



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE CIÊNCIAS DA SAÚDE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM NUTRIÇÃO

BERNADETE DE LOURDES DE ARAÚJO SILVA

POLPA DE MANGABA (*Hancornia speciosa*) EM PÓ: propriedades funcionais e efeitos sobre parâmetros lipídicos, oxidativos e função hepática de ratos dislipidêmicos

RECIFE-PE
2020

BERNADETE DE LOURDES DE ARAÚJO SILVA

POLPA DE MANGABA (*Hancornia speciosa*) EM PÓ: propriedades funcionais e efeitos sobre parâmetros lipídicos, oxidativos e função hepática de ratos dislipidêmicos

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Nutrição da Universidade Federal de Pernambuco como requisito parcial para obtenção do título de doutor em Nutrição.

Área de concentração: Ciência dos Alimentos.

Orientadora: Prof^a Dra. Margarida Angélica da Silva Vasconcelos

Co-orientadora: Prof^a Dra. Jailane de Souza Aquino

**RECIFE-PE
2020**

Catálogo na Fonte
Bibliotecária: Mônica Uchôa, CRB4-1010

S586p Silva, Bernadete de Lourdes de Araújo.
Polpa de mangaba (*Hancornia speciosa*) em pó: propriedades funcionais e efeitos sobre parâmetros lipídicos, oxidativos e função hepática de ratos dislipidêmicos / Bernadete de Lourdes de Araújo Silva.– 2020.
138 f.: il.; tab.; quad.; 30 cm.

Orientadora: Margarida Angélica da Silva Vasconcelos.
Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco, CCS.
Programa de Pós-Graduação em Nutrição. Recife, 2020. Inclui referências, apêndices e anexos.

1. Antioxidante. 2. Cardiovasculares. 3. Ratos Wistar. 4. Fruta em pó. 5. Proteína do soro do leite. I. Vasconcelos, Margarida Angélica da Silva (Orientadora). II. Título.

612.3 CDD (20.ed.) UFPE (CCS2021-092)

BERNADETE DE LOURDES DE ARAÚJO SILVA

POLPA DE MANGABA (*Hancornia speciosa*) EM PÓ: propriedades funcionais e efeitos sobre parâmetros lipídicos, oxidativos e função hepática de ratos dislipidêmicos

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Nutrição da Universidade Federal de Pernambuco como requisito parcial para obtenção do título de doutor em Nutrição.

Aprovada em: 06/10/2020.

BANCA EXAMINADORA

Prof^a Dr^a Jailane de S. Aquino
(Co-orientadora – UFPB)

Elizabeth do Nascimento
(Membro interno - UFPE)

Prof^a Dr^a Patricia Moreira Azoubel
(Membro interno - UFPE)

Prof^a Dr^a Juliana Késsia B. Soares
(Membro externo - UFCG)

Prof^a Dr^a Kátia Cristina Borges
(Membro externo – UFRN)

Ao meu bom Deus, pois sem Ele nada sou e nada posso. A minha família, minhas irmãs, meu pai, e excepcionalmente minha mãe, Maria Bernadete Araújo e ao meu filho Lucas Vinícius, por acreditarem e estarem sempre juntos a mim nessa jornada da vida. Sinônimos de amor, força e coragem! Dedico!!

AGRADECIMENTOS

A **Deus** pelo dom de estar aqui na Terra, semeando, vivendo e conquistando. A **Santa Dulce dos Pobres** e a **Santa Rita de Cássia** que se fizeram presentes durante os estudos diários intercedendo junto ao Deus Pai durante esse ciclo.

A professora Dr^a. Margarida Angélica, a quem tive a oportunidade de conhecer e de aceitar-me como orientanda. Meu muito obrigada, em todos os momentos que contribuiu para a construção destes conhecimentos.

A professora Dr^a. Jailane Aquino, a quem conheço toda a trajetória acadêmica desde a época de pós-graduação. Amiga que tenho bastante apreço e carinho. Obrigada pela atenção, acolhimento e ter contribuído com o meu aprendizado em tornar-se cada dia uma profissional melhor.

As professoras Dr^a. Roberta Targino Hoskin e Dr^a. Kátia Cristina Borges, da Universidade Federal do Rio Grande, que colaboraram imensamente na elaboração desta pesquisa, desde os momentos iniciais até os finais. Professoras estas que tenho muita admiração pelos trabalhos desenvolvidos, dedicação com a docência e compromisso.

Aos professores Dr. Alexandre Sérgio Silva, Dr. Adriano Francisco Alves e professora Dr^a. Lydiane Tavares Toscano da Universidade Federal da Paraíba, por todas as análises executadas do estudo *in vivo* nos respectivos laboratórios, por todo ensinamento e contribuição durante o desenvolvimento da pesquisa.

Também agradeço ao professor Dr. Marcos dos Santos Lima do Instituto Federal-Sertão Petrolina, pelas análises envolvendo o estudo *in vitro*, toda a colaboração e aprendizado.

A todos os técnicos de laboratórios envolvidos na pesquisa, seja da Universidade Federal da Paraíba e da Universidade Federal de Pernambuco:

Heloisa Maria Almeida, Sônia Paula Alexandrina, Rosianne Assis de Souza Tsujisaki, Danielle Melo de Souza, Guilherme Costa de Oliveira, Maria Olívia Cutrim, Sebastião Camilo de Melo e Alexandre Ramos de Oliveira. A Aline Barbosa e a Hassler Cavalcante que me auxiliaram durante todo o experimento prático com os animais.

As amigas irmãs de coração, Selma dos Passos Braga, Fátima de Lourdes Araújo e Flávia Melo que sempre estiveram presentes, em vários momentos durante essa trajetória. Que possamos sempre seguir, contribuindo com a evolução uma das outras. Obrigada pelo carinho meninas!! Pessoas lindas são vocês!!

A amiga do coração, Professora Dr^a Maria Elieidy Gomes, a quem tenho como exemplo, imenso apreço pessoal e profissional, e que desde a graduação estamos nessa rota de dedicação aos estudos e trabalhos. Obrigada em todos momentos que precisei Ely!!

As amigas das doutorandas em Nutrição da UFPE que fiz durante o curso, Éryka Alves e Jacqueline Silva. Meninas dedicadas, de garra imensa e compromissadas com estudos. Meu muito obrigada pela atenção e apoio em diversos momentos meninas!!

Ainda agradeço imensamente as doutorandas da UFPB, em especial a Kamila Sabino, por toda participação no estudo *in vivo*, desde as práticas iniciais até as análises de dados estatísticos, a Maria Helena Vasconcelos e a Juliana Gondim, pelo aprendizado compartilhado, trocas de conhecimento, carinho, disponibilidade e colaboração.

Minha gratidão a todos vocês!!!

“Caminhando e semeando, sempre se terá o que colher. Recria tua vida, sempre e sempre. Remove pedras e planta roseiras e faz doces. Recomeça” (CORALINA, 1997, p.139)

RESUMO

A mangaba (*Hancornia speciosa*) é uma fruta tropical exótica consumida principalmente *in natura* ou processada em sucos, sorvetes, geleias e polpas congeladas. Esta fruta apresenta vários compostos bioativos, que podem apresentar potencial terapêutico, adjuvante frente a doenças metabólicas, como a dislipidemia. Contudo, é considerada perecível e suas bagas são ricas em látex, o que pode limitar o desenvolvimento de novos produtos e a preservação destes compostos. Neste sentido, a secagem por liofilização e o uso de adjuvante de secagem, a exemplo da proteína do soro do leite, podem ser recursos úteis para a conservação de bioativos e aumento do processamento e da comercialização desta fruta. Deste modo, a presente pesquisa objetivou produzir mangaba em pó por liofilização com diferentes concentrações de proteína do soro do leite, comparando os seus aspectos físico-químicos, bioativos e tecnológicos, além de avaliar o potencial bioativo da melhor formulação em ratos dislipidêmicos. A liofilização se realizou por um período de 72 horas em temperatura de -40°C. A mangaba foi processada usando proteína do soro do leite nas concentrações de 10% m/m (M10) e 15% m/m (M15). Para o ensaio biológico, 32 ratos Wistar adultos foram randomizados inicialmente em dois grupos: sadio (GS) e dislipidêmico (GD) na fase de indução da dislipidemia por 21 dias. Posteriormente, estes animais foram realocados em quatro grupos, sendo acrescentados os grupos com administração da mangaba em pó (400 mg/kg) via gavagem por 28 dias: sadio (GSM) e dislipidêmico (GDM). Ambos os pós (M10 e M15) apresentaram baixa umidade e atividade de água, pH ácido, sendo microbiologicamente estáveis. Os pós são fontes de ácido ascórbico (135,62-136,81 mg/100g), proteínas (11,03-13,03 g/100g), carboidratos (77,70-78,85 g/100g) e fibra dietética (1,49-4,01 g/100g), apresentando também oligossacarídeos como rafinose e kestose. Apresentam elevada atividade antioxidante para os radicais DPPH e ABTS, tendo o ácido clorogênico (2,48-2,80 mg/100g), procianidinas B1 (2,77 mg/100g), procianidinas B2 (2,24 mg/100g) e quercetina 3-glicosídeo (1,34-2,19 mg/100g) como compostos fenólicos majoritários. As micrografias revelaram partículas irregulares e porosas para ambos as amostras. O pó M10 teve melhores parâmetros avaliados para aplicação em sistemas alimentares e por isso foi administrado aos ratos. No estudo *in vivo*, o grupo GDM apresentou aumento de 77% no teor de ácidos biliares hepáticos, de 41% de triglicerídeo fecal; redução de

3% nos índices de Lee, 25%, no índice de adiposidade, 8% no IMC e de 18% no teor de colesterol total sérico. A administração de mangaba (GSM e GDM) reduziu a lipoperoxidação e aumentou a capacidade antioxidante sérica e hepática, além de atenuar o grau de esteatose hepática e o dano ao tecido intestinal causados pela dieta dislipidêmica (GDM). O consumo de mangaba teve efeito hipolipemiante, hepatoprotetor e antioxidante, especialmente em ratos dislipidêmicos. A ação aditiva e sinérgica entre os compostos bioativos da amostra pode ter contribuído aos efeitos finais apresentados. Todavia, estudos futuros com maior tempo de tratamento da dislipidemia com a mangaba em pó, serão necessários para avaliar os mecanismos fisiopatológicos destas ações em longo prazo.

Palavras-chaves: Antioxidante. Cardiovasculares. Ratos Wistar. Fruta em pó. Proteína do soro do leite.

ABSTRACT

Mangaba (*Hancornia speciosa*) is an exotic tropical fruit consumed mainly in *natura* or processed in juices, ice cream, jellies and frozen pulps. This fruit has several bioactive compounds that may have an adjunctive therapeutic potential in the face of metabolic diseases such as dyslipidemia. However, it is considered perishable and its berries are rich in latex, which can limit the development of new products and the preservation of these compounds. In this sense, freeze-drying and the use of drying aids, such as whey protein, can be useful resources for the conservation of bioactives and increased processing and commercialization of this fruit. Thus, this research aimed to produce mangaba powder by lyophilization with different concentrations of whey protein, comparing its physical-chemical, bioactive and technological aspects, in addition to assessing the bioactive potential of the best formulation in dyslipidemic rats. Freeze-drying was performed in a bench top freeze dryer for 72 hours at -40 °C. The mangaba was processed using whey protein in the concentrations of 10% m/m (M10) and 15% m/m (M15). For the biological trial, 32 adult *Wistar* rats were initially randomized into two groups: healthy (HG) and dyslipidemic (DG) in the induction phase of dyslipidemia for 21 days. Subsequently, these animals were relocated into four groups, groups with the administration of powdered mangaba were added (400 mg / kg) via gavage for 28 days: healthy (HGM) and dyslipidemic (DGM). Both powders (M10 e M15) showed low humidity and water activity, acidic pH, is microbiologically stable. Powders are sources of ascorbic acid (135,62-136,81 mg/100g), proteins (11,03-13,03 g/100g), carbohydrates (77,70-78,85 g/100g) and dietary fiber (1,49-4,01 g/100g), also presenting oligosaccharides such as raffinose and kestose. They have high antioxidant activity for the radicals DPPH and ABTS, having chlorogenic acid (2,48-2,80 mg/100g), procyanidins B1 (2,77 mg/100g), procyanidins B2 (2,24 mg/100g) and quercetin 3-glycoside (1,34-2,19 mg/100g) as major phenolic compounds. The micrographs revealed irregular and porous particles for both samples. The M10 powder had the best parameters evaluated for application in food systems and therefore was administered to rats. In the *in vivo* study, the MDG group showed an increase of 77% in the content of hepatic bile acids, of 41% in faecal triglyceride; reduction of 3% in Lee's indexes, 14% in adiposity index, 8% in BMI and 18% in total serum cholesterol content. The administration of mangaba (HGM and DGM) reduced lipoperoxidation and increased serum and hepatic antioxidant capacity, in addition to

mitigating the degree of hepatic steatosis and the damage to intestinal tissue caused by the dyslipidemic diet (DGM). The consumption of mangaba had a hypolipidemic, hepatoprotective and antioxidant effect, especially in dyslipidemic rats. The additive and synergistic action between the bioactive compounds in the sample may have contributed to the final effects presented. However, future studies with the longer treatment of dyslipidemia with mangaba powder will be necessary to evaluate the pathophysiological mechanisms of these actions in the long term.

Keywords: Antioxidant. Cardiovascular. Wistar rats. Fruit powder. Whey protein.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | | |
|-------------|--|----|
| Figura 1 - | Mapa de ocorrência da mangabeira no Brasil ----- | 23 |
| Figura 2 - | Árvore da mangabeira e fruta ----- | 24 |
| Figura 3 - | Estrutura química dos principais carotenoides presentes na alimentação ----- | 30 |
| Figura 4 - | Estrutura química do ácido ascórbico ----- | 31 |
| Figura 5 - | Etapas da liofilização representadas pelo diagrama de fases | 34 |
| Quadro 1 - | Estudos que utilizaram o processo de liofilização em frutas ---- | 35 |
| Quadro 2 - | Estudos em modelos animais que relacionam o consumo de frutas e os efeitos sobre dislipidemia induzida por dieta ----- | 40 |
| Figura 6 - | Ciclos de transporte de lipídeos no plasma ----- | 43 |
| Figura 7 - | Representação esquemática do mecanismo antioxidante das frutas cítricas no organismo ----- | 46 |
| Figura 8 - | Fluxograma completo do estudo ----- | 50 |
| Figura 9 - | Apresentação das etapas para obtenção da polpa de mangaba ----- | 51 |
| Figura 10 - | Liofilizador usado para obtenção da mangaba em pó ----- | 52 |
| Figura 11 - | Analisador de atividade de água utilizado na pesquisa ----- | 54 |
| Figura 12 - | Célula de higroscopicidade ----- | 65 |
| Figura 13 - | Desenho do estudo <i>in vivo</i> ----- | 69 |
| Figura 14 - | Aspectos obtidos da polpa de mangaba ----- | 77 |
| Figura 15 - | Microestruturas dos pós M10 e M15 ----- | 81 |
| Figura 16 - | Consumo dietético, lipídico, peso corporal e respectivas áreas sob a curva em ratos saudáveis e dislipidêmicos durante o período de indução à dislipidemia ----- | 91 |
| Figura 17 - | Consumo dietético, lipídico, peso corporal e respectivas áreas sob a curva em ratos saudáveis e dislipidêmicos tratados com mangaba em pó ----- | 93 |
| Figura 18 - | Perfil lipídico para diagnosticar a indução de dislipidemia ----- | 94 |
| Figura 19 - | Perfil lipídico final, índices de risco cardiovascular e transaminases após o período de tratamento com mangaba em pó ----- | 96 |

Figura 20 - Análise histológica e morfometria do fígado, intestino e tecido adiposo de ratos saudáveis e dislipidêmicos após o tratamento ----- 104

LISTA DE TABELAS

| | | |
|-------------|--|-----|
| Tabela 1 - | Categorização da higroscopicidade ----- | 65 |
| Tabela 2 - | Categorização do grau de <i>caking</i> ----- | 66 |
| Tabela 3 - | Componentes bioativos e atividade antioxidante da mangaba em pó ----- | 68 |
| Tabela 4 - | Composição das dietas controle e dislipidêmica ----- | 70 |
| Tabela 5 - | Parâmetros físico-químicos da polpa de mangaba <i>in natura</i> e pós M10 e M15 ----- | 79 |
| Tabela 6 - | Ácidos orgânicos e açúcares da polpa de mangaba <i>in natura</i> e pós M10 e M15 ----- | 82 |
| Tabela 7 - | Compostos bioativos e atividade antioxidante da polpa de mangaba <i>in natura</i> e pós M10 e M15 ----- | 84 |
| Tabela 8 - | Propriedades físicas e tecnológicas/funcionais dos pós M10 e M15 ----- | 88 |
| Tabela 9 - | Murinometria e peso dos órgãos de ratos saudáveis e dislipidêmicos tratados com mangaba em pó ----- | 92 |
| Tabela 10 - | Triglicerídeos, colesterol total e ácidos biliares totais em fezes e fígado de ratos saudáveis e dislipidêmicos tratados com mangaba em pó ----- | 100 |
| Tabela 11 - | Peroxidação lipídica e capacidade antioxidante total no soro e fígado de ratos saudáveis e dislipidêmicos tratados com mangaba em pó ----- | 102 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|----------------|--|
| AA | Ácido ascórbico |
| ABT | Ácidos biliares totais |
| ATT | Acidez titulável total |
| APO | Apolipoproteínas |
| AST | Aspartato aminotransferase |
| ALT | Transaminase glutâmico |
| AOA | Atividade antioxidante |
| A _w | Atividade de água |
| CA | Circunferência abdominal |
| CAT | Capacidade antioxidante total |
| CC | Comprimento corporal |
| CETP | Proteína de transferência de éster de colesteril |
| CFT | Conteúdo fenólico total |
| CRA | Capacidade de retenção de água |
| CRO | Capacidade de retenção de óleo |
| COBEA | Colégio Brasileiro de Experimentação com Animais |
| CT | Colesterol total |
| DCV | Doenças cardiovasculares |
| DII | Doença inflamatória intestinal |
| DCNT | Doenças crônicas não transmissíveis |
| DHGNA | Doença hepática gordurosa não alcóolica |
| ERO | Espécies reativas de oxigênio |
| ERN | Espécies reativas de nitrogênio |
| FDA | Fibra dietética alimentar |
| FDI | Fibra dietética insolúvel |
| FDS | Fibra dietética solúvel |
| GD | Grupo dislipidêmico |
| GDM | Grupo dislipidêmico com mangaba |
| GOS | Galactooligossacarídeo |
| GS | Grupo sadio |
| GSM | Grupo sadio com mangaba |
| H&E | Hematoxilina-eosina |

| | |
|---------|--|
| HDL | Lipoproteína de alta intensidade |
| HMGCoAr | Enzima 3-hidroxi-3-metil-glutaril CoA redutase |
| HPLC | Cromatografia Líquida de Alta Eficiência |
| HSPGs | Proteoglicanos de heparam sulfato |
| IA | Índice aterogênico |
| IAD | Índice de adiposidade |
| ILee | Índice de Lee |
| IRC | Índice de risco coronariano |
| IRCV | Índice de risco cardiovascular |
| IMC | Índice de massa corporal |
| IDL | Lipoproteína de densidade intermediária |
| LDL | Lipoproteína de densidade baixa |
| LPL | Lipoproteína lipase |
| LCAT | Lecitina colesterol aciltransferase |
| LDLR | Receptor da lipoproteína de baixa densidade |
| MDA | Malonaldeído |
| MEV | Microestrutura eletrônica de varredura |
| OMS | Organização Mundial de Saúde |
| PAS | Ácido periódico Schiff |
| PDA | Fotodiodo |
| RID | Detector de índice de refração |
| SM | Sadio com mangaba |
| SST | Sólidos solúveis totais |
| TBARS | Tiobarbitúrico |
| TG | Triglicerídeos |
| UR | Umidade relativa |
| VET | Valor energético total |
| VLDL | Lipoproteína de densidade muito baixa |

SUMÁRIO

| | | |
|--------------|--|----|
| 1 | INTRODUÇÃO | 20 |
| 2 | REVISÃO DA LITERATURA | 23 |
| 2.1 | MANGABA (<i>Hancornia speciosa</i>) | 23 |
| 2.2 | COMPOSTOS BIOATIVOS | 26 |
| 2.2.1 | Compostos fenólicos | 27 |
| 2.2.2 | Carotenoides | 29 |
| 2.2.3 | Ácido ascórbico | 31 |
| 2.3 | SECAGEM POR LIOFILIZAÇÃO OU <i>FREEZE-DRYING</i> | 33 |
| 2.3.1 | Uso da proteína do soro do leite como adjuvante de secagem | 35 |
| 2.4 | DISLIPIDEMIA | 37 |
| 2.5 | METABOLISMO LIPÍDICO | 41 |
| 2.5.1 | Lipoproteínas | 41 |
| 2.5.2 | Via exógena do metabolismo lipídico | 41 |
| 2.5.3 | Via endógena do metabolismo lipídico | 42 |
| 2.5.4 | Transporte reverso de colesterol | 43 |
| 2.6 | ATIVIDADE ANTIOXIDANTE E ESTRESSE OXIDATIVO | 44 |
| 3 | HIPÓTESES | 48 |
| 4 | OBJETIVOS | 49 |
| 4.1 | OBJETIVO GERAL | 49 |
| 4.2 | OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 49 |
| 5 | MATERIAIS E MÉTODOS | 50 |
| 5.1 | MATERIAL | 51 |
| 5.2 | MÉTODOS | 52 |
| 5.2.1 | Secagem por liofilização e obtenção dos pós | 52 |
| 5.2.2 | Parâmetros físico-químicos da polpa <i>in natura</i> e dos pós liofilizados | 53 |
| 5.2.2.1 | Umidade, atividade de água (<i>A_w</i>), pH e acidez titulável total (ATT) | |
| 5.2.2.2 | Cinzas, lipídeos, proteínas e sólidos solúveis totais (SST) | 55 |
| 5.2.2.3 | Carboidratos totais e valor energético total (VET) | 56 |

| | | |
|--------------|---|-----------|
| 5.2.2.4 | Fibra dietética alimentar (FDA), fibra dietética insolúvel (FDI) e fibra dietética solúvel (FDS) ----- | 56 |
| 5.2.2.5 | Análises de cor ----- | 57 |
| 5.2.2.6 | Açúcares e ácidos orgânicos ----- | 58 |
| 5.2.2.7 | Microestrutura eletrônica de varredura (MEV) ----- | 58 |
| 5.2.3 | Compostos bioativos ----- | 59 |
| 5.2.3.1 | Conteúdo fenólico total (CFT), carotenoides totais (CT), ácido ascórbico (AA) ----- | 59 |
| 5.2.3.2 | Perfil fenólico ----- | 61 |
| 5.2.3.3 | Oligossacarídeos ----- | 61 |
| 5.2.3.4 | Atividade antioxidante DPPH ----- | 62 |
| 5.2.3.5 | Atividade antioxidante ABTS ----- | 63 |
| 5.2.4 | Parâmetros físicos, funcionais e/ou tecnológicos dos pós liofilizados ----- | 64 |
| 5.2.4.1 | Solubilidade, higroscopicidade e grau de <i>caking</i> ----- | 64 |
| 5.2.4.2 | Capacidade de retenção de água (CRA) e capacidade de retenção de óleo (CRO) ----- | 66 |
| 5.2.5 | Ensaio biológico ----- | 67 |
| 5.2.5.1 | Animais e dietas administradas ----- | 67 |
| 5.2.5.2 | Determinação dos parâmetros lipídicos e enzimas hepáticas AST e ALT ----- | 71 |
| 5.2.5.3 | Índice de adiposidade (IAD), índice aterogênico (IA), índice de risco coronariano (IRC) e índice de risco cardiovascular (IRCV) ----- | 72 |
| 5.2.5.4 | Ácidos biliares totais hepático e fecal ----- | 72 |
| 5.2.5.5 | Peroxidação lipídica do malondialdeído (MDA) e capacidade antioxidante total (CAT) no fígado e soro ----- | 73 |
| 5.2.5.6 | Análises histológicas do fígado, intestino e tecido adiposo --- | 75 |
| 5.2.6 | Análises estatísticas ----- | 76 |
| 6 | RESULTADOS E DISCUSSÃO ----- | 77 |

| | | |
|-------|--|-----|
| 6.1 | PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DA POLPA DE MANGABA E PÓS LIOFILIZADOS ----- | 77 |
| 6.2 | COMPOSTOS BIOATIVOS E ATIVIDADE ANTIOXIDANTE DA POLPA DE MANGABA <i>IN NATURA</i> E PÓS M10 E M15 -- | 83 |
| 6.3 | PROPRIEDADES FÍSICAS E TECNOLÓGICAS/FUNCIONAIS DOS PÓS LIOFILIZADOS -- | 87 |
| 6.4 | ENSAIO BIOLÓGICO ----- | 90 |
| 6.4.1 | Consumo dietético, peso corporal e testes murinométricos ----- | 90 |
| 6.4.2 | Efeito da mangaba em pó sobre parâmetros lipídicos, índices relacionados à saúde cardiovascular e aminotransferases ----- | 94 |
| 6.4.3 | Triglicerídeos, colesterol total e ácidos biliares totais em fezes e fígado ----- | 98 |
| 6.4.4 | Malondialdeído (MDA) e capacidade antioxidante total (CAT) ----- | 101 |
| 6.4.5 | Efeito do tratamento com mangaba em pó sobre histologia e morfometria do fígado, intestino e tecido adiposo ----- | 103 |
| 7 | CONCLUSÕES ----- | 107 |
| | REFERÊNCIAS ----- | 108 |
| | APÊNDICE A - IMAGENS DA POLPA DE MANGABA EM PROCESSOS DE SECAGENS COM E SEM O USO DE ADJUVANTES ----- | 136 |
| | APÊNDICE B - MATRIZ DE CORRELAÇÃO DE SPEARMAN USADA NO ESTUDO <i>IN VIVO</i> ----- | 137 |
| | ANEXO A - PARECER DO COMITÊ DE ÉTICA E PESQUISA ----- | 138 |

1 INTRODUÇÃO

No território brasileiro encontra-se um bioma diverso com grande variedade de espécies frutíferas, subexploradas, nativas e exóticas que apresentam grande potencial e interesse para o setor da agroindústria. Alguns dessas frutas atingem valores comerciais significativos, além de serem produzidas em quantidades expressivas nos locais onde ocorrem (BORGES et al., 2016; SCHIASSI et al., 2018).

