonte de carboidratos, lípidos, minerais e em particular, K, Fe, P, e Ca. Além disso, as amêndoas são ricas em globulinas e como uma vantagem nutricional em termos de digestibilidade, não possuem inibidores de tripsina e/ou atividade hemaglutinante. Foram formados dois grupos para as avaliações físicas, físico-químicas e minerais, sendo o grupo 1 constituído por G5, G6 e G7 e o grupo 2 por G1, G2, G3 e G4 em relação aos atributos físicos e físico-químicos.

A polpa apresentou elevados teores de AGI (89,81%) sendo mais abundantes os ácidos oleico, linoleico e palmítico além de excelentes índices de qualidade nutricional. A amêndoa, embora também rica em ácido oleico contém teores significativos de AGS, sobretudo láurico, mirístico e palmítico. Os óleos das duas frações possuem boa estabilidade térmica até 230 °C com curvas de DTA de caráter exotérmico. Os genótipos 2, 3 e 6 foram reunidos no mesmo grupo por apresentar os maiores teores de AGMI, AGPI, AGS e AG total nas duas frações.

A polpa contém níveis muito elevados de carotenoides totais e pode ser considerada rica em vitamina C. As maiores concentrações de fenólicos totais foram observados na casca e na amêndoa. Os resultados revelaram que as frações com o maior teor de compostos fenólicos também tiveram a maior atividade antioxidante pelos ensaios DPPH e ABTS<sup>•+</sup> sendo a correlação significativa e positiva mais forte entre ABTS<sup>•+</sup> e PET.

Os ácidos fenólicos e flavonóis foram os compostos majoritários nas frações pesquisadas. A catequina foi o único fenólico encontrado em todas as amostras. No entanto, a miricetina foi o fenólico identificado com a maior concentração. O genótipo 6 destacou-se por conter as maiores concentrações de carotenoides totais, flavonoides amarelos e PET na casca, ácido ascórbico e flavonoides amarelos na polpa e maior atividade antioxidante na casca. O genótipo 7 tem o maior teor de carotenoides totais e PET na polpa.

Através do sistema HS SPME GC-MS foram identificados pela primeira vez (62) compostos voláteis distribuídos entre hidrocarbonetos, éteres, ésteres, cetona e outros grupos químicos, mas principalmente terpenos, aldeídos e álcoois. Existiu grande variação no perfil de voláteis entre os genótipos. O teor de álcoois oscilou de 1,5 a 44,99%; os dioxalanes

estiveram presentes em todos os genótipos e o hexanal foi o principal representante dos aldeídos. No entanto, a polpa de macaíba apresenta aroma forte e exótico e destacou-se pelos elevados níveis de terpenos (21,46-83,34%) principalmente  $\beta$ -Cis-Ocimene,  $\beta$ -Trans-Ocimene e Allo-aromadendrene com resultados superiores em G1, G2 e G5.

A ACP se mostrou eficiente para identificar as características mais significativas na diferenciação entre os genótipos fornecendo subsídios para exploração sustentável da macaíba na indústria de alimentos, cosméticos e fitofármacos. Este fruto, portanto, pode contribuir substancialmente para o fornecimento de nutrientes, enriquecimento da dieta, fonte de bioativos e agregação de valor aos recursos naturais da Mata Atlântica brasileira pelo seu consumo fresco ou processado.

No entanto, infere-se a necessidade de pesquisas sobre melhoramento genético, tecnologia de produção, fisiologia pós-colheita, perfil de vitaminas e carotenoides, atividade prebiótica, biodisponibilidade e bioacessibilidade de seus nutrientes e fitoquímicos e potencial tecnológico desta espécie.