Entre essas variedades de frutas, está a mangaba (*Hancornia speciosa*), que pertence à família *Apocynaceae*, explorada de forma extrativista com maior abundância no bioma da Caatinga - Tabuleiros Costeiros e Baixadas Litorâneas no Nordeste - e no bioma do Cerrado - regiões do Centro-Oeste, Norte e Sudeste do Brasil (SILVA JÚNIOR, 2004; VIEIRA et al., 2006; MARINHO et al., 2011; MAIA et al., 2018). A mangaba exibe propriedades nutricionais atrativas e tem várias aplicações no mercado. Sua principal forma de consumo é *in natura* ou processada pela indústria de alimentos em sucos, sorvetes, geleias e polpas congeladas (SOARES et al., 2016), porém, é altamente perecível, devido as frutas de caída se deteriorarem por um período aproximado de até 3 dias em temperatura de 25°C (NARAIN et al., 2018). Essa fruta tropical tem uma característica muito peculiar: suas bagas amareladas são ricas em látex, uma substância pegajosa que muitas vezes torna o processamento e o manuseio das frutas mais desafiadores (MARINHO et al., 2011). A mangaba possui componentes bioativos, como ácidos fenólicos e flavonoides, excepcionalmente ácido clorogênico e rutina, carotenóides (β caroteno, β -criptoxantina e β -tocoferol) (CARDOSO et al., 2014; LIMA et al., 2015) e o ácido ascórbico, os quais contribuem para os seus efeitos benéficos à saúde, conferindo-lhe excelente atividade antioxidante (ALMEIDA et al., 2009; RUFINO et al., 2010). Evidencia-se também que a mangaba é fonte rica de micronutrientes, como cálcio,

zinco, ferro e fósforo (SILVA et al., 2008; NARAIN et al., 2018; YAMASHITA et al., 2020).

Estudos com frutas desidratadas, tornam-se mais frequentes entre pesquisadores por adquirirem um produto final com peso e volume reduzidos, diminuindo custos com embalagem, transporte e armazenamento (LOUKA; ALLAF, 2002; ZOTARELLI et al., 2012; NEMZER et al., 2018). Estas estratégias porém, favorecem o mercado interno e externo garantindo um produto disponível no período de entressafra. Nessa perspectiva, a liofilização surge como uma técnica de desidratação suave que representa o processo ideal para a produção de produtos secos de alto valor agregado (EGAS-ASTUDILLO; MARÍNEZ-NAVARRETE; CAMACHO, 2020). Essa técnica é conhecida por sua capacidade de manter a qualidade do produto - cor, forma, aroma e valor nutricional - maior que muitos outros métodos de secagem, devido à baixa temperatura de processamento e à virtual ausência de oxigênio durante a operação, o que minimiza as reações de degradação (HAMMAMI; RENÉ, 1997).

Adjuvantes de secagem são utilizados em processos de secagem como forma de apresentar aspectos físico-químicos favoráveis, preservação de fitoquímicos e da atividade antioxidante nos pós finais de frutas (AGUDELO et al., 2017; OZKAN et al., 2019; EGAS-ASTUDILLO; MARÍNEZ-NAVARRETE; CAMACHO 2020). A proteína de soro de leite, vem sendo usada no encapsulamento de diferentes fitoquímicos, seja na forma de moléculas bioativas únicas (SHI; LEE 2020) ou de múltiplos compostos bioativos (YIN et al., 2020) em várias matrizes alimentares.

Evidências sugerem que indivíduos que consomem frutas desidratadas de forma regular tem um risco menor de desenvolver doenças cardiovasculares (DCV), obesidade, certos tipos de câncer, diabetes mellitus tipo II, síndrome metabólica,

doença inflamatória intestinal (DII) e outros tipos de doenças crônicas não transmissíveis (DCNT) (VAYALIL, 2012; KUNDU; SURH, 2013; LEVER, et al., 2014). Essas propriedades das frutas desidratadas estão relacionadas às combinações aditivas e sinérgicas dos nutrientes essenciais e fitoquímicos presentes, relacionados a sua atividade antioxidante. Estudos *in vivo* em modelos animais e humanos, relatam uma resposta positiva da ação das frutas secas em benefícios para a saúde (CHANG; ALASALVAR; SHAHIDI, 2016). Nesse sentido, modelos animais induzidos à dislipidemia pelo consumo de dieta high fat - rica em colesterol e gorduras saturadas e trans - vêm sendo aplicados em estudos para melhor mimetizar esta doença em humanos, como forma de demonstrar alternativas de prevenção e tratamento (BATISTA et al., 2018; BEZERRA et al., 2018).

Pelo fato da mangaba ser uma fruta com propriedades promissoras à saúde e com aplicações na agroindústria, esta fruta pode ser eficaz na prevenção e tratamento de doenças cardiovasculares, incluindo as dislipidemias. Dessa forma, espera-se que a investigação do comportamento da mangaba (*Hancornia speciosa*) em forma de pó seja bastante promissora em uso tecnológico e aplicabilidade em animais.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Mangaba (*Hancornia speciosa*)

A mangabeira (*Hancornia speciosa* Gomes) é uma espécie frutífera que pertence à classe *Dicotyledoneae*, ordem *Gentianales*, família *Apocynaceae* e gênero *Hancornia*. No gênero *Hancornia* a espécie mais importante é a *Hancornia speciosa*, descrita por Gomes em 1812 (LEDERMAN et al., 2000). A mangabeira é de clima tropical e ocorre exclusivamente no Brasil (Figura 1) (SILVA JÚNIOR, 2004).

Figura 1 - Mapa de ocorrência da mangabeira no Brasil.



Fonte: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2009).

A árvore apresenta um tamanho médio (Figura 2A), variando entre 4m e 7m de altura, podendo chegar até 15m. Possui crescimento lento e copa ampla, tronco tortuoso, ramificado e avermelhado. Suas folhas são pilosas, brilhantes e coriáceas (SOARES et al., 2006). A fruta (Figura 2B) é do tipo baga e arredondada, com 2 a 6 cm, apresentando exocarpo amarelo, e, dependendo da variedade, pode apresentar manchas vermelhas na casca. Sua polpa é doce, carnosa-viscosa, ácida, contendo geralmente de 2 a 15 sementes discoides, com 7 a 8 mm de diâmetro, castanho claras, delgadas e rugosas (LEDERMAN et al., 2000). A frutificação pode ocorrer em qualquer época do ano, mas ocorre principalmente de julho a outubro e também entre os meses de janeiro a abril (NARAIN et al., 2018).

Figura 2 - Árvore da mangabeira e fruta.



(A) Mangabeira; (B) Frutas mangaba

Fonte: Autoria própria (2020).

O mangaba é uma das frutas mais abundantes e procuradas em mercados livres nos locais onde ocorre, e, sua principal forma de consumo é como polpa fresca, suco e sorvete (RUFINO et al., 2009). Também é usada regionalmente para fabricação de doces, biscoitos, calda, geléias, vinho, vinagre e álcool. A fruta

permanece inexplorada, apesar do seu grande potencial e interesse para a agroindústria (MORAES et al., 2008; CLERICI; CARVALHO-SILVA 2011; LIMA et al., 2015).

O mangaba é composta por polpa (77%), casca (11%) e sementes (12%). No entanto, apenas a polpa ocupa um lugar de destaque posição nos aspectos comerciais. Apresenta um bom valor nutricional, com um teor representativo de proteína (0,7g/100g de polpa), sendo maior que a maioria de outras espécies frutíferas. Apresenta vitaminas A, B₁, B₂ e C, além de ferro, fósforo e cálcio (NARAIN et al., 2018), é fonte potencial de minerais essenciais como o cálcio (8,52 mg/100 g), zinco (0,12 mg/100 g) (ALMEIDA et al., 2009), fósforo (18 mg/100g) e ferro (2,8 mg/100g) (OLIVEIRA; ROCHA, 2008). Os principais compostos bioativos presentes na mangaba são compostos fenólicos (ácidos fenólicos, flavonóides), carotenóides e ácido ascórbico, os quais contribuem para os efeitos benéficos dessa fruta (SILVA et al., 2008; ALMEIDA et al., 2009; NARAIN et al., 2018).

Além dos estudos *in vitro*, todas as partes que compõem a mangabeira (casca, folhas, raízes, látex e frutas), demonstraram aplicações em diversos estudos *in vivo* com efeito potencial para a saúde. A literatura científica confirmou o potencial medicinal da mangaba, como efeito vasodilatador (FERREIRA et al., 2007) e efeitos anti-inflamatórios (MARINHO et al., 2011).

Moraes et al., (2008) em pesquisa avaliando o efeito gastroprotetor da infusão das cascas da mangaba, verificaram sua eficiência no combate e na cura de úlceras em ratos *Wistar*, com base na capacidade de estimular a síntese de muco, mostrando ainda efeito contra *Helicobacter pylori*, sem causar aparecimento de toxicidade.

Marinho et al., (2011) demonstraram que o látex obtido a partir da mangaba teve atividade anti-inflamatória em ratos. Nesse estudo, também foi detectado a ausência de efeito tóxico do látex. Trazendo respostas que o látex pode ser utilizado como uma terapia promissora como auxílio no alívio de vários tipos de inflamação.

Lima et al., (2015) publicaram um estudo sobre o potencial funcional da polpa de mangaba *in natura* e seu efeito antimutagênico e protetor, observado em ratos camundongos, fornecendo evidências para o potencial antimutagênico da polpa da mangaba e enfatizando seu potencial como alimento funcional com ampla aplicabilidade na indústria de alimentos.

Por fim, pesquisa com ratos induzidos a disfunção endotelial demonstrou que a intervenção com as folhas da mangaba promoveu um aumento na produção de óxido nítrico, revelando efeito anti-hipertensivo (SILVA, et al., 2016).

Assim sendo, observa-se vários estudos *in vivo* com todas as partes que compõem a mangabeira, no entanto, reforça-se mais pesquisas na parte tecnológica e aplicação *in vivo* da fruta, com a finalidade de divulgar mais conhecimentos para o setor da agroindústria dessa fruta tropical.

2.2 Compostos bioativos

As frutas tropicais são reconhecidas como fontes de compostos bioativos e o seu consumo apresenta vários efeitos à saúde (RUFINO et al., 2010; SILVA et al., 2014; KIPS et al., 2017). Os benefícios dos compostos bioativos estão associados a presença de nutrientes essenciais e fitoquímicos (antocianinas, carotenoides, fitoestrógenos, flavonóis e ácidos fenólicos) os quais estão relacionados à sua atividade antioxidante (LIU, 2003; VINSON et al., 2005; PARKER et al., 2007; RANKIN et al., 2008). As frutas com essas propriedades, especialmente as cítricas,

previnem e/ou minimizam os danos causados por muitas doenças crônicas como câncer, diabetes, doenças cardiovasculares, entre outras (ZOU et al., 2016).

Substâncias antioxidantes são capazes de inibir a oxidação, reduzir a concentração de radicais livres no corpo e/ou íons metálicos quelantes, impedindo a peroxidação lipídica (HE et al., 2008). O sistema de defesa antioxidante consiste em uma ampla variedade de compostos enzimáticos e não enzimáticos que não devem ser estudados individualmente, devido as prováveis interações sinérgicas e antagônicas entre eles (OLIVEIRA et al., 2011).

Os principais componentes bioativos presentes nesta frutífera serão descritos a seguir.

2.2.1 Compostos fenólicos

Os compostos fenólicos compreendem um grupo diversificado de moléculas classificadas como metabólitos secundários em plantas que possuem uma grande variedade de estruturas e funções (HAMINIUK et al., 2012). Quimicamente são definidos como substâncias que têm pelo menos um anel aromático com um ou mais substituintes hidroxílicos, incluídos seus grupos funcionais. Essas substâncias são sintetizadas durante o desenvolvimento normal da planta, bem como em resposta a diferentes situações, como por exemplo, o estresse oxidativo e a radiação UV (NACZK; SHAHIDI 2004). Os compostos fenólicos participam da biossíntese da maioria dos fenóis vegetais por meio da conversão dos carboidratos derivados da glicólise e da pentose fosfato em aminoácidos aromáticos (HELENO et al., 2015). São divididos em subgrupos de ácidos fenólicos, flavonoides, taninos e estilbenos, com base em número dos grupos

hidroxilas, fenólicos anexados, e, elementos estruturais que se ligam a anéis de benzeno (SINGH et al., 2016).

Componentes fenólicos exibem uma variedade de propriedades fisiológicas. São apontados como eficientes inibidores enzimáticos (AZEVEDO et al., 2014), possuem atividades antimicrobianas (ALVES et al., 2013), antioxidantes e efeitos cardioprotetores (VAZ et al., 2012), além de serem vasodilatadores e possuírem ações anti-inflamatórias (PUUPPONEN-PIMIÄ et al., 2001). O potencial de ação como agentes redutores, se dá através da interrupção da cadeia da reação de oxidação pela doação de elétrons ou de hidrogênio aos radicais livres, convertendo-os em produtos termodinamicamente estáveis ou complexando metais - componentes iniciadores da oxidação lipídica (VILLAÑO et al., 2007).

No que se refere às concentrações dos componentes fenólicos totais presentes na mangaba, esta frutífera apresentou cerca de 172 mg de ácido gálico/100 g da amostra, sendo classificada como fonte destes compostos (RUFINO et al., 2009). Um estudo fitoquímico com o suco de frutas de mangaba identificou a presença de 12 compostos fenólicos, com a presença de flavonóides e do ácido clorogênico (YAMASHITA et al., 2020). O perfil fenólico da polpa de mangaba também foi determinado por Lima et al. (2015) que identificaram a presença flavonóides (catequina e rutina) e não flavonóides (ácido gálico, ácido clorogênico, ácido vanílico, ácido o-cumárico e ácido rosmarínico) revelando presença predominante de ácido clorogênico e rutina. Gomes et al., (2013) e Lima et al., (2015) indicaram a presença de rutina, catequina, ácido gálico, ácido clorogênico, ácido vanílico, ácido o-cumarico e ácido rosmarínico, e, divulgaram que os principais compostos fenólicos desta fruta são o ácido clorogênico e a rutina, respectivamente.

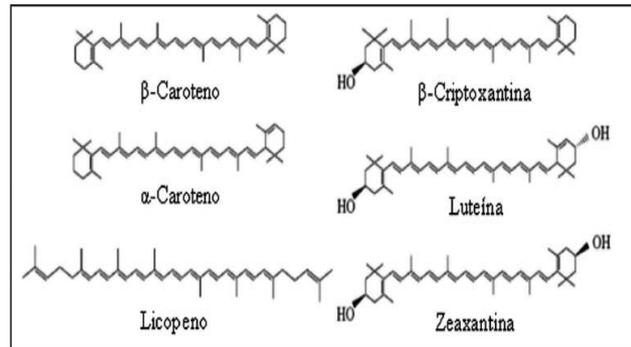
2.2.2 Carotenoides

Os carotenoides são corantes responsáveis por cores - amarelo, laranja e vermelho - que podem ser encontradas em frutas e legumes, alguns fungos e algas (JANISZEWSKA-TURAK 2017). Devem ser ingeridos através da dieta por humanos e animais, visto que eles não têm a capacidade de sintetizá-los (SAINI; NILE; PARK 2015).

Todos os carotenoides são corantes de isopreno, que são divididos em: carotenos (contêm apenas carbono e hidrogênio) e xantofilas (compostos de carbono, hidrogênio e oxigênio) (FERNÁNDEZ-GARCÍA et al., 2012; VILA; CHAUD; BALCAO, 2015; RUTZ et al., 2016). Suas moléculas possuem 40 átomos de carbono conectado com um sistema de ligações duplas (Figura 3). Essa combinação de dupla ligações determina a atividade antioxidante, absorção de luz e suas propriedades biológicas (GALAFFU; BORTLIK; MICHEL, 2015; SOLYMOSI et al., 2015). Os carotenoides mais conhecidos e utilizados na indústria de alimentos são o β -caroteno, licopeno, capsantina, luteína e a bixina/norbixina (SOLYMOSI et al., 2015; VILA; CHAUD; BALCAO, 2015).

Os carotenoides têm muitas funções na saúde: atuam como antioxidantes, reduzindo o risco de certas doenças crônicas (doenças cardiovasculares e doença vascular relacionada à idade); participam no fortalecimento do sistema imunológico, tendo uma resposta positiva contrária a infecção; e no bom funcionamento do sistema reprodutivo (VILA; CHAUD; BALCAO, 2015; GALAFFU; BORTLIK; MICHEL, 2015).

Figura 3 - Estrutura química dos principais carotenoides presentes na alimentação.



Fonte: Krinski; Johnson (2005) com adaptações.

A atividade antioxidante desses compostos, fundamenta-se basicamente, na estrutura destes compostos, principalmente por possuírem um sistema de duplas ligações conjugadas, conforme já descrito, o que favorece o deslocamento do elétron não pareado e também pela presença de grupos substituintes no carotenoide (CERQUEIRA; MEDEIROS; AUGUSTO 2007). Características estas, que os tornam possível ao combate às espécies reativas de oxigênio.

Os carotenoides possuem também aplicações industriais como corantes. No entanto, o problema básico do uso dessas substâncias, é sua baixa resistência a alterações no pH, aquecimento e exposição à luz. Os agentes oxidantes também podem levar à sua deterioração (JANISZEWSKA-TURAK 2017). Contudo, são estáveis durante os processos de esterilização e congelamento, apresentam solubilidade em óleo, mas não em água (GALAFFU; BORTLIK; MICHELL 2015; SOLYMOSI et al., 2015).

Quanto aos teores de carotenoides encontrados na literatura para a mangaba, Cardoso et al., (2014), dectaram a presença de β-caroteno (52%) e β-criptoxantina (47,4%), com predominância do β-caroteno, respectivamente. Rufino et al. (2010),

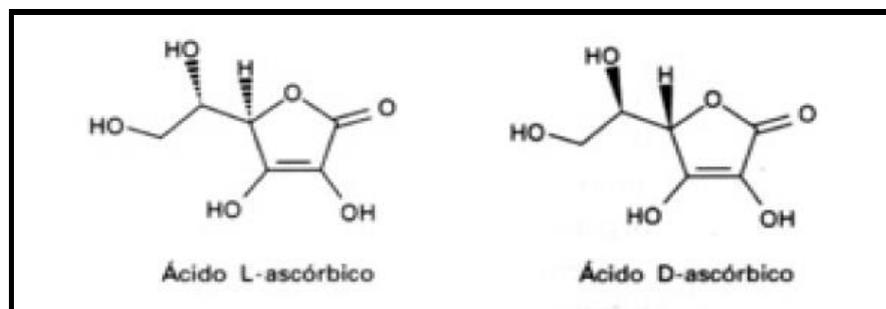
encontraram 0,3 mg/100 gramas e Lima et al., (2015) identificaram 0,69 mg/100 gramas para a fruta *in natura*.

2.2.3 Ácido ascórbico

A vitamina C é uma das vitaminas hidrossolúveis mais importantes naturalmente presente em frutas e legumes, sendo amplamente utilizada como aditivo alimentar e como antioxidante (PÉNICAUD et al., 2010), devido ao seu alto poder de doação de elétrons (MCEVOY 2011). Esta vitamina não pode ser sintetizada por seres humanos e mamíferos, portanto deve ser fornecida através da dieta (VANNUCCHI 2012).

A sua forma reduzida é o ácido ascórbico, que é a principal forma biologicamente ativa desta vitamina (VALENTE et al., 2011). O ácido ascórbico corresponde a uma forma oxidada da glicose ($C_6H_8O_6$), sendo uma alfacetolactona de seis átomos de carbono, formando um anel lactona com cinco membros e um grupo enadiol bifuncional com um grupo carbonilo adjacente (Figura 4).

Figura 4 - Estrutura química do ácido ascórbico.



Fonte: Vannucchi (2012).

A vitamina C exerce diversas funções no organismo humano, como por exemplo, a participação da hidroxilação da prolina e da lisina (necessárias para a

biossíntese de colágeno), atua na síntese de carnitina e noraepinefrina, aumenta a absorção do ferro não-heme (mantendo o ferro no estado ferroso), atividade na conversão do colesterol em ácidos biliares e ativação dos processos celulares de oxirredução (COZZOLINO, 2007; MAIA et al., 2007; FANTINI et al., 2008). É importante destacar sua função como biossíntese das catecolaminas, prevenção do escorbuto e atuação na defesa do organismo contra infecções, sendo fundamental na integridade das paredes dos vasos sanguíneos (MANELA-AZULAY et al., 2003). Estudos epidemiológicos mostraram que indivíduos com maior consumo de vitamina C, possuem um menor risco para várias doenças crônicas como doenças cardíacas, diabetes, câncer ou doenças neurodegenerativas (JACOB; SOTOUDEH, 2002).

Esta vitamina geralmente é considerada como índice de qualidade dos alimentos durante o processamento e armazenamento, uma vez que se bem conservados, os outros nutrientes presentes também estão retidos. Porém, durante o seu armazenamento, a vitamina C pode ser degradada, dependendo de muitas variáveis - temperatura, pH, luz, tempo, presença de enzimas e catalisadores metálicos (SANTOS; SILVA, 2008).

A mangaba é uma fruta rica em vitamina C, sendo considerada fonte desse nutriente. Seu conteúdo variou de 96,3 a 474,1 mg/100 gramas em polpa de frutas frescas. As diferenças consideráveis no teor de vitamina C em diferentes regiões podem ser devidas a diferentes tipos de climas, solos e práticas de fertilização aplicadas, as quais afetam as concentrações de vitaminas (MAIA et al., 2007; NARAIN et al., 2018).

2.3 Secagem por liofilização ou *freeze-drying*

A liofilização ou *freeze-drying* é um processo de secagem para a preservação a longo prazo de alimentos sensíveis ao calor e outros materiais biológicos baseados nos fenômenos de sublimação. Um processo de liofilização bem sucedido, preserva a maioria das propriedades iniciais do material bruto (CEBALLOS et al., 2012) dando origem a matrizes altamente porosas e desidratadas com alta capacidade de reidratação (propriedade importante dos alimentos liofilizados) estando prontos para o consumo ou utilizados para várias aplicações (HARNKARNSUJARIT et al., 2016).

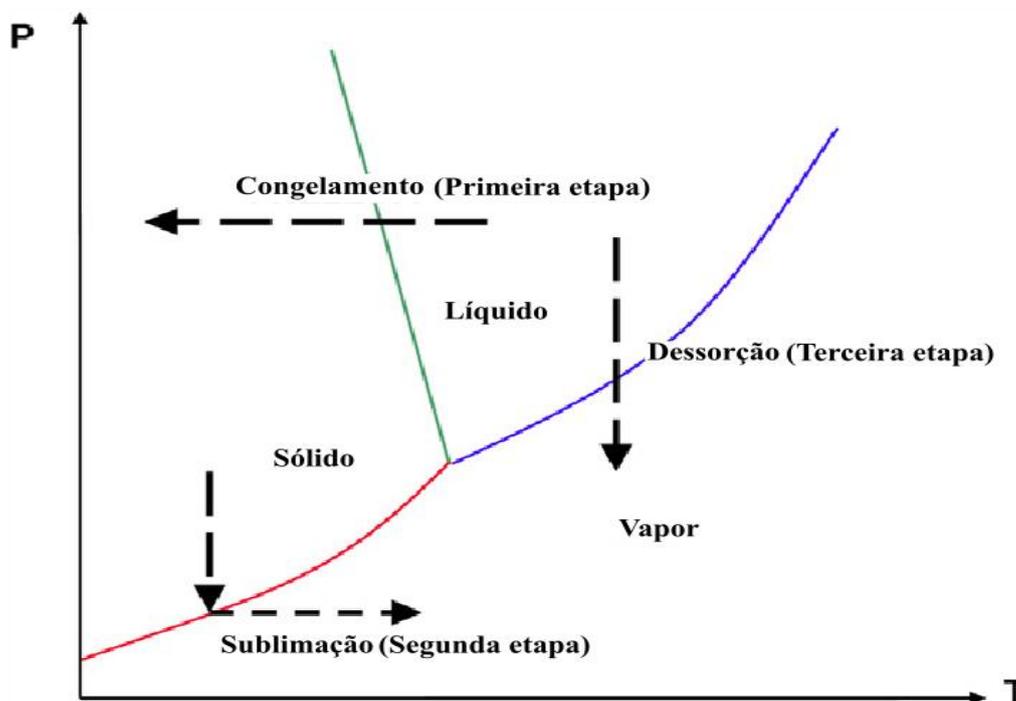
A parte negativa do processo de liofilização é o uso de baixas pressões e a longa duração do processo, o que torna a técnica dispendiosa. Porém, um estudo que comparou o custo industrial da secagem por *freeze-drying* e *spray-drying* para obter frutas em pó concluiu que o custo deste último processo pode ser até 2,5 vezes maior do que a liofilização, devido ao baixo rendimento do produto (CAMACHO et al., 2018). Nesse sentido, parece interessante otimizar as condições de liofilização para que o tempo do processo possa ser reduzido, mantendo a qualidade do produto obtido (EGAS-ASTUDILLO; MARTÍNEZ-NAVARRETE; CAMACHO, 2020). No processo de liofilização, três etapas são identificadas (Figura 5):

- Primeira etapa: ocorre congelamento que promove uma diminuição da temperatura do material, atingindo valores inferiores no ponto triplo da água;
- Segunda etapa: ocorre o aquecimento do material em condições de pressão (vácuo) sempre abaixo do ponto triplo da água para forçar a sublimação;
- Terceira etapa: acontece a secagem secundária, consistindo na retirada de água que ainda está ligada a matriz porosa do material (LOPEZ-QUIROGA et

al., 2012), uma vez que após a secagem primária, o material ainda contém cerca de 15-20% de água não congelada (KASPER; FRIESS, 2011).

No Quadro 1 é possível observar alguns estudos com espécies frutíferas usando o processo de liofilização e os principais resultados encontrados.

Figura 5 - Etapas da liofilização representadas pelo diagrama de fases.



Fonte: Lopez-Quiroga et al., (2012).

Quadro 1 - Estudos que utilizaram o processo de liofilização em frutas.

| Fruta | Condições da liofilização | Principais resultados | Produto desenvolvido e aplicabilidade | Referência |
|-------------------------|--|--|--|------------------------------|
| Kiwi | Temperatura (-48°C) Pressão (13,33 Pa absoluto) | Produto com alto teor de vitamina C, servindo para incorporar em produtos alimentares | Fruta em pó como alternativa natural aos aditivos sintéticos | Caliskan; Egun; Dirim (2015) |
| Pitanga vermelha e roxa | Temperatura (-40°C) Pressão (0,05 mmHg) Tempo (48 horas) | Altas concentrações de proantocianidinas, antocianinas, ácidos fenólicos, flavonoides e ácido gálico | Fruta em pó para incorporação em produtos alimentares | Borges et al., (2016) |
| Goiaba | Temperatura (-50°C) Pressão (0,025 mmHg) Tempo (48 horas) | Quercetina e naringenina corresponderam a 56% dos fenólicos totais. A secagem diminuiu em até 44% dos fenólicos totais | Fruta em pó como intensificador de sabor rico em antioxidantes | Nunes et al., (2016) |
| Acerola | Temperatura (-40°C) Pressão (0,5 mmHg) Tempo (48 horas) | Aumento na atividade antioxidante e retenção da vitamina C | Fruta em pó como ingrediente alimentar | Moraes et al., (2017) |
| Camu-camu | Temperatura (-80°C) Pressão (100 m Torr) Tempo (120 horas) | Menores perdas de compostos bioativos e maior capacidade antioxidante | Fruta em pó | Fujita et al., (2017) |
| Laranja | Temperatura (-40°C) Tempo (48 horas) | Melhora na estabilidade física e química. Propriedades antioxidantes e anti-radicais melhores. | Fruta em pó | Pacheco et al., (2020) |

Fonte: Autoria própria (2020).

2.3.1 Uso de proteína do soro do leite como adjuvante de secagem

O uso de adjuvantes de secagem usados no processo de liofilização em frutas, demonstrou promover atributos físico-químicos favoráveis e preservação de fitoquímicos e atividade antioxidante (OZKAN et al., 2019) favorecendo um produto final de alta qualidade (FANG; BHANDARI, 2012; AGUDELO et al., 2017). Esses

materiais conferem proteção contra a oxidação e degradação de alimentos que possuem compostos bioativos instáveis (XUE et al., 2013). Dentre os adjuvantes de secagem mais usados estão a goma arábica, maltodextrina e albumina, que apresentaram como vantagens a melhoria de rendimento do produto, na estabilidade física e química dos pós, além de melhores propriedades antioxidantes e anti-radicais.

O uso da proteína do soro do leite (*whey protein*) vem sendo difundida para este fim para aplicação em sistemas alimentares. Um ingrediente alimentar altamente funcional que foi extensivamente aplicado ao encapsulamento de diferentes fitoquímicos, na forma de moléculas bioativas únicas (SHI; LEE, 2020) ou de múltiplos compostos bioativos (YIN et al., 2020) em várias matrizes alimentares.

As proteínas foram muito eficazes para o microencapsulamento de compostos com *flavor* e óleos (FRASCARELI et al., 2012; BOTREL et al., 2014), na secagem de xaropes e alimentos ricos em açúcares (JAYASUNDERA et al. 2011; FANG; BHANDARI, 2012; WANG et al., 2013) e utilizadas também, na combinação com carboidratos ou em associação com outras proteínas. Ademais, a proteína do soro do leite usado na sua forma pura (sem adição de outro agente) pode ser utilizada para encapsular uma ampla gama de componentes bioativos para formar partículas complexas (YIN et al., 2020).

A literatura traz alguns estudos em que o uso da proteína do soro do leite em sistemas alimentares apontaram melhoria de rendimento e de propriedades físico-químicas (WANG et al., 2013; OLIVEIRA et al., 2018).

Wang et al., (2013) em estudo com molho de soja (*Glycine max*) em pó, apontaram que a adição de 5% (m/m) da proteína do soro do leite, aumentou o

rendimento no processo de secagem e a aglomeração dos pós foi reduzida durante o armazenamento.

Sarabandi et al., (2018) mostraram vantagem da proteína do soro do leite na redução da adesão e aumento da eficiência nos produtos pegajosos.

Oliveira et al., (2018) avaliando as características físico-químicas com resíduos de uva usando a proteína do soro do leite (15% m/m), verificaram que o pó obtido teve uma alta retenção do composto antocianina e admitiram ser de boa qualidade para uso em produtos alimentícios.

Gong et al., (2018) em pesquisa com morango analisando a eficácia de agentes de secagem, demonstraram que a adição da proteína do soro do leite (1%) resultou em melhoria da eficiência quando substituído por maltodextrina.

2.4 Dislipidemia

Atualmente, as DCV são uma das principais causas de morte, ficando em primeiro lugar globalmente. Segundo a Organização Mundial de Saúde (OMS) 17,5 milhões de pessoas morrem anualmente de DCV, sendo responsáveis por 31% de todas as mortes no mundo (WHO, 2017). E aproximadamente 7,4 milhões de pessoas morrem de doença cardíaca coronária e 6,7 milhões de pessoas como resultado de um derrame cerebral (ZHANG et al., 2017).

Nessa perspectiva, a dislipidemia surge como um fator de risco para as DVC. Clinicamente, a dislipidemia é definida como condição de ter uma quantidade anormal de lipídios no sangue. Mais especificamente, refere-se ao aumento do colesterol total, lipoproteína de baixa densidade e triglicerídeos, bem como baixos níveis de lipoproteínas de alta densidade (SHARIFFI-RAD et al., 2020).

Nas dislipidemias, os receptores hepáticos de LDL se tornam incapazes; o LDL circula mais através do corpo, seu grau de oxidação aumenta e o contato com o endotélio vascular é prolongado. Portanto, o efeito aterogênico é aumentado (KOPIN; LOWENSTEIN, 2017). A aterosclerose derivada da dislipidemia é caracterizada por depósitos de placas de ateroma nas paredes internas das artérias médias e grandes, com espessamento da parede arterial e perda de elasticidade. A aterosclerose é a principal causa de mortalidade a nível mundial, representando também a principal causa de eventos cardiovasculares fatais (GOLDSTEIN; BROWN, 2015). A alteração e/ou excesso de lipídeos circulantes no sangue também podem originar a doença hepática gordurosa não alcoólica (DHGNA), caracterizada pelo acúmulo de gordura no fígado não causada pela ingestão excessiva de álcool (TAJIMA et al., 2019). A OMS relatou que 1/3 da cardiopatia isquêmica é devido aos altos níveis de colesterol total (WHO 2014). Estudos apontaram que uma redução de 5–6% na LDL diminui o risco de DCV em 7–12% (SIRTORI; ANDERSON; ARNOLDI, 2007) e um aumento de 3% na HDL reduz o risco em 6 a 9% (ASHEN; BLUMENTAHL 2005).

As dislipidemias podem ser classificadas em hiperlipidemias (níveis elevados de lipoproteínas) e hipolipidemias (níveis plasmáticos de lipoproteínas baixos). Tanto as hiper quanto as hipolipidemias, as causas podem ser primárias ou secundárias. Nas causas primárias, o distúrbio lipídico é de origem genética, e nas causas secundárias, são decorrentes de estilo de vida inadequado, certas condições mórbidas ou de medicamentos (FALUDI et al., 2017).

As dislipidemias também podem ser categorizadas de acordo com a fração lipídica alterada em:

- Hipercolesterolemia isolada - elevação isolada do LDL (≥ 16 mg/d);

- Hipertrigliceridemia isolada - elevação dos TGs (≥ 1 mg/d ou ≥ 1 mg/d se a amostra for obtida sem jejum);
- Hiperlipidemia mista - níveis aumentados de LDL (≥ 16 mg/ dL) e TG (≥ 1 mg/ dL);
- Por baixos níveis de HDL (homens < 40 mg/ dL e mulheres < 50 mg/dL) isolada ou em associação a aumento de LDL ou de TG (XAVIER et al., 2013; FALUDI et al., 2017).

De acordo com estudos clínicos e não clínicos, uma dieta equilibrada, principalmente rica em vegetais, com ingestão suficiente de potássio, magnésio e vitamina C, tem um efeito cardioprotetor na saúde humana e conseqüentemente evita as DCV (SHARIFFI-RAD et al., 2020). Muitas pesquisas vêm sendo realizadas em modelos animais com a finalidade de buscar mais alternativas na prevenção e tratamento das dislipidemias. Geralmente, a dislipidemia é induzida em animais, utilizando-se uma dieta rica em colesterol e em ácidos graxos saturados e trans (WHITE et al., 2013), devido à simulação mais real da que acontece com seres humanos (NASCIMENTO et al., 2013; GUIMARÃES et al. 2017; BATISTA et al., 2018).

No Quadro 2 é apresentado alguns estudos com modelos animais de indução à dislipidemia usando frutas e exibindo os principais resultados obtidos.

Quadro 2 - Estudos em modelos animais que relacionam o consumo de frutas e os efeitos sobre a dislipidemia induzida por dieta.

| Fruta | Período | Administração e dosagem | Composição da gordura | Principais resultados | Referência |
|----------------------------|---------|-----------------------------|-------------------------------|--|--------------------------|
| Goiaba desidratada | 42 dias | Gavagem (50 mg/Kg) | Colesterol | Efeito hipocolesterolêmico e preveniram estresse oxidativo | Freire (2011) |
| Camu-camu <i>in natura</i> | 35 dias | Gavagem (0,4, 4 e 10 mL/kg) | Colesterol e banha de porco | ↓CT, ↓LDL Efeito modulador do perfil lipídico | Schwartz et al., (2012) |
| Jaboticaba desidratada | 28 dias | Dieta (7, 10 e 15%) | Óleo de soja e banha de porco | ↓CT, ↓TG, ↑HDL Efeito hipolipemiante | Araújo et al., (2014) |
| Açaí <i>in natura</i> | 30 dias | Dieta (2,5 a 5%) | Colesterol | Efeito hipolipemiante e hepatoprotetor | Waughon (2015) |
| Limão desidratado | 28 dias | Dieta (1%) | Colesterol | ↓ de CT, ↓TG Reverteu a dislipidemia e ↓ ataques de enzimas oxidantes | Mir et al., (2018) |
| Araçá desidratado | 56 dias | Dieta (2%) | Óleo de soja e colesterol | Inibiu enzimas AST e ALT Efeito hepatoprotetor | Paulino et al., (2019) |
| Jaboticaba desidratada | 84 dias | Dieta (2%) | Óleo de soja e banha de porco | ↑ HDL, ↓LDL Impediu esteatose hepática Efeito protetor contra DCV | Lenquiste et al., (2019) |

Legenda: ↓diminuição; ↑aumento.

Fonte: Autoria própria (2020).

2.5 Metabolismo lipídico

2.5.1 Lipoproteínas

Os triglicerídeos (TG) e o colesterol são moléculas insolúveis em água, essenciais para a geração de energia e para a síntese das membranas celulares e hormônios esteróides. Eles são obtidos a partir da dieta (via exógena) ou por uma nova síntese (via endógena que converte glicose em ácidos graxos) principalmente no fígado e tecido adiposo, mas também nas células musculares esqueléticas, enterócitos intestinais e células beta do pâncreas (HAIDARI et al., 2002; WATT; HOY, 2012).

Essas moléculas insolúveis em água são transportadas no sangue em associação com proteínas na forma de lipoproteínas. As lipoproteínas plasmáticas são classificadas como quilomícrons, lipoproteínas de densidade muito baixa (VLDL), lipoproteínas de densidade intermediária (IDL), lipoproteínas de baixa densidade (LDL) e lipoproteínas de alta densidade (HDL), de acordo com a densidade hidratada. Apolipoproteínas (APO), presentes na superfície das lipoproteínas juntamente com os fosfolípidos, servem como ligantes para receptores de lipoproteínas e transporte, e mantêm a estrutura das lipoproteínas. Elas também servem como cofatores de enzimas. Por exemplo, a Apo C-II atua como cofator para lipoproteína lipase (LPL) (MCLLHARGEY; YANG; WONG, 2003).

2.5.2 Via exógena do metabolismo lipídico

Os lipídios exógenos, isto é, gorduras alimentares, principalmente na forma de TG, são absorvidos pelos enterócitos no intestino e são convertidos em quilomícrons. O colesterol na dieta também é absorvido pelos enterócitos e atinge a circulação via quilomícrons. Inicialmente, os quilomícrons apresentam uma alta

proporção de TG para colesterol (DULLART et al., 1989; SHRESTHA et al., 2019). Os quilomícrons em circulação são hidrolisados pela lipoproteína lipase (LPL) presente no tecido adiposo e nos músculos para gerar ácidos graxos livres para produção de energia. Este processo esgota o conteúdo de TG do quilomícron, que diminui de tamanho, formando restos de quilomícron. Esses remanescentes são relativamente ricos em ésteres de colesterol (grande parte desse colesterol estava presente nos quilomícrons originais), contêm ApoE entre outras Apos. Eles também contêm LPL, que serve como um ligante para auxiliar a ligação desses remanescentes aos proteoglicanos de heparam sulfato (HSPGs), hepáticos (os quais levam a sinalização celular) e aceleram sua remoção do plasma (SHRESTHA et al., 2019).

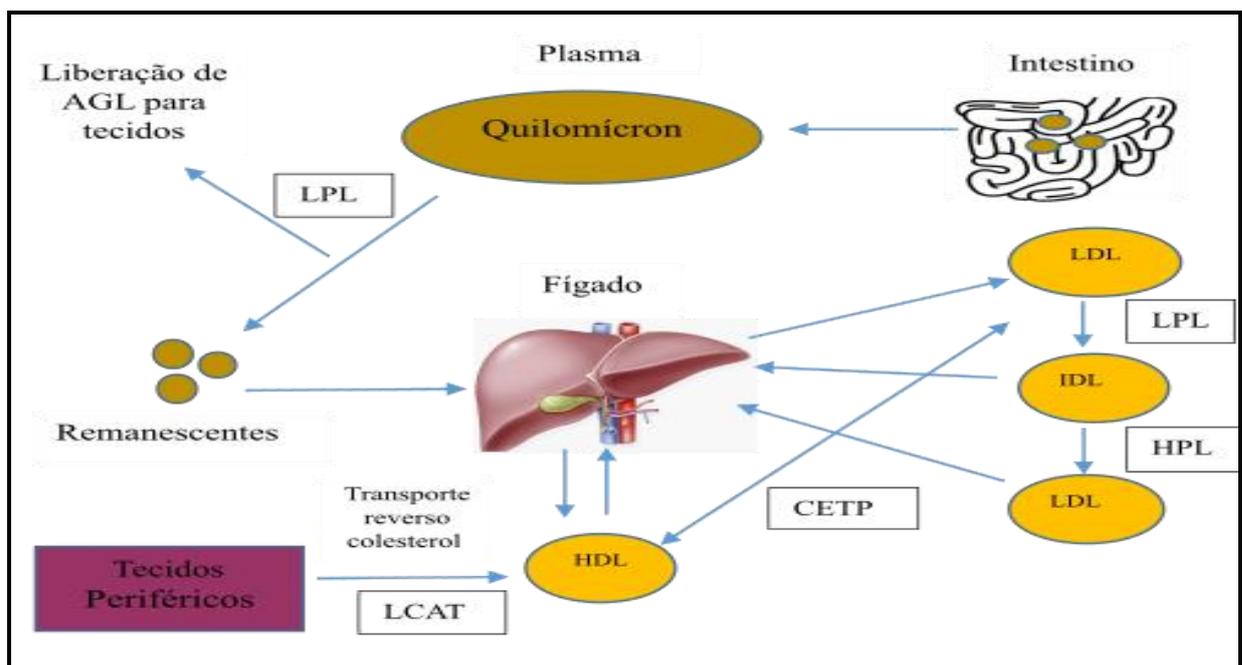
2.5.3 Via endógena do metabolismo lipídico

Uma das funções mais importantes do fígado é a produção de colesterol (nova síntese) que está na forma de VLDL. A geração de VLDL hepática é obtida por ácidos graxos livres provenientes de adipócitos, quilomícrons remanescentes, nova lipogênese e ácidos graxos armazenados no fígado (DONNELLY et al., 2005). Semelhante aos quilomícrons, o TG no VLDL é hidrolisado por LPL, gerando assim ácidos graxos livres. O VLDL resulta na formação remanescentes de VLDL, IDL e, finalmente LDL. Esses remanescentes são enriquecidos com colesterol e são removidos da circulação pelo fígado. Cerca de 50% dos remanescentes de VLDL são removidos da circulação via receptores hepáticos, enquanto outros 50% sofrem mais hidrólise para formar LDL com triglicerídeos depletados. Essas partículas de LDL são subsequentemente removidas da circulação pelo fígado (SHRESTHA et al., 2019), como mostrado na Figura 6.

2.5.4 Transporte reverso de colesterol

O transporte reverso de colesterol representa um caminho que visa transportar colesterol de tecidos extra-hepáticos e macrófagos de volta ao fígado. Ao reduzir o acúmulo de colesterol nas paredes das artérias, o transporte reverso de colesterol pode proteger contra o desenvolvimento de aterosclerose. O fígado é capaz de sintetizar ApoA-I, que é liberado no plasma onde interage com fosfolipídios séricos e forma HDL (FEINGOLD; GRUNFELD, 2000; BORGGREVE; VRIES; DULLART, 2003). Colesterol não esterificado é absorvido por HDL nascente e subsequentemente esterificado por lecitina colesterol aciltransferase (LCAT). Parte dos ésteres de colesterol HDL são transferidos para lipoproteínas contendo ApoB, como LDL e VLD em troca de TG pela proteína de transferência de éster de colesterol (CETP).

Figura 6 - Ciclos de transporte de lipídeos no plasma.



Fonte: Faludi et al., (2017) com adaptações.

Estes ésteres de colesterol são eliminados pelo fígado através do receptor da lipoproteína de baixa densidade (LDLR); posteriormente o colesterol pode ser convertido em sais biliares e eliminados pelo trato gastrointestinal (BORGREVE; VRIES; DULLART 2003; OHASHI et al., 2005).

2.6 Atividade antioxidante e estresse oxidativo

Um antioxidante pode ser definido como uma substância que em baixas concentrações, retarda ou previne a oxidação do substrato (SUCUPIRA et al., 2012). Algumas características são necessárias para ser considerado um bom antioxidante, como por exemplo: ter a presença de substituintes doadores de elétrons ou de hidrogênio ao radical, em função de seu potencial de redução; capacidade de deslocamento do radical formado em sua estrutura; capacidade de quelar metais de transição implicados no processo oxidativo; e acesso ao local de ação, dependendo de sua hidrofília ou lipofília e de seu coeficiente de partição (MANACH et al., 2004).

Existem mais de 170 antioxidantes encontrados em frutas cítricas descritos na ciência atual, incluindo várias vitaminas, elementos minerais, compostos fenólicos, terpenos e pectina (ZHOU, 2012). Muitos desses compostos têm similaridades quanto à estrutura molecular básica, em que todos possuem pelo menos um anel aromático com um grupo hidroxila ligado a ele, incluindo principalmente, os ácidos fenólicos e flavonoides, que conferem defesa contra o ataque de radicais livres (SUCUPIRA et al., 2012; SHAHIDI; AMBIGAIPALAN, 2015).

Os radicais livres são moléculas altamente reativas com elétrons não emparelhados, que se ligam rapidamente a moléculas próximas (HALLIWELL; GUTTERIDGE, 2007). As espécies reativas de oxigênio (ERO) são moléculas contendo oxigênio, que podem ser elétrons emparelhados ou não, mas são altamente reativas em tecidos. As espécies reativas de nitrogênio (ERN) também

podem ser citadas como radicais livres com importantes papel biológico. Baixas concentrações de radicais livres (principalmente ERO e ERN) são importantes para manutenção do estado redox normal das células, função dos tecidos e processo de sinalização intracelular. Por outro lado, o excesso de radicais livres pode danificar lipídios, proteínas, o DNA, prejudicar a função celular, levar à morte celular ou à aceleração do envelhecimento e de doenças relacionadas à idade (FINKEL; HOLBROOK, 2000; YU, 1994). Assim, o estresse oxidativo é caracterizado pela capacidade insuficiente dos sistemas biológicos neutralizar a superprodução de radicais livres (BATISTA, 2013).

Cada composto fitoquímico atua de uma forma específica no sistema de atividade antioxidante.

Amitava; Kimberly (2014) relataram que a vitamina C atua como antioxidante, eliminando de forma natural radicais livres, extinguindo uma variedade de ERO, reduzindo radicais de enxofre e eliminado oxigênio molecular.

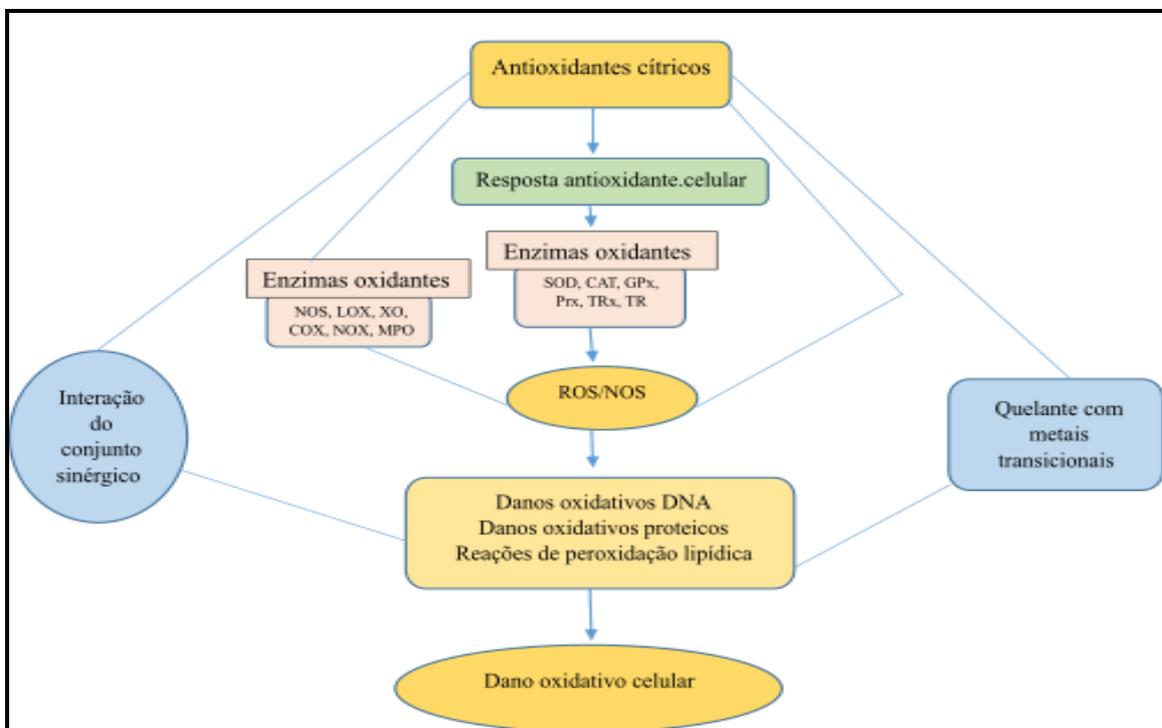
Nakao et al., (2011) apontam que os flavonoides podem impedir a oxidação lipídica *in vitro*, melhorando a atividade enzimática antioxidante do corpo e diminuindo a formação de peróxidos *in vivo*.

Entre os flavonoides cítricos mais estudados estão os antioxidantes: naringenina, hesperidina e naringina. Os carotenoides mostraram atividade antioxidante, eliminando oxigênio molecular e outros radicais livres. Atuam também protegendo as células do sistema imunológico, assegurando sinais de comunicação entre células e receptores da membrana celular para manter a função normal da célula (ZHOU, 2012).

Uma representação esquemática do mecanismo potencial antioxidante das frutas cítricas é visualizado através de cinco rotas (Figura 7). Na rota 1: inibição das

enzimas oxidantes, reduzindo a produção celular de ERO/ERN; na rota 2; interação com as vias de sinalização redox, levando à resposta antioxidante celular; na rota 3: reação direta com ERO/ERN como um “eliminador de radicais livres”; na rota 4: quelante com metais transicionais que produzem dano oxidativo; e por fim, na rota 5: interação do conjunto sinérgico, que influenciam todo o sistema antioxidante.

Figura 7 - Representação esquemática do mecanismo antioxidante das frutas cítricas no organismo.



Fonte: ZOU et al., (2016) com adaptações.

Legenda: Enzimas oxidantes que produzem ERO/ERN: NOS (óxido nítrico sintase), LOX (lipoxigenase), XO (xantina oxidase), COX (ciclooxigenase), NOX (NADPH oxidase), MPO (mieloperoxidase). Enzimas antioxidantes: SOD (superóxido dismutase), CAT (catalase), GPx (glutationa peroxidase), Prx (peroxirredoxina), Trx (tioredoxina), GR (glutationa redutase), TR (tioredoxinredutase).

Diante das abordagens mencionadas, verifica-se que as frutas cítricas com compostos bioativos e que apresentam elevada capacidade antioxidante podem ser eficazes na prevenção e tratamento de muitas doenças cardiovasculares, incluindo como exemplo as dislipidemias. Dessa forma, é esperado que a mangaba em forma de pó, possa ter resultados bastantes favoráveis nos estudos *in vitro* e *in vivo*, para subsidiar o seu uso de forma tecnológica.

3 HIPÓTESES

- A obtenção de mangaba em pó, adicionada de diferentes concentrações de proteína do soro do leite, é capaz de resultar em um produto com excelentes qualidades, no que se refere aos parâmetros físico-químicos, compostos bioativos e tecnológicos.
- A melhor formulação de mangaba em pó que apresenta melhores compostos bioativos para ser aplicada em produtos alimentares, induz ação hipolipemiante, hepatoprotetora e antioxidante em ratos dislipidêmicos.

4 OBJETIVOS

4.1 Objetivo geral

- Obter mangaba (*Hancornia speciosa*) em pó adicionada de diferentes concentrações de proteína do soro de leite, comparando os parâmetros físico-químicos, compostos bioativos e tecnológicos, além de avaliar o potencial bioativo da melhor formulação em ratos dislipidêmicos.

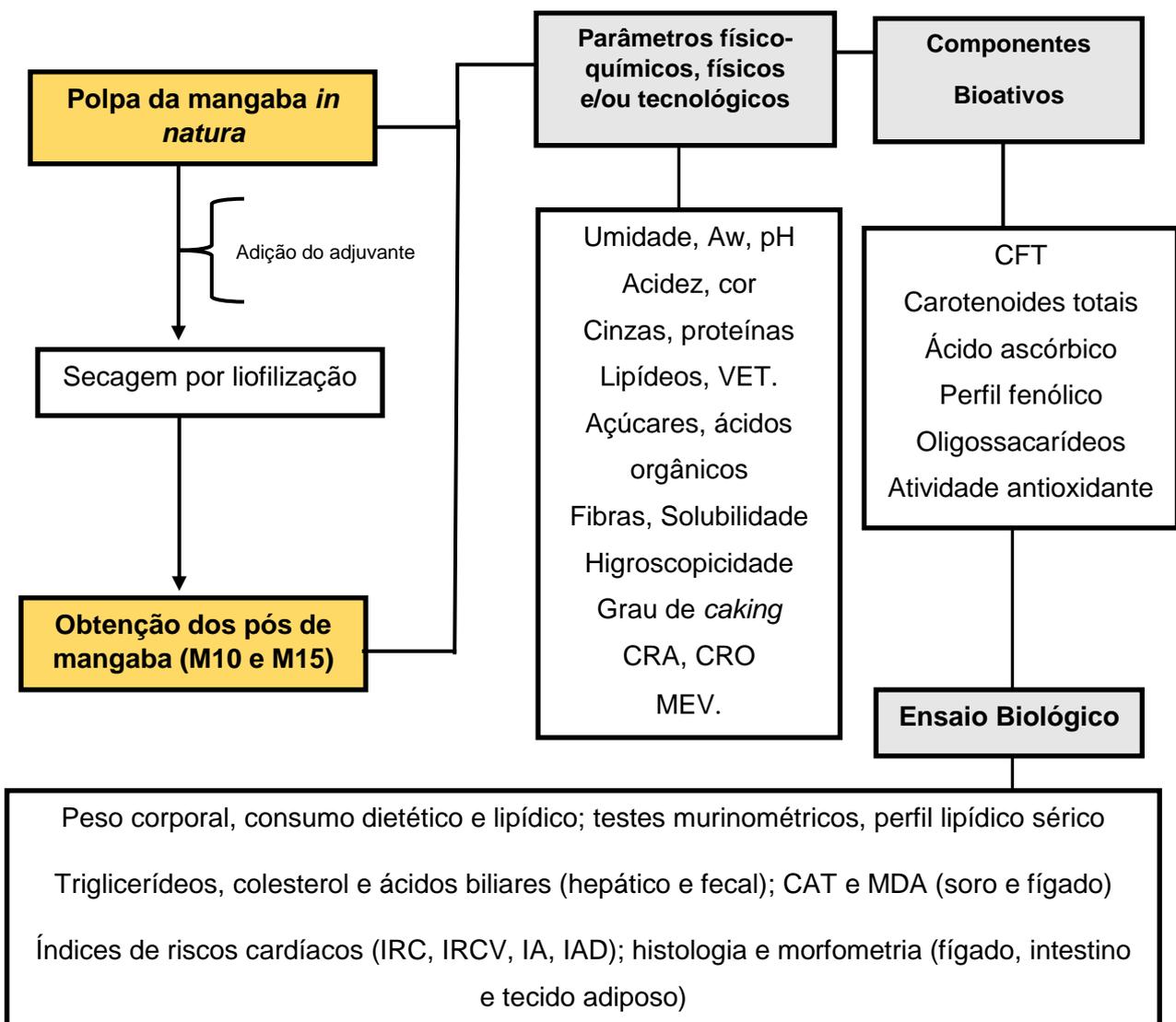
4.2 Objetivos específicos

- Realizar a secagem por liofilização na polpa de mangaba (*Hancornia speciosa*) sem e com o adjuvante de secagem (proteína do soro de leite) em duas concentrações (10% m/m; 15% m/m) e comparar os parâmetros físico-químicos, componentes bioativos, e as propriedades físicas, funcionais e/ou tecnológicas;
- Avaliar os efeitos da administração da melhor formulação quanto aos compostos bioativos da mangaba (*Hancornia speciosa*) em pó sobre a função hepática, parâmetros somáticos, oxidativos e do metabolismo lipídico de ratos saudáveis e dos induzidos à dislipidemia por dieta.

5 MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho de pesquisa foi conduzido em duas etapas: estudo *in vitro* e *in vivo*. No estudo *in vitro*, parâmetros físico-químicos, compostos bioativos, propriedades físicas e funcionais foram determinadas na polpa de mangaba e nos produtos adquiridos por liofilização. No estudo *in vivo*, a melhor formulação do produto liofilizado, foi avaliada em modelos animais induzidos à dieta dislipidêmica (Figura 8).

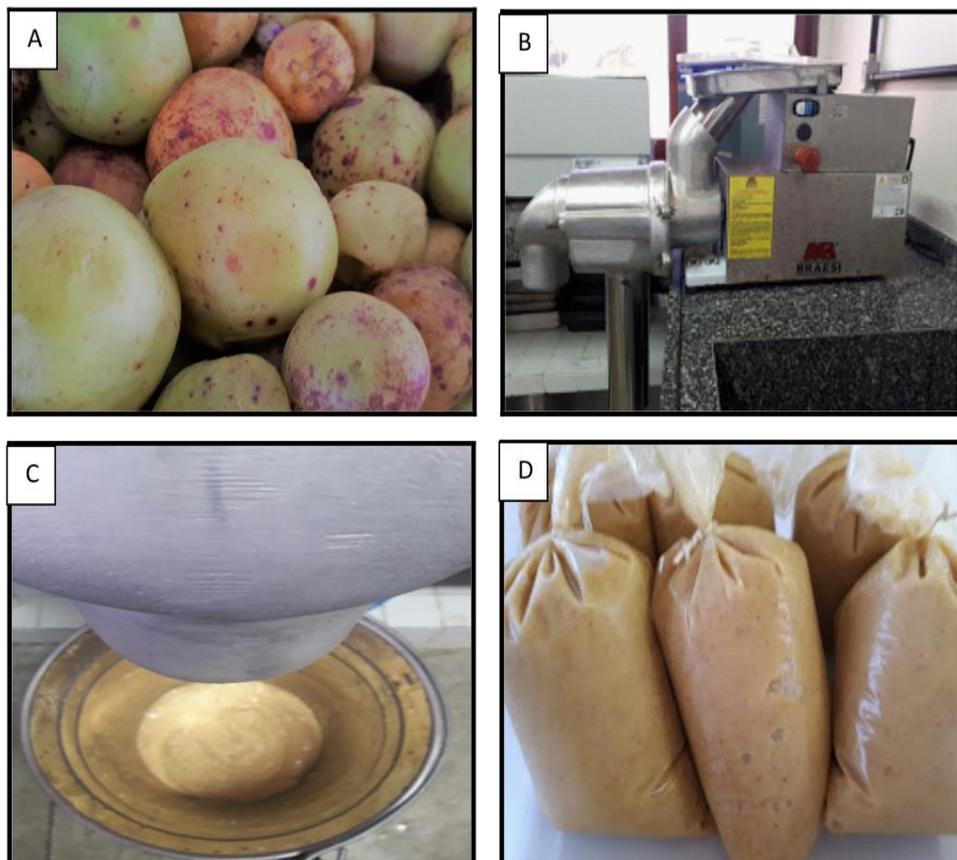
Figura 8 - Fluxograma completo do estudo



5.1 Material

As frutas da mangaba foram coletadas entre os meses de janeiro a abril de 2018 no município de Baía de Traição, Estado da Paraíba, Brasil (latitude 06° 41' 18''S, longitude de 34° 56' 09''W e altitude de 2m). Após a coleta, as frutas foram transportadas para o laboratório em caixas de polietileno, selecionadas - cor da casca, sem danos mecânicos, aroma característico - lavadas em água corrente e higienizadas com solução de hipoclorito de sódio a 50 ppm por 15 minutos (Figura 9).

Figura 9 - Apresentação das etapas para obtenção da polpa de mangaba.



(A) Frutas da mangaba *in natura*; (B) despulpadeira semi-industrial; (C) realização do despulpamento; (D) polpas da mangaba acondicionadas.

Fonte: Autoria própria (2020).

O despulpamento foi realizado em despulpadeira semi-industrial (modelo DES-60/1, Braesi, Caxias do Sul, Brasil), as polpas foram acondicionadas em sacos de polietileno, envolvidas em papel alumínio e congeladas (-18°C).

Na preparação das amostras, o adjuvante de secagem, proteína do soro do leite (Uninutri, WPC, Juazeiro do Norte, Brasil) concentrado com 85% de proteína foi adicionado à polpa *in natura* nas concentrações de 10% (m/m) e 15% (m/m), respectivamente.

5.2 Métodos

5.2.1 Secagem por liofilização e obtenção dos pós

A liofilização foi realizada por um período de 72 horas em temperatura de -40°C com uma velocidade constante de 1 mm/h, vácuo de 0,5 mm Hg e pressão final de 0,05 mmHg, utilizando um liofilizador de bancada (modelo L101, Liobras, Campinas, Brasil) (Figura 10). A polpa de mangaba *in natura* sem adjuvante de secagem foi testada no processo de liofilização.

Figura 10 - Liofilizador de bancada usado para obtenção da mangaba em pó.



Fonte: Manual técnico (2012)

O adjuvante de secagem foi adicionado à polpa *in natura* nas concentrações determinadas, obtendo-se duas formulações, designadas de M10 e M15, respectivamente. Os produtos combinados (polpa *in natura* e proteína do soro do leite) foram peneirados em malha de 18 mesh em temperatura ambiente de 25°C. Posteriormente as amostras foram congeladas (-18°C) por 24 horas antes do processo de liofilização.

Terminada a liofilização, as amostras desidratadas foram fragmentadas e trituradas em processador de alimentos (modelo Mixer Philips Walita). Em seguida, acondicionadas em vidros com tampas, cobertas por papel alumínio e armazenadas (-18°C).

5.2.2 Parâmetros físico-químicos da polpa *in natura* e dos pós liofilizados

5.2.2.1 Umidade, atividade de água (A_w), pH e acidez titulável total (ATT)

Todas essas análises foram executadas seguindo as recomendações da AOAC (2016). A análise de umidade foi realizada por gravimetria em estufa à vácuo, onde 2 gramas das amostras foram pesadas em cápsulas de porcelanas, levadas à estufa (70°C) por 6 horas e repesadas até peso constante. Os resultados foram expressos em percentual (%) e calculados conforme Equação:

$$\text{Umidade (\%)} = \left(\frac{(\text{peso do cadinho} + \text{amostra inicial}) - (\text{repeso})}{(\text{peso da amostra inicial})} \right) \times 100$$

A atividade de água (A_w) foi determinada em temperatura ambiente de 25°C através de analisador de atividade de água (Novasina® modelo Labswift, Switzerland) (Figura 11) para a polpa *in natura* e os pós liofilizados. A umidade

relativa de equilíbrio foi detectada após decorrido o tempo necessário para que ocorresse a estabilização das amostras.

Figura 11 - Analisador de atividade de água utilizado na pesquisa.



Fonte: Autoria própria (2020).

O potencial hidrogeniônico (pH) foi determinado utilizando um potenciômetro digital (modelo Q400A, Quimis, São Paulo, Brasil) previamente calibrados com soluções tampões de pH 4,0 e pH 7,0, respectivamente. Na polpa *in natura*, a leitura foi realizada diretamente na amostra. Nos pós, foi realizada uma diluição (1:10) dos pós para água destilada.

A acidez titulável total (ATT) foi obtida por titulação com solução de hidróxido de sódio 0,1N, sendo os resultados expressos em gramas de ácido cítrico por 100 gramas da amostra através da Equação:

$$ATT \text{ (g de ácido cítrico/100g)} = \frac{n \times N \times Eq.g}{10 \times p}$$

Onde: n - gasto do NaOH na titulação (mL); N - normalidade do NaOH (0,1 N); Eq.g - equivalente grama do ácido cítrico (64,04); p - peso da amostra (gramas).

5.2.2.2 Cinzas, lipídeos, proteínas e sólidos solúveis totais (SST)

Para determinação de cinzas, as cápsulas remanescentes da determinação de umidade foram incineradas em mufla com temperatura entre 550-570°C por um período de 6 horas. Após esse tempo, as amostras foram resfriadas em dessecador até temperatura ambiente e pesadas (AOAC, 2016).

Na determinação do teor lipídico, cerca de 2 gramas da polpa *in natura* e dos pós liofilizados (M10 e M15) foram quantificados através da extração da mistura de clorofórmio e metanol (2:1), seguida de evaporação do solvente em estufa, usando temperatura de 90°C (FOLCH; LESS; STANLEY, 1957). Depois de resfriamento em dessecador, as amostras foram pesadas com o resíduo remanescente. Os resultados foram calculados de acordo com a Equação abaixo:

$$\text{Lipídios (g/100g)} = \frac{N \times 100}{P}$$

Onde: N- resíduo lipídico no balão; P - peso da amostra inicial.

Para a quantificação de proteínas, utilizou-se a determinação de nitrogênio total, feita pelo processo de digestão de Kjeldahl, em que se baseia na digestão, destilação e titulação (AOAC, 2016). O teor protéico foi calculado através da Equação:

$$\text{Proteínas (g/100g)} = \frac{(Vb - Va) \times f \times F \times 0,14}{P}$$

Onde: Vb - volume gasto do HCl 0,1 N na titulação em mL; Va - volume gasto do HCl 0,1 N no teste do branco em mL; f - fator de correção do HCl 0,1 N; F- fator de conversão do Nitrogênio (6,25) em proteínas; P - peso da amostra em gramas.

Os sólidos solúveis totais (SST) foram determinados através da leitura do °Brix a uma temperatura de 20°C usando refratômetro digital portátil (modelo Reichert Clinic-Check Technologies, New York, USA) com escala variando de 0 a 62°Brix. Alíquotas das amostras foram transferidas ao leitor do equipamento e os resultados expressos em °Brix. Na polpa *in natura* a leitura foi realizada diretamente na amostra e nos pós liofilizados (M10 e M15) realizou-se diluição (1:10) dos pós para água destilada.

5.2.2.3 Carboidratos totais e valor energético total (VET)

Os teores de carboidratos totais foram calculados por diferença. Adquiriu-se a soma dos percentuais de umidade, lipídeos, proteínas, fibra dietética alimentar e cinzas, subtraindo-se os valores de 100. O valor energético total (VET) foi obtido através dos fatores de conversão de 4 kcal/grama (carboidratos totais e proteínas) e 9 kcal/grama (lipídeos) (BUCHHOLZ; SCHOELLER, 2004).

5.2.2.4 Fibra dietética alimentar (FDA), fibra dietética insolúvel (FDI) e fibra dietética solúvel (FDS)

Para a determinação da fibra dietética alimentar (FDA) e fibra dietética insolúvel (FDI) da polpa *in natura*, foi utilizado o método gravimétrico-não-enzimático. Para os pós M10 e M15, o método enzimático-gravimétrico com as enzimas alfa-amilase, protease e amiloglucosidade para extração (AOAC, 2016). Resumidamente pesou-se 0,5 gramas de cada amostra em quadruplicada e adicionou-se 50 mL de tampão fosfato 0,08 M pH 6,0, ajustou-se o pH para 6,0 adicionando-se NaOH a 0,275 N ou HCL a 0,325 N e adicionou-se 0,1 mL da enzima alfa-amilase. Posteriormente levou-se ao banho-maria por 30 minutos entre 95°C - 100°C, deixou-

se esfriar, ajustou-se o pH para 7,5 acrescentou-se a segunda enzima, a protease, e, incubou-se por mais 30 minutos a 60°C. Resfriou-se, e, ajustou-se o pH para 4,0 – 4,6 com 10 mL de HCL, seguidamente acrescentou-se 0,3 mL da terceira enzima, a amiloglicosidase, levando-se a incubação por mais 30 minutos a 60°C. Procedeu-se a filtração à vácuo usando os cadinhos com porosidade n°2 (Pyrex n°32940, ASTM 40-60 µm) preparados antecipadamente conforme método. Para determinação das FDA, os resíduos dos cadinhos foram lavados com porções sucessivas de etanol a 78%, etanol a 95% e acetona, e para fibras insolúveis com água a 70°C (removendo a fibra dietética solúvel), o etanol a 95% e acetona. O teor de FDS foi obtido por diferença entre a FDA e a FDI. Para a determinação de FDA e FDI, estas foram calculadas através da Equação:

$$FDA (g/100g) = \frac{(RT - P - C - BT) \times 100}{Pa}$$

Onde: RT-peso do resíduo (mg); P-peso de proteína ($V \times f \times 1,4 \times 6,25$) (mg); C-peso das cinzas (mg); BT-peso do branco (mg); V-volume de HCl 0,1 usado na titulação do nitrogênio total; P-peso da amostra (mg).

5.2.2.5 Análises de cor

As leituras para análise de cor de todas as amostras foram obtidas através de colorímetro (modelo Chroma-Meter CR 400, Konica Minolta, Japão). Os resultados foram analisados de acordo com as coordenadas CIEL*a*b* incluindo as variáveis L* [associada a luminosidade variando do preto (0) ao branco (100)], a* [transição da cor vermelha (+a*) para a cor verde (-a*)] e b* [transição da cor amarela (+b*) para a cor azul (-b*)]. Foram incluídas também, as coordenadas

cilíndricas *Croma* (expressa à saturação ou intensidade da cor) e o ângulo *Huê* que indica tonalidade (0° para vermelho; 90° amarelo; 180° verde; 270° azul).

5.2.2.6 Açúcares e ácidos orgânicos

A identificação e quantificação de ácidos orgânicos e açúcares e foi realizada por Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (CLAE) usando um sistema LC 1260 Infinity (modelo Agilent Technologies, Santa Clara, Califórnia, EUA) acoplado a um detector de matriz de fotodiodo (PDA) (G1315D) e um detector de índice de refração (RID) (G1362A). Especificamente, os teores de ácidos orgânicos foram determinados no PDA a 210 nm e os açúcares foram quantificados no RID. Padrões externos de glicose e frutose foram obtidos da Sigma-Aldrich (St. Louis, EUA) e os ácidos (cítrico, málico, succínico, fórmico e acético) foram obtidos da Química Vetec (Rio de Janeiro, Brasil), todos com nível de pureza de $\geq 98\%$. Nesta análise, utilizou-se uma coluna Agilent Hi-Plex H (300 x 7,7 mm) com tamanho de partícula de 8,0 μm ; a coluna foi protegida com uma coluna de proteção PL Hi-Plex H (5 x 3 mm) (Agilent Technologies). As temperaturas da coluna foram mantidas em 50°C. A amostra foi diluída em água ultrapura filtrada através de uma membrana de poros de 0,45 μm (Millipore, Barueri, São Paulo, Brasil); um volume de injeção de 10 μL , fluxo de 0,5 mL min⁻¹ e tempo de execução de 20 minutos. A fase foi H₂SO₄ 4,0 mM em água ultrapura. Os dados obtidos foram processados usando o OpenLAB CDS ChemStation Edition™ (Agilent Technologies) (COELHO et al., 2018).

5.2.2.7 Microestrutura eletrônica de varredura (MEV)

As análises morfológicas dos pós liofilizados (M10 e M15), foram realizadas através de um microscópio eletrônico de varredura (SEM, LEO 1430/CARLS ZEISS,

Oberkochen, Alemanha), tensão de 15 KV e as micrografias obtidas com ampliação de 100x, 500x e 1000x. As amostras foram depositadas em fitas de carbono dupla face e fixadas em um suporte metálico. A placa de metal foi revestida com ouro em um metalizador (EMITECH K550X), operando a 5 mA e 10 KV, fornecendo uma cobertura de aproximadamente 100 μm e 20 μm .

5.2.3 Compostos bioativos

5.2.3.1 Conteúdo fenólico total (CFT), carotenoides totais (CT) e ácido ascórbico (AA)

O conteúdo fenólico total (CFT) das amostras foi determinado à 765 nm usando um espectrofotômetro (modelo Genesys 10S UV-Vis Spectrophotometer, Madison, EUA) com resultados expressos em mg de equivalentes de ácido gálico (GAE) por grama de amostra após reação com o reagente Folin Ciocalteu (SINGLETON; ROSSI, 1965 adaptado por LIMA et al., 2014).

Para a determinação dos carotenoides totais (CT), inicialmente 18 mL de acetona pura foram adicionados a 0,5 gramas de pó de mangaba e lidos em um espectrofotômetro (modelo UV-Vis Spectrophotometer, Genesys 10S, Madison, EUA) em comprimentos de onda de: 470 nm, 645 nm e 662 nm na ausência de luz e temperatura de 25°C (LITCHETENTHALER; BUSCHMANN, 2001).

O teor de CT foi calculado através de equações direcionadas para cada amostra, sendo os resultados expressos em $\mu\text{g/mL}$ e posteriormente convertidos em mg/100 gramas.

$$Ca (\mu\text{g/mL}) = 11,24 A_{662} - 2,04 A_{645}$$

$$Cb (\mu\text{g/mL}) = 20,13 A_{645} - 4,19 A_{662}$$

$$C (x + c) (\mu\text{g/mL}) = (1000 A_{470} - 1,90 Ca - 63,14 Cb) / 214$$

O teor de ácido ascórbico (AA) foi realizado pelo método colorimétrico direto em que uma solução de 2,6-diclorofenol-indofenol é descolorada pelo ácido ascórbico em extratos das amostras em solução padrão de ácido ascórbico (AOAC, 2016). Para isso, tomou-se 0,25 mg das amostras e adicionou-se HPO₃ 2% perfazendo um total 100 mL. Obteve-se uma curva padrão com cinco soluções analitos, as quais continham 1, 2, 3, 4 e 5 mL de solução padrão de ácido ascórbico e comendo 5 mL de HPO₃ 2%, por fim, adicionou-se 10 mL do corante 2,6-diclorofenol-indofenol. O espectrofotômetro (modelo Genesys 10S UV-Vis Spectrophotometer, Madison, USA) foi calibrado em 100% de transmitância, usando um branco composto de 5 mL HPO₃ 2% e 10 mL água. Posteriormente procedeu-se a leitura das amostras usando um comprimento de onda de 518 nm. Os resultados foram expressos em mg/100g e os cálculos foram executados de acordo com a Equação:

$$AA (\text{mg}/100\text{g}) = \frac{AA \times V_1 \times 100}{V_2 \times 1000 \times P}$$

Onde: AA - teor de ácido ascórbico na leitura após os cálculos na equação da curva (mg); V₁- volume formado (mL); V₂ - solução tomada para estimativa na cubeta (5mL); P - peso da amostra (mg).

5.2.3.2 Perfil fenólico

As análises de HPLC para obtenção do perfil fenólico foram realizadas usando um sistema Agilent 1260 Infinity LC (modelo Agilent Technologies, Santa Clara, EUA) acoplado a um detector de matriz de diodos (DAD, modelo G1315D). A coluna utilizada foi o Zorbax Eclipse Plus RP-C18 (100 × 4,6 mm, 3,5 µm) e a pré-coluna Zorbax C18 (12,6 × 4,6 mm, 5 µm). A temperatura utilizada foi de 35 ° C, o volume de injeção foi de 20 µL e as amostras foram diluídas na fase A e filtradas através de uma membrana de 0,45 µm (Millipore, Barueri, São Paulo, Brasil). O fluxo de solvente foi de 0,8 mL min⁻¹, o gradiente usado na separação foi de 0 a 5 min: 5% de B; 5 a 14 min: 23% de B; 14 a 30 min: 50% de B; 30 a 33 min: 80% B. O solvente A foi uma solução H₃PO₄ 0,1 M e o solvente B foi acidificado com metanol com H₃PO₄ a 0,5%. Os dados foram processados no software Open LAB CDS Chem Station Edition (Agilent Technologies, Santa Clara, EUA). A detecção foi realizada em 220, 280, 320, 360 e 520 nm, com identificação de picos e quantificações feitas por comparação com padrões externos (DUTRA et al., 2018).

5.2.3.3 Oligossacarídeos

Para análise de frutooligossacarídeo (FOS) (nistose e kestose) e de galactooligossacarídeos GOS (rafinose), usou-se um sistema Agilent 1260 acoplado a um RID (modelo G1362A, Agilent Technologies, Santa Clara, USA). Padrões externos de oligossacarídeos 1-kestose, nystose e rafinose foram adquiridos da Sigma-Aldrich (St. Louis, USA). As amostras foram previamente diluídas em água ultrapura (1:1) filtradas em membrana de 0,45 µm (Millipore, Barueri, Brasil) e injetadas em volumes de 20 µL. A separação dos compostos foi feita em uma coluna Synergi™ Hydro-RP C18 com tampa polar (150 × 4.6mm, 4µm) (Phenomenex,

Torrance, USA), protegida por Zorbax C18 (12,6 × 4,6mm, 5 µm coluna de guarda Agilent Technologies) a uma temperatura de 35°C. O fluxo de solvente utilizado para separação dos compostos foi de 0,7mL min⁻¹ com um tempo de execução de 21 min. O gradiente utilizado foi 0-8 min: 100% A; 8-9 min: 80% de B; 9-12 min: 80% de B; 12-13 min: 100% A; 13-20 min: 100% A (caudal de 1,5 mL.min⁻¹); onde o solvente A foi água ultrapura e o solvente B acetonitrila. A temperatura na célula RID foi mantida a 35°C e os dados processados usando o *software* OpenLAB CDS ChemStation Edition (Agilent Technologies) (LIMA et al., 2019).

5.2.3.4 Atividade antioxidante DPPH

A atividade antioxidante foi analisada por método de sequestro de radicais livres com DPPH (1,1 difenil-2-picrilhidrazila) (KIM. et al., 2002 adaptado por LIMA et al., 2014). Para essa determinação, tomou-se uma alíquota de 100 µL de cada amostra, adicionou-se 2,90 mL da solução de DPPH 1,0 mM em um tubo de ensaio. Em outro tubo de ensaio adicionou-se 100 µL de água destilada na solução de DPPH (controle), agitou-se e leu-se as absorvâncias nos tempos de 0 a 30 minutos após o armazenamento no escuro. As absorvâncias foram lidas em 517 nm, obtendo um percentual de inibição. O resultado do percentual de inibição foi comparado com a curva de calibração do TROLOX (6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcromato-2-ácido carboxílico) obtidos em equivalente ao TROLOX em milimol por grama da amostra (mM TEAC L⁻¹). O percentual de inibição da AOX foi calculado conforme Equação:

$$PI = \left[1 - \left(\frac{ABS \text{ amostra}}{ABS \text{ controle}} \right) \right] \times 100$$

Onde: PI - Percentual de inibição do radical DPPH; ABS amostra - absorbância da solução de DPPH adicionada da amostra e incubada no escuro; ABS controle - absorbância do controle sem adição de amostra no tempo 0.

5.2.3.5 Atividade antioxidante ABTS

Para análise da atividade antioxidante para ABTS 2,2'-azino-bis (3-etilbenzotiazolino-6-ácido sulfônico), alíquotas de 30 µL de cada amostra foram adicionadas em 3,0 mL da solução radical ABTS em um tubo de ensaio. Em outro tubo de ensaio, adicionou-se 30 µL de água destilada na solução radical ABTS (controle), agitou-se e leu-se as absorbâncias nos tempos de 0 a 6 minutos após o armazenamento no escuro. As absorbâncias foram lidas em 734 nm, obtendo o percentual de inibição do radical ABTS. O resultado do percentual de inibição obtido foi comparado com a curva de calibração do TROLOX obtidos em equivalente ao TROLOX em milimol por grama da amostra (mM TEAC L⁻¹) (RE et al., 1999 adaptado por LIMA et al., 2014). O percentual de inibição da AOX foi calculado conforme Equação:

$$PI = \left[1 - \left(\frac{ABS \text{ amostra}}{ABS \text{ controle}} \right) \right] \times 100$$

Onde: PI - Percentual de inibição do radical ABTS; ABS amostra - absorbância da solução de ABTS adicionada da amostra e incubada no escuro; ABS controle - absorbância do controle sem adição de amostra no tempo 0.

5.2.4 Parâmetros físicos, funcionais e/ou tecnológicos dos pós liofilizados

5.2.4.1 Solubilidade, higroscopicidade e grau de *caking*

Para análise de solubilidade, cerca de 1 grama das amostras foram adicionadas em 100 mL de água destilada sob agitação durante 5 minutos a 1512 x g. Alíquota do sobrenadante (25mL) foi transferida para as placas de Petri e seca em estufa por 5 horas em temperatura de 70°C (CANO-CHAUCA et al., 2005). O resultado de solubilidade foi feito através da Equação:

$$\text{Solubilidade (\%)} = \frac{(4 - 2) \times (100 \times 1)}{(3 - 2) \times 1}$$

Onde: 1 - massa do pó; 2 - massa da placa vazia; 3 - massa da placa mais amostra; 4 - massa da placa mais a amostra depois da secagem.

A caracterização higroscópica foi realizada através do método de Goula; Adamopoulos (2008) com modificações. Desta forma, 1 grama das amostras foram espalhadas uniformemente em recipientes, colocadas em célula de higroscopicidade (Figura 12) em temperatura de 25°C e umidade relativa (UR) 75,5%, com solução saturada de NaCl, sendo mantidas por uma semana. A higroscopicidade foi calculada por diferença de peso de acordo com a Equação:

$$\text{Higroscopicidade (\%)} = \frac{P_f - P_i}{P_i} \times 100$$

Onde: P_i - peso inicial da placa mais o pó; P_f - peso da placa mais pós em equilíbrio.

Figura 12 - Célula de higroscopicidade.



Fonte: Autoria própria (2020).

Os pós foram classificados de acordo com os critérios da GEA Niro Research Laboratory (2017) (Tabela 1).

Tabela 1 - Categorização da higroscopicidade.

| Classificação | Parâmetros (%) |
|---------------------------|----------------|
| Não higroscópico | < 10 |
| Ligeiramente higroscópico | 10,1 – 15 |
| Higroscópico | 15,1 – 20 |
| Muito higroscópico | 20,1 – 25 |
| Extremamente higroscópico | > 25 |

Fonte: GEA Niro Research Laboratory (2017).

O grau de *caking* foi obtido por análise granulométrica seguindo a metodologia descrita por Jaya; Das (2004). Após determinação da higroscopicidade, as amostras foram levadas à estufa (70°C), com pesagens em intervalos de 2 horas, até peso constante. Após o resfriamento em dessecador, as amostras foram pesadas e transferidas para uma peneira de 500 µm e agitadas por 5 minutos.

O peso do pó remanescente na peneira foi mensurado e o grau de *caking* calculado segundo Equação:

$$CD (\%) = 100 \times a / B$$

Onde: CD - grau de *caking*; *a* - quantidade de pó permanecido na peneira após peneiramento; *b* - quantidade de pó utilizado.

Os resultados obtidos foram classificados de acordo com os padrões da GEA Niro Research Laboratory (2017) (Tabela 2).

Tabela 2 - Categorização do grau de *caking*.

| Classificação | Parâmetros (%) |
|--|----------------|
| Não há formação de <i>caking</i> | < 10 |
| Ligeira formação de <i>caking</i> | 10,1 – 20 |
| Pó com formação de <i>caking</i> | 20,1 – 50 |
| Pó com muita formação de <i>caking</i> | >50 |
| Pó com muita formação de <i>caking</i> | 100 |

Fonte: GEA Niro Research Laboratory (2017).

5.2.4.2 Capacidade de retenção de água (CRA) e capacidade de retenção de óleo (CRO)

Para a análise de CRA, 10 mL de água foi adicionada em um tubo de centrífuga contendo 150 mg de amostra. Os tubos com água foram armazenados em temperatura de 25°C e umidade relativa de 62% por 18 horas. Em seguida, centrifugou-se por 20 minutos a 1512 x g (MPW-315 R Varsóvia, Polônia), sendo o sobrenadante descartado. Por fim, pesou-se o precipitado. Procedimento semelhante foi usado para CRO utilizando-se também 150 mg da amostra e 5g de óleo de girassol (LÓPEZ-MARCOS et al., 2015).

5.2.5 Ensaio biológico

O estudo do ensaio biológico foi realizado no Laboratório de Nutrição Experimental (LANEX) do Departamento de Nutrição localizado na Universidade Federal da Paraíba (UFPB). O protocolo experimental foi aceito pela Comissão de Ética no Uso de Animais (CEUA) da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Recife-Brasil, sob o número nº 23076.010214/2018-43 (anexo). Todas as experiências cumpriram com as diretrizes do Colégio Brasileiro de Experimentação com Animais (COBEA, Brasil) e do Animal Research - Reporting of *In Vivo* Experiments - The ARRIVE Guidelines (KILKENNY et al., 2010).

A mangaba em pó M10 (10% m/m) foi selecionada para o estudo com animais, tendo como escolha os melhores resultados apresentados de fenólicos totais, carotenoides totais, vitamina C, fibra dietética alimentar, oligossacarídeos, perfil fenólico e atividade antioxidante (Tabela 3).

5.2.5.1 Animais e dietas administradas

Foram utilizados no experimento 32 ratos machos da linhagem *Wistar*, idade inicial de 60 dias e peso corporal entre 200 e 250 gramas. Os animais foram mantidos em gaiolas coletivas (máximo de quatro animais) em temperatura ambiente de $21^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$, umidade relativa (UR) entre 50 e 55%, com ciclo claro/escuro de 12 horas, recebendo água e ração comercial *ad libitum*.

Depois do período de aclimatação por uma semana, os animais foram randomizados em dois grupos: sadio (GS, n=16) que recebeu dieta padrão AIN-93M com óleo de soja como fonte de gordura (4%) (REEVES et al., 1993) e dislipidêmico (GD, n=16) alimentado com dieta dislipidêmica (Rhoster, Araçoiaba da Serra, Brasil) contendo 6 % de banha de porco, 5 % de gordura vegetal não

hidrolisada e 1 % de colesterol como fontes lipídicas. A composição dessas dietas é apresentada na Tabela 4.

Tabela 3 - Componentes bioativos e atividade antioxidante da mangaba em pó.

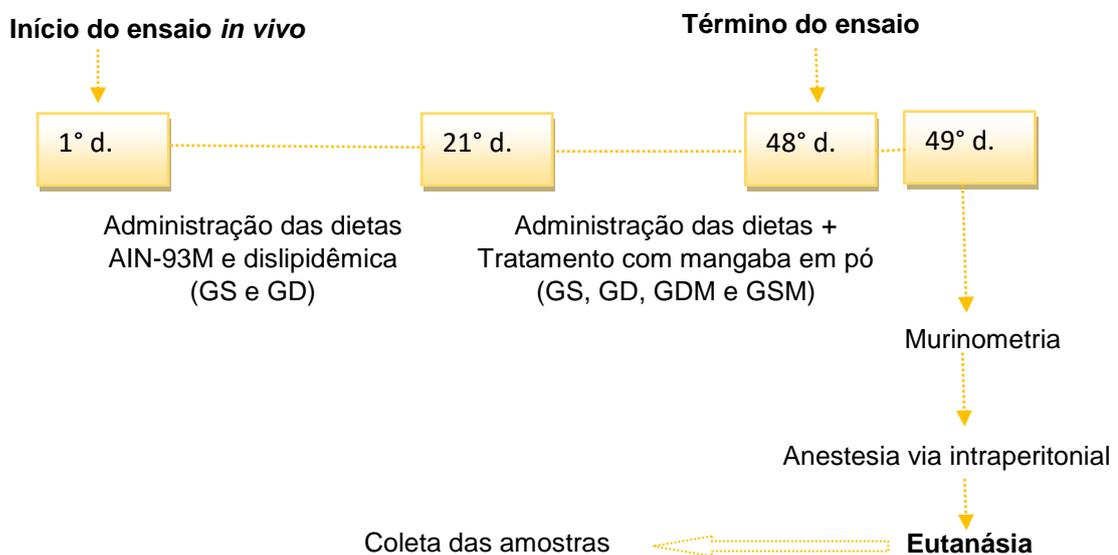
| Compostos bioativos | Mangaba em pó |
|---|----------------------|
| CFT (mg GAE/100g) | 1524,90± 32,44 |
| CT (mg/100g) | 0,10 ± 0,03 |
| Vitamina C (mg/100g) | 140,20 ± 3,09 |
| Perfil fenólico (mg/100g) | |
| Hesperidina | 0,35 ± 0,02 |
| Procianidina B1 | 2,84 ± 0,01 |
| Procianidina B2 | 2,30 ± 0,03 |
| Catequina | 0,44 ± 0,09 |
| Galato de epigallocatequina | 0,10 ± 0,01 |
| Quercetina 3-glicosídeo | 2,24 ± 0,08 |
| Kampeferol 3 glicosídeo | 0,03 ± 0,03 |
| Rutina | 0,03 ± 0,01 |
| Ácido clorogênico | 2,87 ± 1,55 |
| Trans-resveratrol | 0,32 ± 0,04 |
| Atividade antioxidante (µmol Trolox /100g) | |
| DPPH | 3548,67 ± 8,50 |
| ABTS | 1653,82 ± 45,91 |
| Oligossacarídeos (mg/100g) | |
| Kestose | 0,15 ± 0,21 |
| Raffinose | 17,48 ± 0,46 |
| Fibras dietéticas (g/100g) | |
| FDA | 4,10 ± 0,14 |
| FDS | 1,55 ± 0,06 |
| FDI | 2,55 ± 0,12 |

Média e desvio padrão (±) de três repetições (n=3). Resultados expressos em base seca. Legenda: CFT: compostos fenólicos totais; CT: carotenoides totais; FDA: fibra dietética alimentar; FDS: fibra dietética solúvel; FDI: fibra dietética insolúvel.

A administração das dietas (AIN-93 e dislipidêmica) transcorreu por três semanas e após este período, o sangue foi coletado via plexo orbital para diagnóstico da dislipidemia. Na sequência, os animais foram realocados em quatro grupos: (GS, n=8) e (GD, n=8) continuaram com as respectivas dietas e passaram a receber gavagem com 2 mL de solução salina durante mais quatro semanas

seguintes; e grupo sadio com mangaba (GSM, n=8) e dislipidêmico com mangaba (GDM, n=8) passaram a receber gavagem com mangaba em pó (400 mg/kg de peso corporal diluídos em 1,6 % p/v de solução salina) durante o mesmo período (BATISTA et al., 2018). Na Figura 13 tem-se o desenho do ensaio experimental *in vivo*.

Figura 13 - Desenho do estudo *in vivo*.



No 48º dia os animais foram submetidos a jejum (aproximadamente de 8 horas) e no 49º dia foram anestesiados por injeção intraperitoneal com cloridrato de quetamina (75mg/kg) e xilazina (5mg/kg) para posterior eutanásia. A eutanásia foi realizada pela técnica de punção cardíaca para coleta de sangue.

O fígado, intestino e tecido adiposo foram recolhidos, lavados com solução fisiológica, pesados, armazenados (solução de formaldeído 40%) e mantidos sob congelamento (-20°C). As fezes foram coletadas na última semana do experimento durante um período de três dias consecutivos para análises posteriores de colesterol, triglicerídeos e ácidos biliares totais.

Tabela 4 - Composição das dietas controle e dislipidêmica.

| Ingredientes (g/100g) | Dietas | |
|-----------------------------------|----------|-----------------|
| | AIN-93M* | Dislipidêmica** |
| Caseína láctea | 14,00 | 16,50 |
| Amido de milho | 47,00 | 36,45 |
| Amido dextrinizado | 15,50 | 15,50 |
| Sacarose | 10,00 | 6,00 |
| Fibras | 5,00 | 5,00 |
| Óleo de soja | 4,00 | 3,00 |
| Gordura animal (banha de porco) | - | 6,00 |
| Gordura vegetal não-hidrolisada | - | 5,00 |
| Ácido cólico sigma | - | 0,50 |
| Colesterol sigma | - | 1,00 |
| Mix de minerais AIN -93M | 3,50 | 3,50 |
| Mix vitamínico | 1,00 | 1,00 |
| L-cistina | 0,18 | 0,30 |
| Bitartarato de colina | 0,25 | 0,25 |
| t-BHQ*** | 0,008 | 0,014 |
| Calorias (kcal/g) | 3,82 | 4,25 |
| Carboidratos (kcal %) | 75,77 | 54,54 |
| Proteínas (kcal %) | 14,82 | 15,81 |
| Lipídios (kcal %) | 9,40 | 29,64 |
| Ácidos graxos saturados (%) | 28,34 | 39,21 |
| Ácidos graxos monoinsaturados (%) | 30,95 | 35,14 |
| Ácidos graxos polinsaturados (%) | 40,71 | 25,65 |

Fonte: *Adaptado de Reeves et al., (1993). **Rhoster Indústria e Comércio Ltda.***t-BHQ: tert-butylhydroquinone.

A aferição do peso corporal foi realizada semanalmente, no horário entre 14hs00min e 16hs00min, durante todo o período do experimento. Utilizou-se balança eletrônica digital (modelo Prix Toledo) com capacidade máxima para 15 kg.

O consumo dietético de todos os grupos também foi avaliado em cada semana. Os rejeitos foram pesados de acordo com o quantitativo da sobra de ração que continha na tampa da gaiola dos animais e o consumo dietético foi calculado mediante a Equação: $CD = RO - RL$. Onde: CD-consumo dietético; RO-ração oferecida e RL ração rejeitada.

Para avaliação dos testes murinométricos, estes foram mensurados com os ratos anestesiados minutos antes da realização da eutanásia. Com auxílio de fita métrica inelástica, aferiu-se a circunferência abdominal (CA), circunferência torácica (CT) e o comprimento corporal (CC). O índice de massa corporal (IMC) foi calculado dividindo-se o peso corporal (g) pelo comprimento ao quadrado (cm²) e o índice de Lee (ILEE) calculado através da raiz cúbica do peso corporal (g) dividindo-se pelo comprimento (cm) do animal (NOVELLI et al., 2007).

5.2.5.2 Determinação dos parâmetros lipídicos e enzimas hepáticas AST e ALT

As concentrações séricas de TG, CT, HDL e LDL foram medidas através de kits comerciais (Labtest ®, Belo Horizonte, Brasil). Essas análises seguiram as recomendações do fabricante e a absorbância foi determinada usando um analisador automático (modelo LabMax 240 Premium Belo Horizonte, Brasil) a 505 nm (TG), 500 nm (CT), 600 nm (HDL) e 546 nm (LDL). Os valores de VLDL foram calculados usando a Equação: $VLDL = TG/5$.

Para a análise de colesterol e triglicerídeos hepático e fecal, primeiramente as amostras foram desidratadas em estufa (60°C) por um período de 24 horas e trituradas. Fez-se a extração dos lipídeos hepáticos e fecais baseada no método descrito por Folch; Less; Stanley (1957). Depois da extração, uma alíquota (5 mL) da gordura foi coletada em tubos estéreis e centrifugou-se a 1040 x g por 15 minutos para determinação do colesterol e triglicerídeos. Os resultados foram avaliados por meio do kit comercial descrito anteriormente e leitura em espectrofotômetro (TG: 505 nm; CT: 500 nm).

As enzimas hepáticas AST (aspartato aminotransferase) e ALT (transaminase glutâmico pirúvica) foram determinadas através dos kits da marca Labtest® do mesmo fabricante seguindo as instruções do rótulo com analisador automático.

5.2.5.3 Índice de adiposidade (IAD), índice aterogênico (IA), índice de risco coronariano (IRC) e índice de risco cardiovascular (IRCV)

Para determinação do IA, IRC e IRCV, estes foram avaliados através das Equações: $IA = LDL/HDL$; $IRC = CT/HDL$; $IRCV = TG/HDL$ (FRIEDEWALD; LEVY; FREDRICKSON, 1972; ALLADI; KHADA; SHANMUGARI, 1989). O IAD foi calculado através da fórmula: $[\text{peso da gordura corporal (epididimal + visceral + retroperitoneal)} / \text{peso corporal}] \times 100$ (NASCIMENTO et al., 2011).

5.2.5.4 Ácidos biliares totais hepático e fecal

Para determinação de ácidos biliares totais hepático e fecal, mensurou-se 0,1 g das amostras de fígado e fezes, adicionou-se 75 mL de etanol absoluto, 0,1 mL de hidróxido de bário (5%) e 0,05 mL de sulfato de zinco (10%). A mistura foi agitada e centrifugada a 2500 x g por 10 minutos, resultando um precipitado removendo as proteínas e os pigmentos biliares. Posteriormente, 0,2 mL do sobrenadante foram adicionados em tubos de ensaios, deixando-se evaporar. Adicionou-se 0,1 mL de água destilada, 3,9 mL de clorofórmio ao metanol (2:1) e 0,88 mL de solução Folch (100 mL de solução aquosa contendo 0,04 gramas de cloreto de cálcio, 0,034 g de cloreto de magnésio e 0,58 g de cloreto de sódio), foram agitados e colocados em repouso para estratificação. A solução da camada superior era composta por ácidos biliares totais, e, a solução da camada inferior por colesterol e fosfolípidios. O sobrenadante foi retirado e colocado em um tubo

colorimétrico graduado de 5mL. A parte inferior foi extraída por três vezes (1 mL por vez) com solução de clorofórmio, metanol e solução de Folch (8:4:3 v/v/v). Em seguida, os extratos foram reunidos e adicionou-se 5 mL de metanol.

Pipetou-se 0,5 mL e deixou-se evaporar a solução. Em seguida, foi adicionado 2 mL de revelador de ácido fosfomolibdico (contendo 100 mL de ácido acético glacial, 2,5 de ácido fosfomolibdico, 5,0 mL de ácido sulfúrico concentrado) e incubou-se por 60 min em banho-maria (80 °C). Imediatamente após a remoção, a mistura foi arrefecida em água gelada por 5 minutos, finalizando a reação. Acrescentou-se 2 mL de diluente (10 mL de ácido acético glacial, 100 mL de água destilada e 10 mL de ácido sulfúrico concentrado) e após a homogeneização procedeu-se a leitura em espectrofotômetro usando um comprimento de onda de 690 nm.

Os valores do branco foram analisados pelo mesmo método e os teores de sais biliares hepático e fecal foram determinados pela curva padrão (Sigma-Aldrich, Darmstadt, Germany) com glicocolato de sódio (HUANG et al., 2010).

5.2.5.5 Peroxidação lipídica do malondialdeído (MDA) e capacidade antioxidante total (CAT) no fígado e soro

Foram avaliados parâmetros de oxidação por meio das análises de peroxidação lipídica (MDA) e capacidade antioxidante total (CAT) em homogenatos do fígado e soro. Para o preparo das amostras, partes do fígado (retalhados com tesoura) e o soro foram homogeneizadas em solução de KCl (11,5 g/L de KCl). Os homogenatos foram centrifugados à 8.000 x g durante 5 minutos em temperatura de 4°C (Sorvall, st8 Waltham, USA) obtendo-se um sobrenadante e um precipitado.

A peroxidação lipídica foi avaliada pela medição de substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS) e expressa em termos de conteúdo de malonaldeído (MDA) (OHKAWA; OHISHI; YAGI, 1979). Os precipitados foram descartados e os sobrenadantes foram transferidos para novos microtubos, onde adicionou-se 400 µL de ácido tiobarbitúrico a 0,6 % e incubou-se em temperatura de 100°C por 60 minutos. Após resfriamento até temperatura ambiente, o material foi lido em espectrofotômetro ultravioleta (modelo UV-Visible Shimadzu 1650-PC, Tokyo, Japão) através de um comprimento de onda de 535 nm.

A CAT foi mensurada nos homogenatos das amostras avaliando a atividade sequestradora de radicais de acordo com o método DPPH (BRAND-WILLIAMS; CUVELIER; BERSET, 1995) em que uma alíquota de 1,25 mg de 2,2 difenil-1-picrilhidrazil (DPPH) foi diluída em 100 mL de etanol (álcool etílico absoluto 99,5%) mantida sobre refrigeração protegida da luz. Foram adicionados 3,9 mL da solução de DPPH aos tubos contendo 100 µL das amostras e 100 µL de água destilada, para o branco. Em seguida agitou-se em vórtex e deixou-se em repouso por 30 minutos. Posteriormente, foram centrifugados a 5.600 x g em temperatura de 20°C por 15 minutos, sendo o sobrenadante utilizado para a realização da leitura em espectrofotômetro (modelo UV-Visible Shimadzu 1650-PC, Tokyo, Japão) em comprimento de onda de 515 nm e temperatura ambiente. Os resultados foram expressos como percentual da atividade antioxidante (AOA) e calculados através da Equação:

$$AOA = 100 - [DPPH \cdot R]_t / [DPPH \cdot R]_B \cdot 100).$$

Onde: $[DPPH \cdot R]_t$ e $[DPPH \cdot R]_B$ correspondem as concentrações de DPPH• remanescente após 30 minutos avaliadas na amostra (t) e no branco (B).

5.2.5.6 Análises histológicas do fígado, intestino e tecido adiposo

Fragmentos do fígado (lóbulo esquerdo), intestino e tecido adiposo foram coletados e lavados em soro fisiológico (0,9% NaCl), imediatamente fixados em formol tamponado a 10% por 48 horas e submetidos ao processamento histológico. Para tal, as amostras foram desidratadas em concentrações crescentes de etanol, clarificadas em xilol, incorporadas em parafina e seccionadas em micrótomo, obtendo-se fatias de 4 μ m de espessura. As seções foram coradas com hematoxilina-eosina (H&E), posteriormente analisadas em microscópio de luz (Motic BA 200, Santa Monica, USA) em objetivas crescentes.

O grau de esteatose hepática foi determinado por análise semiquantitativa, utilizando escala de 0 a 5, onde 0–1 indica animal sem lesão; 1–2 indica distribuição discreta da lesão (focal de luz); 2-3 indica distribuição moderada (pronunciada luz focal a difusa) e 3-4 indica lesão aguda (multifocal acentuado para difuso acentuado) (PINHEIRO et al., 2019). A partir das imagens do tecido adiposo (epididimal + visceral + retroperitoenal) foram analisados o número de adipócitos por campo com auxílio do software Motic Images Plus 2.0. (Motic Group, Ltda.), sendo também calculada a média da área (μm^2) de 100 adipócitos por amostra (PEREIRA et al., 2012).

5.2.6 Análises estatísticas

As análises dos parâmetros físico-químicos, componentes bioativos, físicos e tecnológicos foram realizadas pelo menos em triplicata ($n = 3$) e os resultados expressos como média \pm desvio padrão usando o Teste de Normalidade Shapiro-Wilk. A comparação entre duas médias foi realizada pelo teste t de Student e, para três médias, foi utilizado o One-way (ANOVA) e o pós-teste de Tukey ($p < 0,05$).

Os dados obtidos do estudo *in vivo* foram testados quanto a normalidade (teste de Shapiro-Wilk) e homogeneidade de variância (Teste de Levene), e por este motivo optou-se por testes não-paramétricos para comparar as variáveis (BUSSAB; MORETTIN, 1987; GREENACRE, 2007). Para comparação de uma variável entre os grupos GS e GD, aplicou-se o Teste U de Mann-Whitney e entre os quatro grupos de estudo (GS, GSM, GD e GDM) foi aplicado o teste Kruskal-Wallis e o Post-Hoc teste de Tukey quando ocorreu diferença significativa. A associação entre duas variáveis foi medida pelo coeficiente de correlação de Spearman (ρ ou rho) considerando $P < 0,05$ para uma correlação significativa. A direção da correlação, positiva ou negativa, foi classificada de força moderada ($\geq 0,6 < 0,8$) e força forte ($> 0,8$) (AKOGLU, 2018).

As análises foram realizadas no programa SigmaPlot 12.5 (Systat Software Inc., San Jose, CA, U.S.A), considerando o nível de significância de 5 % ($P < 0,05$). Os resultados foram expressos em forma de mediana e percentis (25 % e 75 %).

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Parâmetros físico-químicos da polpa de mangaba e dos pós liofilizados

A polpa de mangaba liofilizada produzida sem proteína do soro do leite resultou em um material compacto, pegajoso e duro (Figura 14A), não obtendo um produto em pó. Esse resultado é justificado pela presença do látex nos frutos da mangaba, bem como pelas alterações reológicas causadas pelo processo de secagem (NARAIN et al., 2018; FONGIN et al., 2019). No entanto, este grupo não foi submetido a análises adicionais. Nesse sentido, a polpa fresca *in natura* sem adjuvante de secagem (Figura 14B) foi comparada aos pós liofilizados (M10 e M15) obtidos com a proteína do soro do leite (Figura 14C-14D).

Figura 14 - Aspectos obtidos da polpa de mangaba.



(A) Polpa de mangaba *in natura* liofilizada; (B) Polpa de mangaba fresca *in natura* (C) M10, polpa em pó com 10% m/m de proteína de soro de leite; (D) M15, em polpa em pó com 15% m/m de proteína de soro de leite.

Fonte: Autoria própria (2020).

No início do estudo, outros processos de secagem foram testados na polpa de mangaba *in natura*, com e sem o uso de adjuvantes de secagem para obtenção do pó (produto final do estudo), porém todos os processos aplicados não foram viáveis para uso tecnológico da fruta (apêndice A).

As amostras, polpa de mangaba *in natura* e pós M10 e M15, foram classificadas como ácidas de acordo com a Food and Drug Administration (FDA, 2016) (Tabela 5), que propõe parâmetros de pH entre 3,3 e 3,9, respectivamente. O ácido cítrico foi encontrado em maiores quantidades na polpa de mangaba *in natura* e nos pós M10 e M15 (Tabela 6), seguidos dos ácidos málico, succínico e fôrmico. O ácido cítrico é um conservante alimentar natural predominante em frutas cítricas, que tem sido utilizado regularmente como aditivo na indústria de alimentos e bebidas (CHEN; LIU; DENG, 2015). Como esperado, baixa umidade (aproximadamente 2%) e atividade da água ($<0,25$) (Tabela 4) foram observadas para os pós de mangaba, o que facilita o manuseio e o armazenamento, uma vez que estão dentro da faixa considerada microbiologicamente estável para frutas desidratadas (FAZAEI et al., 2012).

Um determinado alimento é classificado como “fonte” de nutriente quando fornecer concentrações de um composto específico entre 5% a 10% de acordo com os valores de referência de ingestão dietética (DRI), como uma “boa fonte” se fornecer de 10% a 20% da quantidade recomendada e como uma “excelente fonte” se fornecer mais de 20% (INSTITUTE OF MEDICINE, 1999-2000). Levando em consideração os resultados apresentados (Tabela 5) e usando uma referência de 30 gramas de pó de mangaba, estes são considerados como “boas fontes” de proteínas, sendo justificado devido a concentração da proteína do soro do leite adicionada, além de serem considerados como “fontes” de carboidratos.

Tabela 5 - Parâmetros físico-químicos da polpa de mangaba *in natura* e pós M10 e M15.

| Parâmetros | Polpa de mangaba | M10 | M15 |
|--------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Umidade (%) | 81,96 ± 0,84 ^a | 2,42 ± 1,00 ^b | 1,89 ± 0,14 ^b |
| Aw | 0,93 ± 0,02 ^a | 0,18 ± 0,01 ^c | 0,22 ± 0,03 ^b |
| Ph | 3,34 ± 0,08 ^c | 3,52 ± 0,03 ^b | 3,96 ± 0,02 ^a |
| ATT (citric acid g/100g) | 7,59 ± 0,28 ^c | 5,44 ± 0,22 ^a | 3,90 ± 0,14 ^b |
| SST (°Brix a 62°C) | 15,10 ± 0,10 ^c | 74,00 ± 1,73 ^b | 84,33 ± 0,58 ^a |
| Cinzas (g/100 g) | 3,55 ± 0,03 ^b | 2,87 ± 0,27 ^a | 3,19 ± 0,02 ^a |
| Lipídeos (g/100g) | 5,38 ± 0,25 ^b | 1,70 ± 0,09 ^a | 1,48 ± 0,07 ^a |
| Proteínas (g/100g) | 4,87 ± 0,01 ^c | 11,30 ± 0,23 ^b | 13,29 ± 0,15 ^a |
| FDA (g/100g) | 33,48 ± 0,09 ^a | 4,10 ± 0,14 ^b | 1,52 ± 0,01 ^c |
| FDS (g/100g) | 12,80 ± 0,08 ^a | 1,55 ± 0,06 ^b | 0,19 ± 0,01 ^c |
| FDI (g/100g) | 20,67 ± 0,03 ^a | 2,55 ± 0,12 ^b | 1,33 ± 0,01 ^c |
| Carboidratos (g/100g) | 51,72 ± 0,45 ^b | 79,62 ± 0,96 ^a | 80,44 ± 0,37 ^a |
| VET (kcal/100g) | 268,96 ± 0,37 ^c | 381,16 ± 2,71 ^b | 389,09 ± 0,42 ^a |
| Cor | | | |
| L* | 62,53 ± 0,11 ^b | 84,08 ± 0,36 ^a | 84,98 ± 0,55 ^a |
| a* | 2,52 ± 0,47 ^a | -2,09 ± 0,13 ^b | -2,41 ± 0,21 ^b |
| b* | 27,65 ± 1,19 ^a | 27,22 ± 0,36 ^a | 26,94 ± 0,31 ^a |
| Chroma | 16,41 ± 1,48 ^a | 15,75 ± 0,23 ^a | 14,09 ± 0,43 ^a |
| Hue | 89,86 ± 0,09 ^c | 90,56 ± 0,19 ^b | 91,10 ± 0,06 ^a |

Resultados expressos em média ± desvio padrão. Letras minúsculas diferentes na mesma linha representam diferença estatística entre o pós-teste One-way Anova e Tukey (p <0,05). **Legenda:** Aw atividade de água; ATT, acidez total titulável; SST, sólidos solúveis totais; FDA, fibra dietética alimentar, FDS, fibra dietética solúvel; FDI, fibra dietética insolúvel; VET, valor energético total. Todos os resultados foram expressos em base seca.

Como resultado da maior concentração da proteína do soro do leite e conseqüentemente diluição dos nutrientes da fruta, a mangaba em pó M15 apresentou menor conteúdo de fibras (FDA, FDS e FDI) quando comparada a mangaba em pó M10 (Tabela 5) (p <0,05).

De fato, 30 gramas de polpa de mangaba *in natura* e mangaba em pó M10 atingem as quantidades necessárias para serem consideradas como “fonte” de

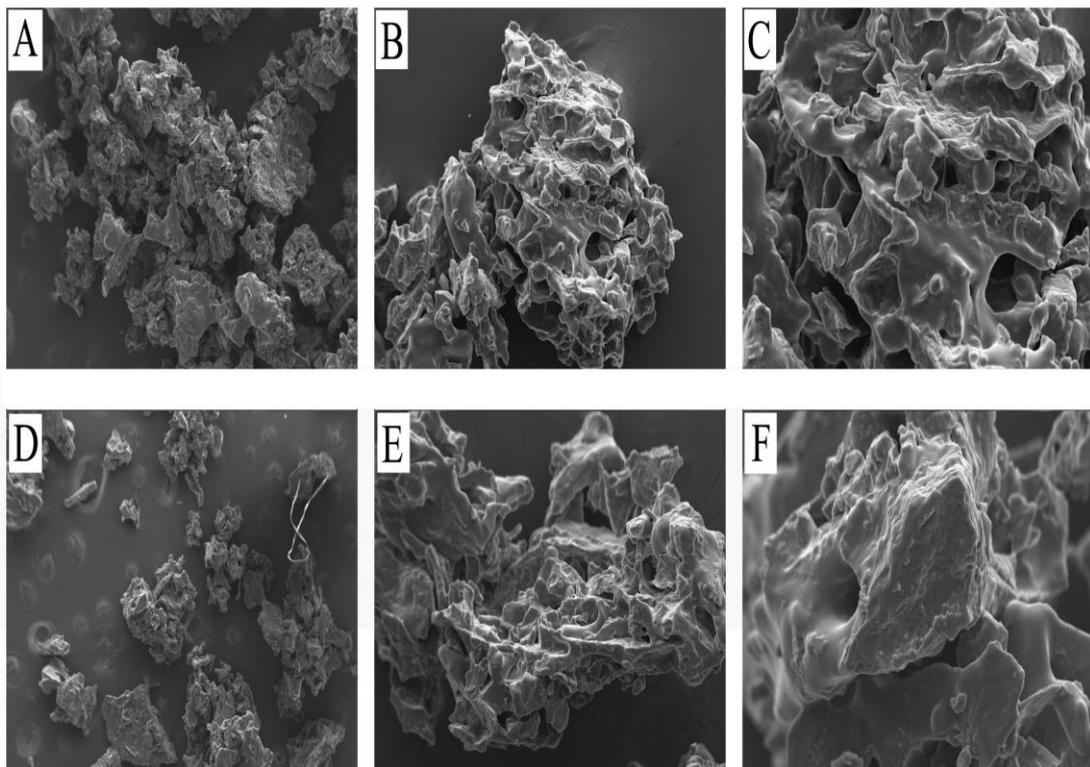
fibras, levando em consideração a recomendação de FDA de acordo com as DRIs para adultos entre 19 e 50 anos (25 a 38 g/dia). A ingestão de fibras está associada a vários benefícios à saúde, com efeitos dependentes da fonte e do tipo específico de fibra, como doenças cardiovasculares e disfunção metabólica (FREIRE et al., 2013). Os benefícios para o trato gastrointestinal são bem elucidados, como aumento do volume fecal, diminuição do trânsito intestinal e fermentação da microbiota intestinal (QUAGLIANI; FELT-GUNDERSON, 2017).

A cor é um importante parâmetro de qualidade que influencia a aceitação de produtos alimentícios (JANISZEWSKA-TURAK, 2017). A adição da proteína do soro do leite (que possui cor clara) nas amostras da mangaba em pó (M10 e M15) aumentou a luminosidade em comparação à polpa de mangaba *in natura* ($p < 0,05$), além da diluição de pigmentos naturalmente presentes na polpa de mangaba já existentes (Tabela 5 e Figura 14). A coordenada a^* apresentou maior tendência ao vermelho (+ a) na polpa de mangaba *in natura* e ao verde (- a) na mangaba em pó M10 e M15. Os pigmentos vermelhos são encontrados na casca da mangaba e transportados para a polpa da mangaba durante o processamento. Por outro lado, polpa de mangaba *in natura* e mangaba em pó M10 e M15 apresentaram resultados da coordenada b^* semelhantes, indicando tendência a tons amarelos, devido à cor amarelada natural da casca e polpa de mangaba *in natura*. Os resultados do indicador Croma apresentaram a mesma intensidade da cor para as amostras (polpa *in natura* e pós M10 e M15) e o ângulo Hue também resultou em semelhança (aproximadamente 90°). Os indicadores demonstraram que a proteína do soro do leite quando adicionado à polpa de mangaba *in natura* pode manter uma cor similar para os pós originados. A liofilização é um processo de secagem que é realizada sob vácuo e baixa temperatura e geralmente retém principalmente a cor, o odor e o

conteúdo nutritivo originais do material fresco (MARQUES; SILVEIRA; FREIRE, 2006). De fato, a preservação natural da cor é um índice de qualidade positivo em frutos secos (CEBALLOS et al., 2012).

A morfologia da mangaba em pó (M10 e M15) é apresentada em diferentes ampliações (100x, 500x e 1000x; Figura 15). As micrografias revelaram partículas com formato e tamanho irregulares, superfícies rugosas, semelhantes a flocos. A forma irregular das partículas de pó pode ser devido à natureza fibrosa e porosa dos pós de mangaba (ZEA et al., 2013).

Figura 15: Microestruturas dos pós M10 e M15.



M10 (A, B, C) e M15 (D, E, F) obtidos por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV). Ampliação de 100x com barra de 100 μ m para A e D; Ampliação de 500x com barra de 20 μ m para B e E; Aumento de 1000x com barra de 20 μ m para C e F.

Além disso, a estrutura observada resulta da moagem após liofilização, que gera partículas com tamanhos irregulares (OZKAN et al., 2019). Aspectos

microestruturais semelhantes foram observados no pó de graviola liofilizada (*Annona muricata*) (CEBALLOS et al., 2012).

Quanto aos teores de açúcares analisados (Tabela 6), uma redução de 18% nos níveis de glicose no pó M10 e de 37% no pó M15 foi observada ao contrastar com a polpa de mangaba *in natura*. Os níveis de frutose também obtiveram redução, sendo maior na mangaba em pó M15 (35%), possivelmente devido à maior concentração da proteína do soro do leite nessa amostra.

Tabela 6 - Ácidos orgânicos e açúcares de polpa de mangaba *in natura* e pós M10 e M15.

| Ácidos orgânicos | Polpa de mangaba | M10 | M15 |
|---------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| Cítrico (mg/100g) | 109,58 ± 17,03 ^a | 67,47 ± 0,18 ^b | 54,08 ± 0,11 ^b |
| Málico (mg/100g) | 27,25 ± 4,73 ^a | 16,50 ± 0,04 ^{ab} | 12,54 ± 0,14 ^b |
| Succínico (mg/100g) | 27,18 ± 0,84 ^a | 26,51 ± 1,02 ^a | 21,05 ± 0,44 ^b |
| Fôrmico (mg/100g) | 8,49 ± 0,98 ^a | 6,62 ± 0,20 ^{ab} | 5,91 ± 0,13 ^b |
| Acético (mg/100g) | 20,42 ± 0,03 | ND | ND |
| Açúcares | | | |
| Glicose (mg/100g) | 738,27 ± 105,2 ^a | 600,95 ± 0,53 ^{ab} | 462,98 ± 2,86 ^b |
| Frutose (mg/100g) | 622,54 ± 88,40 ^a | 526,52 ± 0,49 ^a | 403,21 ± 0,14 ^b |

Resultados expressos em média ± desvio padrão. Letras minúsculas diferentes na mesma linha representam diferença estatística entre o pós-teste One-way Anova e Tukey (p <0,05). ND, não detectado.

Frutas desidratadas são excelentes fontes de glicose e frutose (ALASALVAR; SHAHIDI, 2013) e, devido à sua doçura, devem apresentar um alto índice glicêmico (IG ≥ 70) (CHANG; ALASALVAR; SHAHIDI, 2016). No entanto, vários estudos mostraram que as frutas desidratadas apresentam um índice glicêmico baixo (GI <50) a moderado (GI 56-69). Isso pode ser explicado pela presença de fibras e compostos fenólicos. As fibras de frutas (principalmente a fração solúvel) são capazes de retardar a absorção de glicose, diminuindo a glicemia pós-prandial. Além

disso, os compostos fenólicos antioxidantes são capazes de modular o metabolismo da glicose e melhorar o controle glicêmico (DIAS et al., 2017).

6.2 Compostos bioativos e atividade antioxidante da polpa de mangaba *in natura* e pós M10 e M15

Os teores apresentados de CFT (Tabela 7) dos pós M10 e M15 foram semelhantes ($p > 0,05$), porém menor que a polpa de mangaba *in natura* ($p < 0,05$). Uma redução de 43% e 48% para as amostras M10 e M15 quando comparadas à polpa *in natura*. O CFT da polpa de mangaba *in natura* foi superior a frutas como tangerinas (*Citrus reticulata*) e maçãs (*Malus domestica*), no entanto semelhante à pitanga (*Eugenia uniflora*) e umbu (*Spondias tuberosa*) (STAFUSSA et al., 2018). Apesar da redução, os pós M10 e M15 foram classificados como altas fontes de fenólicos de acordo com a categorização descrita por VASCO; RUALES; KAMAL-ELDIN (2008), que estabelece: baixo (< 100 mg de GAE/100g), médio (100-500 mg de GAE/100g) e alto (> 500 mg de GAE/100g). Pós de goiaba (*Psidium guajava* L.) obtidos pelo processo de liofilização, obtiveram uma diminuição dos CFT em até 44% ao confrontar com a fruta fresca. Estes autores indicam que as perdas de compostos fenólicos durante os processos de secagem podem ser atribuídas principalmente a reações oxidativas (NUNES et al., 2016).

Tabela 7 - Compostos bioativos e atividade antioxidante da polpa de mangaba *in natura* e pós M10 e M15.

| Compostos bioativos | Polpa de mangaba | M10 | M15 |
|---------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| CFT (mg GAE/100g) | 2605,00 ± 16,26 ^a | 1488,0 ± 32,44 ^b | 1238,5 ± 11,49 ^b |
| CT (mg/100g) | 0,59 ± 0,55 ^a | 0,10 ± 0,03 ^a | 0,17 ± 0,09 ^a |
| Vitamina C (mg/100g) | 121,91 ± 1,70 ^a | 136,81 ± 3,09 ^b | 135,62 ± 0,86 ^b |
| Perfil fenólico (mg/100g) | | | |
| Hesperidina | 0,32 ± 0,12 ^a | 0,34 ± 0,02 ^a | ND |
| Naringenina | 0,30 ± 0,03 | ND | ND |
| Procianidina B1 | 0,08 ± 0,04 ^b | 2,77 ± 0,01 ^b | ND |
| Procianidina B2 | 0,19 ± 0,03 ^b | 2,24 ± 0,03 ^a | ND |
| Catequina | 0,56 ± 0,01 ^a | 0,43 ± 0,09 ^a | 0,33 ± 0,01 ^a |
| Galato epigallocatequina | 0,07 ± 0,01 ^a | 0,10 ± 0,01 ^a | 0,19 ± 0,17 ^a |
| Quercetina 3-glicosídeo | 1,85 ± 0,06 ^a | 2,19 ± 0,08 ^a | 1,34 ± 0,44 ^a |
| Kampeferol 3-glicosídeo | 0,31 ± 0,04 ^a | 0,03 ± 0,03 ^b | 0,01 ± 0,06 ^c |
| Rutina | 0,01 ± 0,01 ^a | 0,03 ± 0,01 ^a | 0,03 ± 0,01 ^a |
| Ácido clorogênico | 1,78 ± 0,11 ^a | 2,80 ± 1,55 ^a | 2,48 ± 0,38 ^a |
| Trans-resveratrol | 0,30 ± 0,01 ^a | 0,32 ± 0,04 ^a | 0,22 ± 0,07 ^a |
| Atividade antioxidante | | | |
| DPPH (µmol Trolox /100g) | 4231,5 ± 164,04 ^a | 3462,80 ± 8,50 ^b | 3557,03 ± 40,09 ^b |
| ABTS (µmol Trolox /100g) | 3036,5 ± 249,61 ^a | 1613,80 ± 45,91 ^b | 1369,50 ± 19,26 ^b |
| Oligossacarídeos | | | |
| Kestose (mg/100g) | 43,01 ± 0,49 ^a | 0,15 ± 0,21 ^b | ND |
| Nistose (mg/100g) | 46,03 ± 1,70 | ND | ND |
| Rafinose (mg/100g) | ND | 17,06 ± 0,46 ^b | 25,41 ± 2,57 ^a |

Resultados expressos em média ± desvio padrão. Letras minúsculas diferentes na mesma linha representam diferença estatística entre o pós-teste One-way Anova e Tukey (p < 0,05). Legenda: ND, não detectado; DPPH, 1,1 difenil-2-picrilhidrazila; ABTS, 3-etilbenzotiazolino-6-ácido sulfônico.

Os carotenoides totais não apresentaram diferença significativa entre as amostras analisadas (p < 0,05) (Tabela 7). Os resultados denotaram uma perda de carotenoides de 83% para o pó M10 e de 71% para o pó M15, respectivamente. Os valores apresentados para a polpa de mangaba *in natura* foram similares aos achados por Lima et al., (2015) (0,6 mg/100 gramas) sendo superior aos reportados

por Rufino et al., (2010) (0,3 mg/100 gramas) para frutas da mangaba. As perdas de carotenóides podem ocorrer devido à ruptura das estruturas celulares, expondo esses elementos a fatores efêmeros adversos e possível de degradação (PENICAUD et al., 2011). De fato, o processamento pode afetar a composição e a biodisponibilidade dos carotenóides nos alimentos (SAINI; NILE; PARK, 2015).

Ramful et al., (2011) classificaram as frutas em três categorias segundo o teor de ácido ascórbico: baixo (<30 mg/100 g), médio (30-50 mg/100 g) e alto (> 50 mg/100 g). E de acordo com esta classificação, a polpa de mangaba *in natura* e pós (M10 e M15), podem ser considerados como alimentos que contêm um alto teor de ácido ascórbico. Desta forma, levando-se em consideração uma porção de 30 gramas, os teores apresentados nas amostras atendem 20% das recomendações diárias de vitamina C de acordo com as DRIs (75 mg/dia à 90 mg/dia) para homens e mulheres adultos entre 19 e 70 anos, sendo considerados como “excelente fonte” de vitamina C (INSTITUTE OF MEDICINE, 1999-2000).

A polpa de mangaba *in natura* apresentou flavonóides como, quercetina 3-glicosídeo, ácido clorogênico e catequina como principais constituintes (Tabela 7). Esses resultados são semelhantes aos frutos de mangaba colhidos no Cerrado brasileiro, que também obtiveram ácido clorogênico como principal ácido fenólico (LIMA et al., 2015). Estudos mostram que o ácido clorogênico exerce efeitos benéficos em diferentes condições fisiopatológicas, e sua atividade antioxidante é considerada o mecanismo de ação mais relevante (HOELZL et al., 2010). A quercetina 3-glicosídeo recebe atenção por seu efeito protetor contra doença arterial coronariana, enquanto a catequina é capaz de manter a função endotelial e reduzir o risco de doença do sistema circulatório (WASILEWSKI et al., 2016). A mangaba em pó M10 apresentou o ácido clorogênico como seu principal ácido fenólico, seguido

pela procianidina B1 e procianidina B2. As procianidinas apresentam efeitos cardioprotetores (anti-aterogênicos, anti-hipertensivos e antitrombóticos) e afetaram favoravelmente os perfis de lipoproteínas séricas em estudo *in vivo* (FERNÁNDEZ-LARREA et al., 2007). Alguns compostos fenólicos foram identificados na polpa *in natura*, mas não nos pós (hesperidina, naringenina e procianidinas B1 e B2 na mangaba em pó M15; naringenina na mangaba em pó M10). A adição da proteína do soro do leite nas amostras associada a perdas causadas pelo processo de liofilização pode explicar esses achados.

Com relação à atividade antioxidante, ambos os ensaios (DPPH e ABTS) apresentaram tendências semelhantes: enquanto o pó M10 e M15 tiveram atividade semelhante à eliminação de radicais ($p > 0,05$), ambas foram menores ($p < 0,05$) quando comparadas à polpa de mangaba *in natura*. Tendência semelhante foi observada para frutos de camu-camu (*Myrciaria dubia* Mc. Vaugh) liofilizados (FUJITA et al., 2017). As amostras de mangaba em pó - M10 e M15 - apresentaram atividade antioxidante superior à maçã (*Malus domestica*) e kiwi (*Actinidia chinensis*) obtidos também por liofilização (WIJNGAARD; RÖßLE; BRUNTON, 2009).

Oligossacarídeos - kestose e nistose - foram identificados na polpa *in natura*, enquanto a rafinose foi o principal oligossacarídeo na mangaba em pó M15 (Tabela 7). Até o momento, este é o primeiro estudo em que foram identificados oligossacarídeos em frutos de mangaba e seus derivados. A presença de quantidades significativas de oligossacarídeos é de interesse para a indústria e para os consumidores devido às suas propriedades prebióticas reconhecidas, como: melhora da resposta imune, prevenção do câncer colorretal e aumento da saciedade, além de aliviar doenças crônicas, atenuando os processos inflamatórios

e regulando o metabolismo lipídico e glicêmico (CAETANO et al., 2016; AQUINO et al., 2017).

6.3 Propriedades físicas e tecnológicas/funcionais dos pós liofilizados

Como qualquer outro ingrediente alimentar, a adição de pós de frutas alimentícias tem uma influência importante nos atributos tecnológicos e no desempenho do produto final, incluindo a aceitação sensorial do consumidor (CHUSAK et al., 2020; GOUW; JUNG; ZHAO, 2017).

As amostras de mangaba em pó - M10 e M15 - apresentaram boa solubilidade em água, mas o pó M15 apresentou maior solubilidade quando comparado ao pó M10 ($p < 0,05$) (Tabela 8) . Isso é justificado devido a maior concentração da proteína do soro do leite no pó M15 - um ingrediente altamente solúvel. O camu-camu (*Myrciaria dubia* Mc. Vaugh) liofilizado produzido sem adição adjuvante de secagem, apresentou valores de solubilidade semelhantes (aprox. 57%) (FUJITA et al., 2017). Caparino et al., (2012) compararam a solubilidade da manga (*Filipinas 'Carabao' var.*) desidratada produzida por diferentes métodos e observaram que a manga liofilizada apresentou menor solubilidade (89,70%) quando comparada a outros métodos de secagem, como o *spray drying* (95,31%) e a secagem por *refractance window* (90,79%), respectivamente. Esses autores concluíram que dependendo do tipo de agente transportador (ex. maltodextrina e proteínas) e dos métodos de secagem empregados para obtenção de frutas em pó, podem ocorrer variações na solubilidade das amostras, a depender também do tipo da fruta utilizada.

Tabela 8 - Propriedades físicas e tecnológicas/funcionais dos pós M10 e M15.

| Parâmetros | M10 | M15 |
|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Solubilidade (%) | 54,01 ± 0,04 ^a | 65,19 ± 0,30 ^b |
| Higroscopicidade (%) | 34,56 ± 0,01 ^a | 31,36 ± 0,92 ^b |
| Grau de <i>caking</i> (%) | 81,06 ± 7,08 ^a | 63,70 ± 6,63 ^b |
| CRA (g água g/amostra) | 4,87 ± 0,13 ^a | 4,36 ± 1,77 ^a |
| CRO (g óleo g/amostra) | 3,84 ± 0,56 ^a | 5,21 ± 0,32 ^b |

Resultados expressos em média ± desvio padrão. Letras minúsculas diferentes na mesma linha representam diferença estatística entre o teste t de Student ($p < 0,05$). **Legenda:** CRA, Capacidade de retenção de água; CRO, Capacidade de retenção de óleo.

A higroscopicidade (M10: 34,56%; M15: 31,36%; Tabela 8) foi considerada alta, de acordo com a categorização do GEA Niro Research Laboratory (2017). De fato, a composição típica rica em açúcar associada a um alto teor de sólidos solúveis totais encontrados em pó de frutas favorece o estado amorfo higroscópico após a liofilização (CANUTO; AFONSO; COSTA, 2014). Especificamente, a frutose, um carboidrato altamente higroscópico, foi identificada em grandes quantidades nos pós M10 e M15 (Tabela 6), e correlaciona-se bem com a higroscopicidade aumentada e o grau de *caking* (Tabela 8) obtidos nessas amostras.

A capacidade de retenção de água (CRA) reflete a quantidade de água que é absorvida e, portanto, influencia a consistência, sensação na boca, textura e viscosidade dos produtos alimentícios. Já a capacidade de retenção de óleo (CRO) mede a capacidade de se ligar e se associar a compostos hidrofóbicos pelo aprisionamento físico do óleo, e está ligado às propriedades emulsificantes e retenção de sabor dos produtos alimentares (AWUCHI; VICTORY; ECHETA, 2019). Curiosamente, a concentração da proteína do soro do leite usada no processo de liofilização para obtenção dos pós, não influenciou a CRA e ambas apresentaram resultados semelhantes ($p > 0,05$). Por outro lado, a maior concentração da proteína do

soro do leite usada na amostra M15 resultou em maior CRO. Hamza; Mrabet; Jiménez-Araújo (2016), analisando frutos de palma (*Phoenix dactylifera* L.), encontraram valores de CRO semelhantes (3,85 mL de óleo/g e de 62 mL de de óleo/g), sugerindo aplicações em sistemas alimentares.

6.4 Ensaio biológico

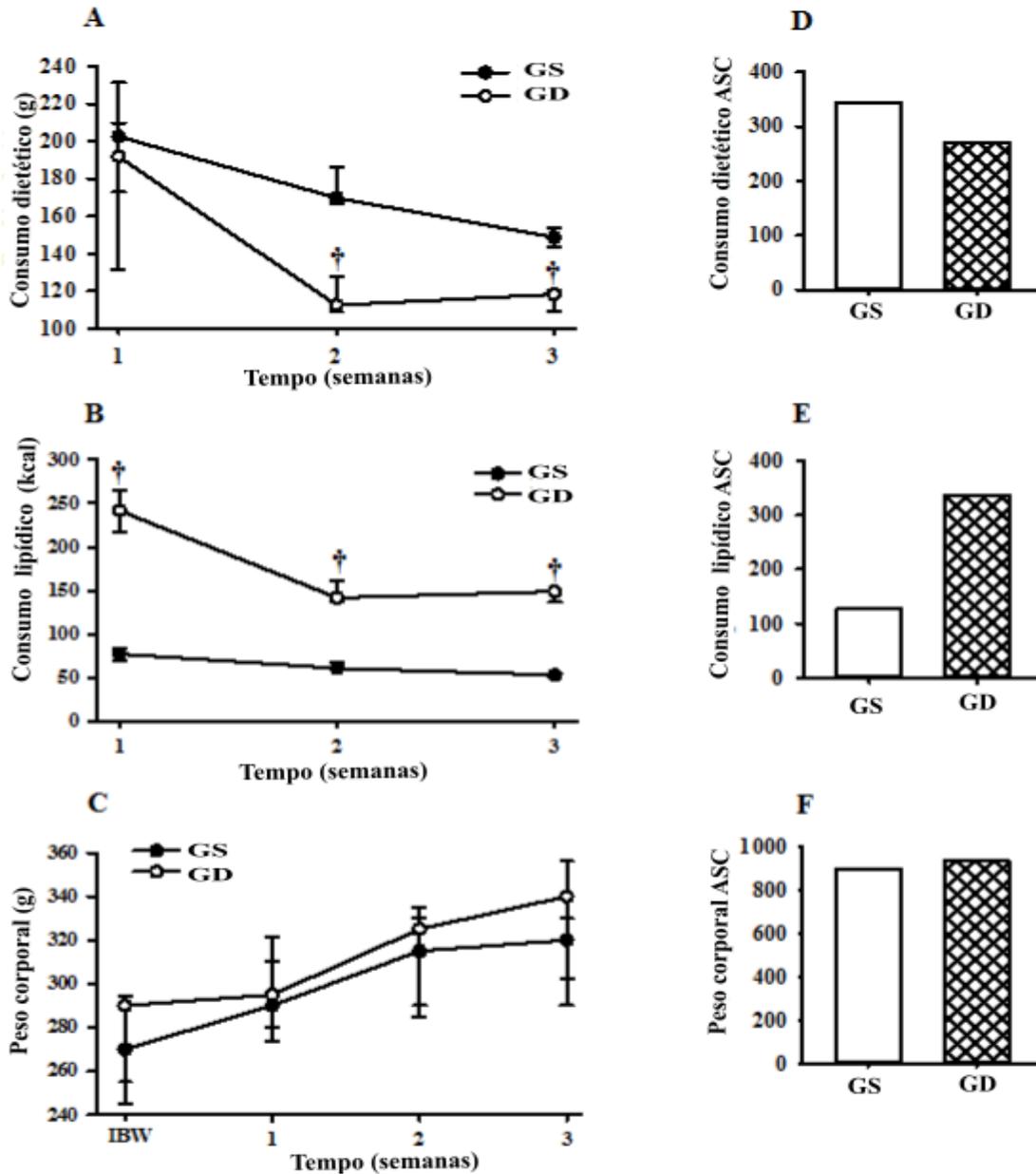
6.4.1 Consumo dietético, peso corporal e testes murinométricos

No período do pré-tratamento (indução à dislipidemia), o consumo dietético foi menor e o lipídico maior nos ratos induzidos à dislipidemia quando comparados aos ratos que consumiram dieta normolipídica (Figura 16). Esta diferença no padrão de consumo entre os grupos sadios (GS e GSM) e os dislipidêmicos (GD e GDM) se manteve no período de tratamento (Figura 17) e apesar da administração de mangaba em pó ter ocasionado um aumento do consumo dietético e lipídico nos ratos dislipidêmicos (GDM) em comparação ao GD ($P < 0,05$), o ganho de peso corporal foi similar entre todos os grupos ($P > 0,05$).

O elevado teor de gordura da dieta dislipidêmica contribui para uma densidade energética elevada, reduzindo o consumo alimentar (ARAÚJO et al., 2014). Alguns estudos reportam que o consumo de gordura na dieta está associado ao aumento das excreções dos hormônios colecistocinina (CKK), peptídeo 1 tipo glucagon (GLP-1) e peptídeo YY (PPY) pelas células da mucosa intestinal, os quais tem ação na saciedade e diminuem a ingestão de alimentos (GAULT et al., 2013; BATISTA et al., 2018; BEZERRA et al., 2018).

Ao final do experimento, a dieta dislipidêmica ocasionou um aumento no IMC, I_{Lee} e IAD (GS vs GD, $P < 0,05$), enquanto que o tratamento com a mangaba em pó foi capaz de reduzir o IMC em 8%, o I_{Lee} em 3% e o IAD em 14% (GD vs GDM, $P > 0,05$) (Tabela 9). Importante destacar que apesar do consumo de dieta hipercalórica e hiperlipídica, os ratos dos grupos GD e GDM não se tornaram obesos, posto que apresentarem IMC abaixo de 0,68 (NOVELLI et al., 2007), I_{Lee} abaixo de 0,30 (BERNARDIS; PATTERSON, 1968) e IAD abaixo de 6,3 % para ratos adultos (NASCIMENTO et al., 2011).

Figura 16 - Consumo dietético, lipídico, peso corporal e respectivas áreas sob a curva em ratos saudáveis e dislipidêmicos durante o período de indução à dislipidemia.



Consumo dietético (A), consumo lipídico (B), peso corporal (C) e respectivas áreas sob a curva (D-F). GS, grupo sadio; GD, grupo dislipidêmico. IBW, peso corporal inicial. † Diferença significativa em relação ao grupo GS; ‡ diferença significativa em relação ao grupo GSM; § diferença significativa em relação ao grupo GD. Os valores são medianos com os percentis 25 - 75 (teste U de Mann-Whitney, $P < 0,05$). $N=16$ por grupo.

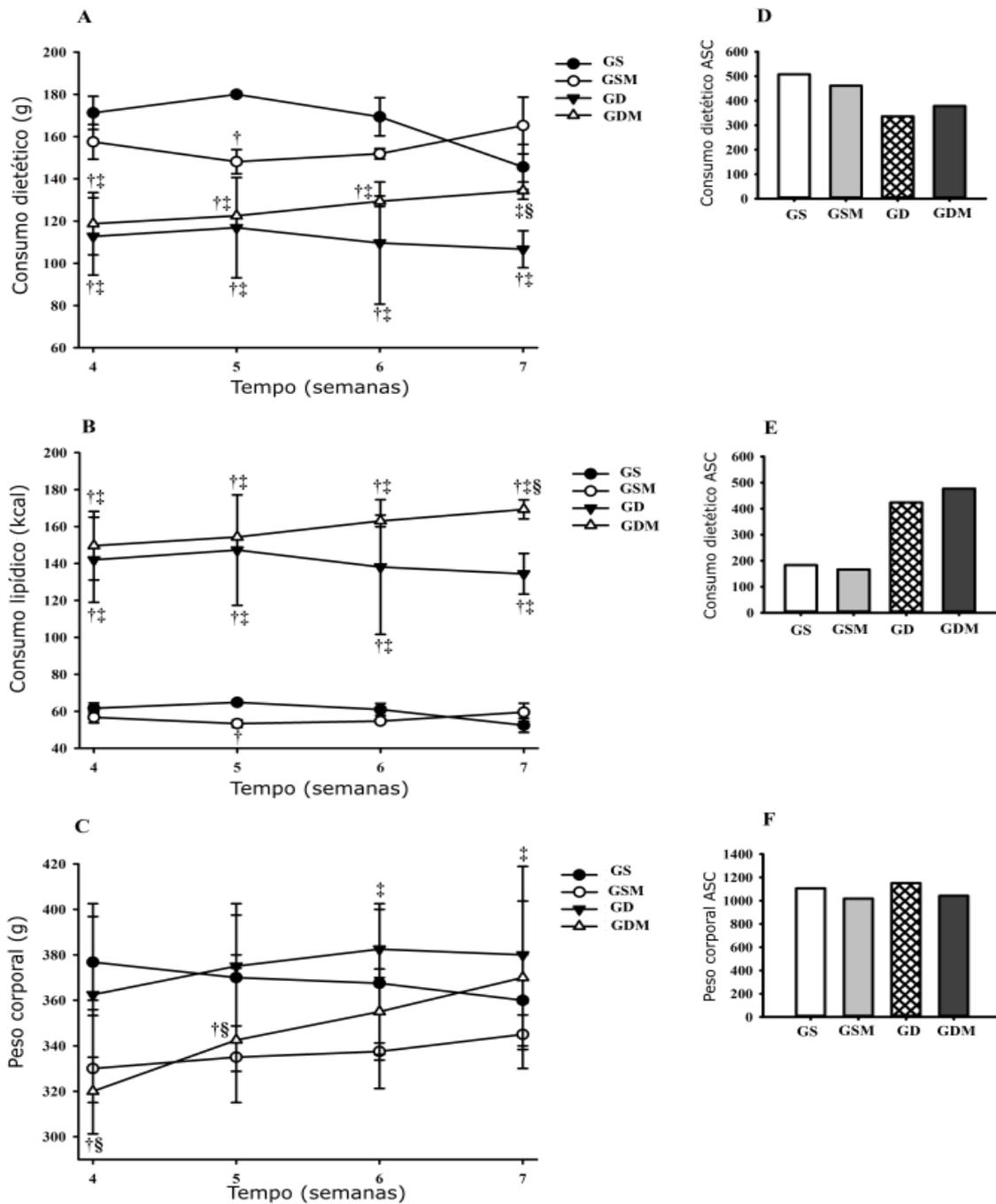
Tabela 9 - Murinometria e peso dos órgãos de ratos saudáveis e dislipidêmicos tratados com mangaba em pó.

| Parâmetros | Grupos | | | |
|--------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| | GS | GSM | GD | GDM |
| CC (cm) | 23,00 (21,75-23,62) | 25,00 (23,00-26,25) | 24,08 (23,00-24,50) | 24,00 (23,50-24,87) |
| CA (cm) | 17,25 (15,87-19,15) | 17,00 (16,00-18,00) | 17,50 (17,50-18,00) | 16,75 (14,62-18,00) |
| CT (cm) | 15,25 (14,12-15,85) | 15,00 (14,00-15,00) | 15,00 (15,00-16,00) | 15,75 (15,00-17,37) |
| IMC (g/cm ²) | 0,62 (0,61-0,63) | 0,56 (0,50-0,58)† | 0,65 (0,61-0,66)‡ | 0,60 (0,57-0,63)‡§ |
| ILee | 0,30 (0,29-0,30) | 0,28 (0,27-0,28)† | 0,30 (0,29-0,31)‡ | 0,29 (0,29-0,30)‡ |
| IAD (%) | 1,85 (1,76-2,93) | 2,69 (2,48-2,83) | 3,82 (3,76-3,92) †‡ | 3,28 (2,69-3,80) †‡ |
| Peso fígado (g) | 3,53 (3,32-3,86) | 3,47 (3,35-3,72) | 5,41 (4,98-5,90)†‡ | 5,38 (4,31-5,68)†‡ |
| Peso TA (g) | 1,71 (1,32-2,92) | 2,61 (2,09-2,69) | 3,86 (3,59-4,09) †‡ | 3,28 (2,66-3,93) †‡ |
| Peso intestino (g) | 4,33 (3,91-4,82) | 4,53 (3,98-5,40) | 3,29 (3,02-3,94)‡ | 3,46 (3,14-4,07)†‡ |

GS, grupo sadio; GD, grupo dislipidêmico; GSM, grupo sadio tratado com mangaba; GDM, grupo dislipidêmico tratado com mangaba. IAD, índice de adiposidade. CA, circunferência abdominal; CT, circunferência torácica, CC, comprimento corporal; IMC, índice de massa corporal; ILee, índice de Lee; Peso TA = peso do tecido adiposo. † Diferença significativa em relação ao grupo GS; ‡ diferença significativa em relação ao grupo GSM; § diferença significativa em relação ao grupo GD. Os valores são medianos com os percentis 25 - 75 (teste de Kruskal-Wallis e teste post hoc de Tukey, P <0,05). N=8 por grupo.

A dieta dislipidêmica aumentou o peso do fígado e do tecido adiposo dos animais dos grupos dislipidêmicos GD e GDM em comparação aos grupos sadios GS e GSM (P<0,05) (Tabela 9), o que pode ter relação com o acúmulo de gordura evidenciado pelas análises histológicas que serão discutidas a seguir.

Figura 17 - Consumo dietético, lipídico, peso corporal e respectivas áreas sob a curva em ratos saudáveis e dislipidêmicos tratados com mangaba em pó.

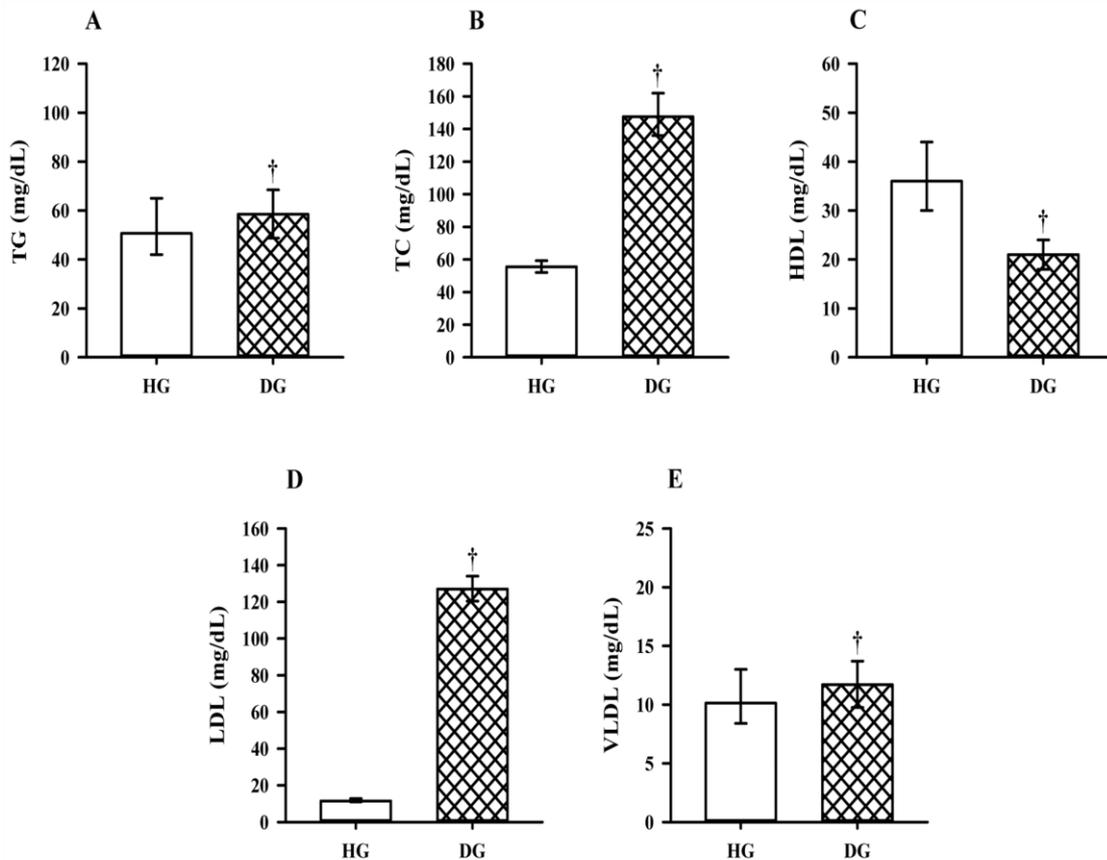


Consumo dietético (A), consumo lipídico (B), peso corporal (C) e as respectivas áreas sob a curva (D-F). GS, grupo sadio; GD, grupo dislipidêmico; GSM, grupo sadio tratado com mangaba; GDM, grupo dislipidêmico tratado com mangaba. † Diferença significativa em relação ao grupo GS; ‡ diferença significativa em relação ao grupo GSM; § diferença significativa em relação ao grupo GD. Os valores são medianos com os percentis 25 - 75 (teste de Kruskal-Wallis e teste post hoc de Tukey, $P < 0,05$). $N=8$ por grupo.

6.4.2 Efeito da mangaba em pó sobre parâmetros lipídicos, índices relacionados à saúde cardiovascular e aminotransferases

Ao final da terceira semana do período de pré-tratamento, o grupo GD apresentou menores níveis sanguíneos de HDL e aumento nos níveis de TG, CT e LDL, em relação ao grupo GS ($P < 0,05$) (Figura 18), confirmando que a dieta dislipidêmica ofertada foi eficaz na indução de dislipidemia nos ratos.

Figura 18 - Perfil lipídico para diagnosticar a indução de dislipidemia.



GS, grupo sadio; GD, grupo dislipidêmico. † Diferença significativa em relação ao grupo GS; ‡ diferença significativa em relação ao grupo GSM; § diferença significativa em relação ao grupo GD. Os valores são medianos com os percentis 25 - 75 (teste U de Mann-Whitney, $P < 0,05$). N=16 por grupo.

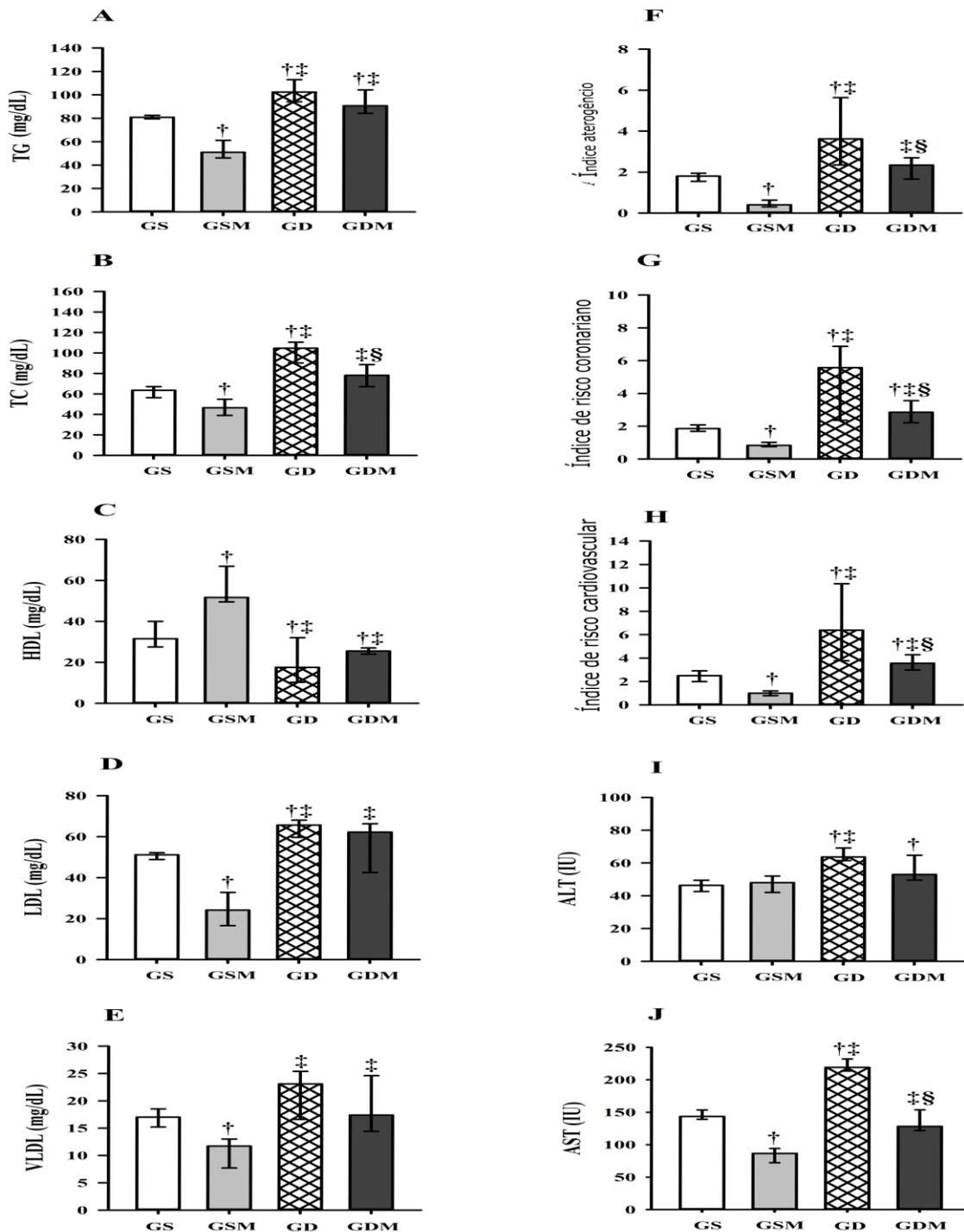
O tratamento com a mangaba em pó reduziu os níveis de CT (Figura 19-B) dos grupos GSM e GDM, bem como os níveis de TG (Figura 19-A), LDL (Figura 19-D), VLDL (Figura 19-E) do grupo GSM ao final do período de tratamento ($P < 0,05$), além de aumentar os níveis de HDL nestes animais (Figura 19-C). Estes resultados refletiram os menores índices de riscos relacionados à saúde cardiovascular nos ratos tratados com mangaba em pó (GS e GDM) e em conjunto, evidenciam o efeito hipolipemiante deste produto.

O peso do fígado teve correlação positiva com níveis séricos de TG ($p = 0,72$; $P < 0,001$), CT ($p = 0,67$; $P < 0,001$), LDL ($p = 0,53$; $P < 0,01$) e correlação negativa com o HDL sérico ($p = -0,57$; $P < 0,01$) (apêndice B), indicando em parte comprometimento desse órgão no metabolismo lipídico. Maiores níveis de lipídios circulantes favorecem o acúmulo de gordura hepática e a lipogênese abdominal, sendo o contrário verdadeiro nesta via bidirecional. Dessa forma, os lipídios dietéticos influenciam a função do fígado como regulador central da homeostase lipídica (ISPEN; LYKKESFELDDT; TVDEN-NYBORG, 2018).

O HDL apresentou correlação negativa significativa com o IA ($p = -0,91$), CRI ($p = -0,91$) e CRVI ($p = -0,97$) ($P < 0,001$) (apêndice B), denotando que maiores níveis de HDL atuam de forma benéfica na saúde cardiovascular. O aumento dos níveis de HDL circulante é crucial para evitar o desenvolvimento de aterosclerose, pois essa lipoproteína é responsável por fazer o transporte reverso do colesterol para o fígado evitando que sejam formadas placas de ateroma (SHRESTHA et al., 2019).

O efeito hipolipemiante da mangaba em pó possivelmente está relacionado a sua composição de compostos bioativos, especialmente as FDA e os compostos fenólicos.

Figura 19 - Perfil lipídico final, índices de risco cardiovascular e transaminases após o período de tratamento com mangaba em pó.



GS, grupo sadio; GD, grupo dislipidêmico; GSM, grupo sadio tratado com mangaba; GDM, grupo dislipidêmico tratado com mangaba. IU, unidade internacional; TG, triglicerídeos; CT, colesterol total
 † Diferença significativa em relação ao grupo GS; ‡ diferença significativa em relação ao grupo GSM; § diferença significativa em relação ao grupo GD. Os valores são medianos com os percentis 25 - 75 (teste de Kruskal-Wallis e teste post hoc de Tukey, $P < 0,05$). $N = 8$ por grupo.

As FDA, sejam as solúveis ou as insolúveis, sequestram o colesterol, aumentam a excreção fecal de lipídios e de ácidos biliares que contribuem com a redução da absorção hepática de colesterol e produção de novos ácidos biliares a partir do colesterol endógeno, o que atenua processos ateroscleróticos e diminui o risco de doenças cardíacas (SOLIMAN, 2019). Adicionalmente, existem evidências de que os oligossacarídeos, kestose e a rafinose, quantificadas pela primeira vez na mangaba, servem como substratos de bactérias benéficas à microbiota intestinal e podem contribuir também para a redução dos níveis de CT, TG e fosfolipídios (CONTENSINI et al., 2013; WENFENG et al., 2016).

Dentre os compostos fenólicos majoritários da mangaba em pó, o ácido clorogênico é capaz de promover melhora do perfil lipídico com mecanismo semelhante às estatinas, por inibirem a 3-hidroxi-3-metil-glutaril CoA redutase (HMGCoAr), enzima passo limitante na síntese do colesterol endógeno, diminuindo os níveis de colesterol no sangue (KLAFKE et al., 2010; SOLIMAN, 2019). Já as procianidinas B1 e B2, também quantificadas na mangaba em pó, estão associadas à redução do LDL sérico, possivelmente pelo mecanismo de promoverem a vasodilatação a partir da liberação do óxido nítrico - potente vasodilatador do endotélio - reduzindo agregação plaquetária, evitando oxidação lipídica e limitando o fluxo de lipoproteínas aterogênicas na parede arterial (FERNÁNDEZ-LARREA et al., 2007).

Além disso, o efeito sinérgico entre os nutrientes e/ou compostos bioativos contidos em frutas cítricas contribuem para o controle do metabolismo lipídico (ZOU et al., 2016). Estudo *in vivo* constatou que o ácido ascórbico em associação aos flavonoides melhoraram a função endotelial dos vasos coronarianos e periféricos

mediante a inibição de absorção de colesterol e ácidos biliares e aumento do catabolismo do colesterol no fígado (MIR et al., 2019).

O tratamento com a mangaba em pó reduziu os valores de AST no grupo GDM ($P < 0,05$), mas não houve redução significativa de ALT nesse grupo comparando-o com o GD ($P > 0,05$) (Figura 19I-J). Contudo, ambas as aminotransferases apresentaram correlação positiva significativa ($P < 0,01$) com o IA (ALT: $p = 0,69$; AST: $p = 0,68$), IRC (ALT: $p = 0,65$; AST: $p = 0,69$) e IRCV (ALT: $p = 0,67$; AST: $p = 0,62$) (apêndice B), mostrando que maiores níveis de ALT e AST influenciam negativamente à saúde cardiovascular. Outrossim, as enzimas ALT e AST são sinalizadoras de doenças ou lesão em tecido hepático, e são comumente observadas em pacientes com DHGNA em que suas atividades estão aumentadas em até quatro vezes o limite superior da normalidade (PAULINO et al., 2019).

6.4.3 Triglicerídeos, colesterol total e ácidos biliares totais em fezes e fígado

O conteúdo de gordura no fígado reflete o equilíbrio entre várias vias metabólicas envolvidas na síntese e eliminação dos triglicerídeos, como a lipólise no tecido adiposo, lipogênese, esterificação de triglicerídeos, oxidação de ácidos graxos e a síntese/secreção de lipoproteínas no tecido hepático (FERRAMOSCA; ZARA, 2014). A mangaba em pó aumentou a excreção fecal de TG e reduziu os níveis hepáticos de TG em relação ao GD ($P < 0,05$) (Tabela 10).

Interessantemente, que o peso corporal dos animais teve correlação negativa significativa com o TG fecal ($p = - 0,75$; $P < 0,05$) e correlação positiva com TG hepático ($p = 0,77$; $P < 0,01$), o que pode indicar que uma menor excreção fecal de TG influencia o ganho de peso corporal e este último ocasiona acúmulo de TG no fígado (apêndice B).

O tratamento com a mangaba em pó não influenciou a excreção fecal de colesterol total (CT) nos grupos tratados (GSM e GDM) quando comparados com seus respectivos grupos controles ($P>0,05$); no entanto, reduziu o CT hepático no grupo GDM ($P<0,05$), o que está em consonância com os resultados do perfil lipídico e pode indicar menor progressão para doenças cardiovasculares. De fato, o que poderia explicar esses achados são os teores de FDA na mangaba em pó, especialmente as solúveis, uma vez que quando fermentadas na microbiota intestinal produzem ácidos graxos de cadeia curta (AGCC) - ácido acético, propiônico, butírico - os quais tem papel importante no metabolismo lipídico. O ácido propiônico por exemplo, é reponsável por inibir a síntese endógena de colesterol pelo fígado, diminuindo a atividade da enzima 3-hidroxi-3-metil-glutaril CoA redutase (HMGC_oAr).

Os grupos GSM e GDM exibiram elevada produção de ácidos biliares totais (ABT) no fígado em relação aos seus respectivos controles ($P<0,05$), mas não houve aumento da excreção fecal de ácidos biliares totais (ABT) nesses grupos ($P>0,05$). A importância do equilíbrio da síntese e excreção dos sais biliares evita tanto deficiências funcionais, quanto o acúmulo tóxico no organismo (GONZÁLEZ-PEÑA et al., 2017) que irá depender da capacidade dos animais em converterem o colesterol em ácidos biliares (CHARACH et al., 2020). O aumento da concentração de ácidos biliares no fígado ocasiona a colestase que é um processo fisiopatológico complexo no qual a drenagem biliar é deficiente ocorrendo lesão hepática (WOOLBRIGHT; JAESCHKE, 2016). Bioativos administrados de forma isolada - vitamina C e quercetina - mostraram-se com efeitos hepatoprotetores em estudos com ratos em fígado colestático (ZHANG; LU; LI, 2019).

Tabela 10 - Triglicerídeos, colesterol total e ácidos biliares totais em fezes e fígado de ratos saudáveis e dislipidêmicos tratados com mangaba em pó.

| Parâmetros | Grupos | | | |
|------------------------|------------------------|-------------------------|--------------------------|---------------------------|
| | GS | GSM | GD | GDM |
| Fezes (mg/100g) | | | | |
| TG | 10,69 (9,49-11,89) | 12,45 (11,80-13,10) | 9,60 (9,30-9,90)‡ | 16,33 (15,51-17,16)§ |
| CT | 3,38 (3,37-3,38) | 4,44 (4,25-4,63) | 4,84 (4,73-4,95)† | 4,62 (3,37-4,62) |
| ABT | 3,81 (3,75-3,86) | 3,22 (2,96-3,48) | 2,91 (2,85-2,98)† | 2,89 (2,85-3,39) |
| Fígado (mg/g) | | | | |
| TG | 65,70 (59,07-72,35) | 65,94 (60,76-71,12) | 82,79 (78,22-87,35)†† | 65,94 (60,76-71,12)§ |
| CT | 10,91 (10,18-11,64) | 10,58 (10,11-11,07)† | 14,70 (14,53-14,87)†† | 11,72 (10,87-12,56)§ |
| ABT | 3,31 (3,04-3,84) | 5,56 (4,58-7,00)† | 2,94 (2,63-3,33)‡ | 13,26 (12,80-13,83)††§ |

GS, grupo sadio; GD, grupo dislipidêmico; GSM, grupo sadio tratado com mangaba; GDM, grupo dislipidêmico tratado com mangaba. † Diferença significativa em relação ao grupo GS; ‡ diferença significativa em relação ao grupo GSM; § diferença significativa em relação ao grupo GD. Os valores são medianos com os percentis 25 - 75 (teste de Kruskal-Wallis e teste post hoc de Tukey, P <0,05). N=8 por grupo.

Adicionalmente, os flavonoides e oligossacarídeos presentes na mangaba em pó podem ter contribuídos com os resultados supracitados. Os flavonóides incluindo a hesperidina diminuíram o colesterol sérico, por inibir a absorção de colesterol e ácidos biliares pelo intestino, aumentando o catabolismo do colesterol através do fígado em ratos dislipidêmicos (MIR et al., 2019). Como os oligossacarídeos não são fibras viscosas, o mecanismo mais provável para ação destes componentes é a produção de AGCC, particularmente o ácido propionato o qual pode alterar o metabolismo lipídico (SLAVIN, 2013).

Além desses, outros compostos fenólicos quantificados na mangaba em pó, como catequinas e quercetina 3-glicosídeo também podem ter impactado positivamente no metabolismo lipídico dos ratos dislipidêmicos. Catequinas podem atuar inibindo a absorção de lipídios no intestino, interferindo na formação de micelas, emulsificação, hidrólise, solubilização e inibição da esqualeno oxidase, que é uma enzima chave na biossíntese do colesterol hepático (TOMA et al., 2020). A quercetina 3-glicosídeo pode servir de substrato para a microbiota intestinal que por ação indireta pode atuar na redução dos níveis de lipídios aterogênicos, como o colesterol e os sinalizadores moleculares ácidos lisofosfatídicos, estando estes efeitos associados à diminuição da área de lesões ateroscleróticas (NIE et al., 2019).

6.4.4 Malondialdeído (MDA) e capacidade antioxidante total (CAT)

A dislipidemia ocasionou aumento da lipoperoxidação tanto no soro como no fígado e redução da CAT no fígado (GD vs GS). Na dislipidemia, compostos como malondialdeído (MDA) são originados pela degradação oxidativa dos lipídios ao reagir com espécies reativas (BRITO et al., 2019) e buscar compostos antioxidantes exógenos que possam fortalecer o sistema de defesa, torna-se essencial.

O tratamento com a mangaba em pó reduziu a lipoperoxidação sérica e hepática causada pela dislipidemia (GDM *versus* GD); além de aumentar a capacidade antioxidante total (CAT) sérica e hepática, seja nos ratos saudáveis (GSM vs GS) ou dislipidêmicos (GDM vs GD) ($P < 0,05$) (Tabela 11).

Tabela 11 - Peroxidação lipídica e capacidade antioxidante total no soro e fígado de ratos saudáveis e dislipidêmicos tratados com mangaba em pó.

| Parâmetros | Grupos | | | | |
|--|----------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|
| | Soro ($\mu\text{mol/L}$) | GS | GSM | GD | GDM |
| MDA | | 4,55 (4,38-5,07) | 5,12 (4,99-6,59) | 8,19 (7,48-8,71)†‡ | 5,79 (5,18-6,11)†§ |
| CAT | | 15,43 (11,84-19,02) | 21,34 (16,54-25,00)† | 18,02 (3,95-22,09) | 26,30 (19,48-28,47)† |
| Fígado ($\mu\text{mol/g}$) | | | | | |
| MDA | | 3,14 (1,44-3,66) | 2,67 (2,59-2,87) | 8,81 (6,42-9,86)†‡ | 2,77 (2,41-2,85)§ |
| CAT | | 30,38 (25,62-35,16) | 78,53 (77,48-81,76)† | 21,91 (17,13-25,70)‡ | 93,55 (89,02-94,11)†§ |

GS, grupo sadio; GD, grupo dislipidêmico; GSM, grupo sadio tratado com mangaba; GDM, grupo dislipidêmico tratado com mangaba. CAT, capacidade antioxidante total; MDA, malondialdeído. † Diferença significativa em relação ao grupo GS; ‡ diferença significativa em relação ao grupo GSM; § diferença significativa em relação ao grupo GD. Os valores são medianos com os percentis 25 - 75 (teste de Kruskal-Wallis e teste post hoc de Tukey, $P < 0,05$). $N=8$ por grupo.

Tais resultados podem estar relacionados à ação de componentes bioativos presentes na mangaba em pó, mediante reação destes com espécies reativas celulares, reduzindo a produção dos danos oxidativos e do malondialdeído, com ação contra a lesão oxidativa. Dentre estes compostos, o ácido ascórbico e os carotenoides são capazes de interagir com O_2^- (ânion radical superóxido), HOO^- (radical peridroxila) e OH^- (radical hidroxila), removendo espécies reativas de oxigênio (ERO), inibindo as reações de peroxidação lipídica (DASGUPTA; KLEIN 2014; AMITAVA; KIMBERLEY, 2014).

A capacidade antioxidante na mangaba em pó também é associada a efeitos sinérgicos dos compostos bioativos contidos em frutas cítricas (ZOU et al., 2016). Constatou-se combinação entre polifenóis e efeitos sinérgicos com vitamina C *in vivo*, e, entre flavonóides e proteínas, os quais influenciaram a eficácia do efeito antioxidante *in vitro* (AMITAVA; KIMBERLY, 2014). *In vitro*, acrescenta-se que a

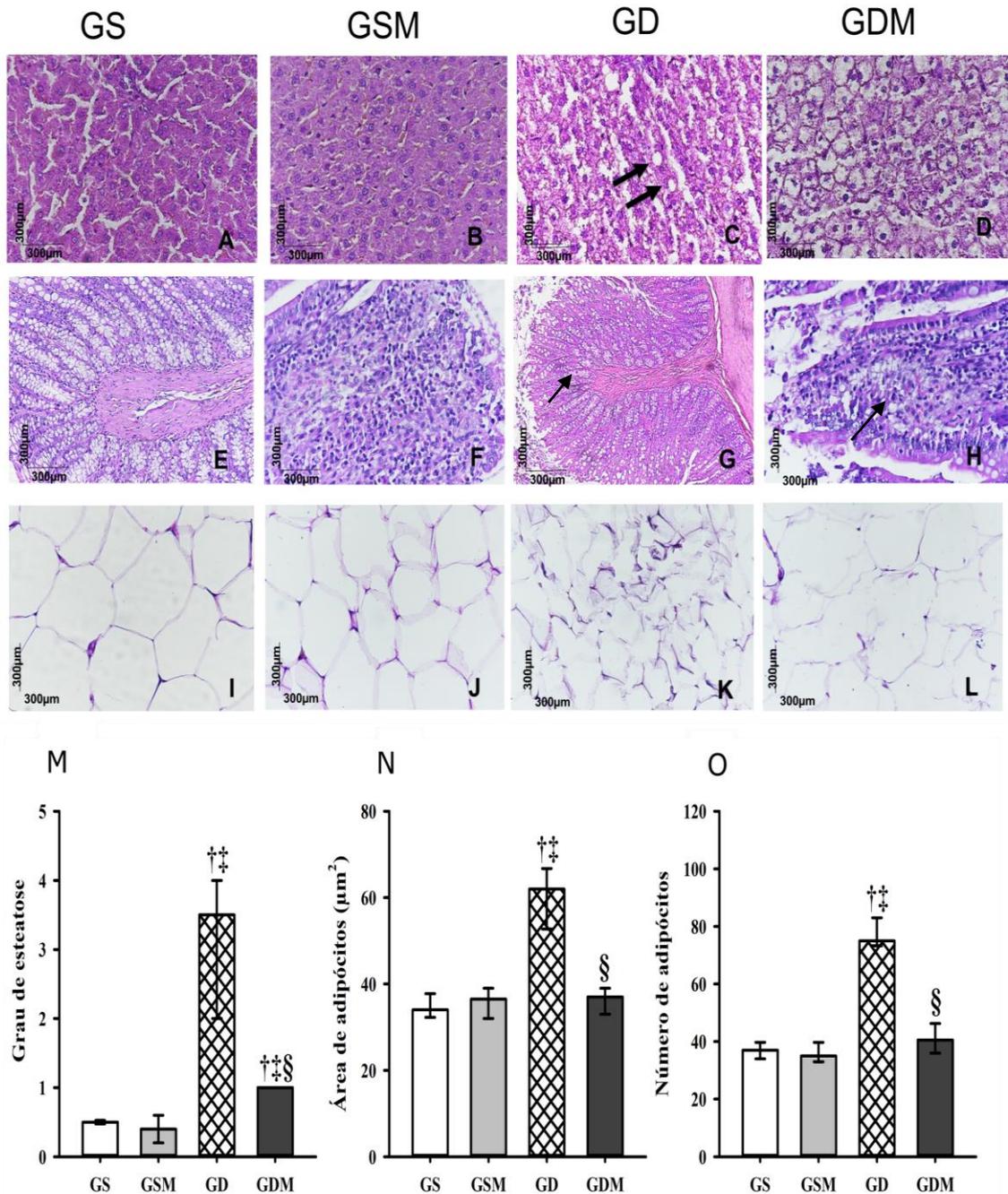
mangaba em pó apresentou uma alta atividade antioxidante (Tabela 7), sendo capaz de inibir os potenciais dos radicais DPPH e ABTS. Ademais, a atividade antioxidante dos compostos bioativos nas frutas desidratadas são superiores quando comparadas à sua composição *in natura* (FUJITA et al., 2017) e isso ocorre porque os compostos antioxidantes são concentrados após o processo de desidratação (CHANG; ALASALVAR; SHAHIDI, 2016).

Os níveis de ABT hepático tiveram correlação positiva com CAT ($p = 0,87$; $P < 0,001$) e correlação negativa com o biomarcador MDA hepático ($p = - 0,76$; $P < 0,01$) (apêndice B). Esse resultado mostra que uma elevação da CAT no fígado poderia reduzir a peroxidação de lipídios hepáticos ($p = - 0,59$; $P < 0,05$) e controladamente aumentar a produção de ABT no órgão (RAMACHANDRAN; HARTMUT, 2018).

6.4.5 Efeitos do tratamento com mangaba em pó sobre a histologia e morfometria do fígado, intestino e tecido adiposo

A histologia hepática dos animais dos grupos GS (Figura 20-A) e GSM (Figura 20-B) apresentou forma padrão, com hepatócitos organizados em cordões sem alterações sinusoidais. Já os animais dos grupos GD (Figura 20-C) e GDM (Figura 20-D) apresentaram hepatócitos com citoplasma claro e núcleos periféricos, compatíveis com esteatose hepática (seta preta), que variou em grau entre os grupos $GD > GDM$ (Figura 20-M).

Figura 20 - Análise histológica e morfometria do fígado, intestino e tecido adiposo de ratos saudáveis e dislipidêmicos após o período de tratamento.



A, grupo GS (fígado); B, grupo GD (fígado); C, grupo GSM; D, grupo GDM (fígado); E, grupo GS (intestino); F, grupo GD (intestino); G, grupo GSM (intestino); H, grupo GDM (intestino); I, grupo GS (tecido adiposo); J, grupo GD (tecido adiposo); K, grupo GSM (tecido adiposo); L, grupo GDM (tecido adiposo). Grau de esteatose (M); Gráfico área de adipócitos (N); Gráfico número de adipócitos (O). † Diferença significativa em relação ao grupo GS; ‡ diferença significativa em relação ao grupo GSM; § diferença significativa em relação ao grupo GD.

O cólon dos animais dos grupos GS (Figura 20-E) e GSM (Figura 20-F) apresentou histologia padrão, caracterizada por epitélio repleto de enterócitos com células caliciformes em grande quantidade. Contudo, os animais dos grupos GD (Figura 20-G) e GDM (Figura 20-H) mostraram um processo inflamatório na lâmina própria do órgão com riqueza de células mononucleares, como macrófagos e linfócitos (seta preta). Os resultados denotam que a mangaba em pó foi capaz de atenuar a esteatose hepática causada pela dieta dislipidêmica induzida em ratos, no entanto, não foi possível reverter o processo inflamatório no cólon.

O maior grau de esteatose hepática foi diretamente associado ao acúmulo de colesterol hepático ($p = 0,85$; $P < 0,001$), aumento do MDA no fígado ($p = 0,65$; $P < 0,01$) e menor excreção fecal de ABT ($p = -0,58$; $P < 0,05$). Ainda, a esteatose hepática foi correlacionada positivamente com os níveis séricos de ALT ($p = 0,73$; $P < 0,001$), AST ($p = 0,77$; $P < 0,001$), TG ($p = 0,77$; $P < 0,001$), CT ($p = 0,77$; $P < 0,001$), LDL ($p = 0,67$; $P < 0,001$), VLDL ($p = 0,62$; $P < 0,05$) e MDA ($p = 0,57$; $P < 0,05$); e negativamente com o HDL sérico ($p = -0,65$; $P < 0,001$) (apêndice B).

As análises histológicas (Figura 20I-L) e morfométricas (Figura 20N-O) do tecido adiposo revelaram que a dieta dislipidêmica aumentou a área e número de adipócitos no GD, mas houve redução significativa desses parâmetros nos animais dislipidêmicos tratados com a mangaba em pó ($P > 0,05$), inclusive com parâmetros semelhantes aos ratos sadios GS e GSM. O consumo de compostos fenólicos também foi associado à redução do número e área de adipócitos em ratos induzidos a obesidade com dieta rica em gordura, o que pode estar relacionado à redução da atividade da enzima ácido graxo sintase (FASN) – principal enzima na biossíntese de ácidos graxos – a qual pode explicar também os baixos níveis de CT e LDL em GDM e GSM, indicando o potencial mecanismo de efeito aterogênico

(OTHMAN et al., 2019). Destaca-se ainda que os níveis de vitamina C presentes na mangaba em pó podem favorecer esses resultados. Em tratamento com camundongos, a vitamina C administrada de forma isolada, portanto em dosagem maior, foi capaz de reduzir significativamente o tamanho de adipócitos contribuindo com inibição da lipogênese (PARK et al., 2018).

Como limitações do presente estudo, observa-se que outras doses do produto poderiam ter sido administradas com a finalidade de estabelecer uma curva dose-resposta. No entanto, o consumo regular de mangaba em pó, seja por ratos saudáveis (GSM) ou dislipidêmicos (GDM), foi capaz de melhorar parâmetros somáticos e do metabolismo lipídico, bem como a saúde hepática e parâmetros oxidativos em ratos, evidenciando a necessidade de que estudos translacionais com a população saudável ou com dislipidemia, sejam realizados a partir da quantidade do produto administrada aos ratos, que equivale a 3,89 g para um indivíduo de 60 kg (NAIR; JACOB, 2016). Os resultados podem subsidiar a exploração deste fruta, incentivando o desenvolvimento de uma cadeia produtiva voltada para a indústria de alimentos e suplementos.

7 CONCLUSÕES

- As amostras da mangaba em pó resultaram em produtos com boas qualidades nos aspectos físico-químicos, bioativos e tecnológicos;
- Apesar de perdas de compostos bioativos e grau de diminuição da atividade antioxidante, foi possível produzir mangaba em pó sendo fontes de compostos fenólicos e excelentes fontes de ácido ascórbico. Excepcionalmente, o pó M10 se classificou como fonte de FDA além de possuir maiores concentrações de compostos fenólicos - ácido clorogênico, procianidinas B1 e B2 e quercetina - e do oligossacarídeo rafinose. Devido a isso, seria uma formulação mais desejável a ser aplicada em testes com produtos alimentícios, uma vez que irá incorporar um alto valor agregado;
- No estudo *in vivo* a mangaba em pó apresentou efeito hipolipemiante, diminuindo os riscos de doenças cardiovasculares, além de promover a saúde hepática em ratos dislipidêmicos, o que foi demonstrado pela minimização da peroxidação lipídica, redução dos níveis de ALT e do grau de esteatose hepática;
- O tratamento com a mangaba em pó aumentou a capacidade antioxidante total ao nível sistêmico e hepático. Os efeitos benéficos possivelmente estão relacionados aos compostos bioativos presentes no produto, que podem ter agido de maneira aditiva e sinérgica. Todavia, estudos futuros para avaliar os mecanismos fisiopatológicos envolvidos nestas ações ainda são necessários.

REFERÊNCIAS

AGUDELO, C.; BARROS, L.; SANTOS-BUELGA, C.; MARTÍNEZ-NAVARRETE, N.; FERREIRA, I. C. F. R. Phytochemical content and antioxidant activity of grapefruit (Star Ruby): A comparison between fresh freeze-dried fruits and different powder formulations. **LWT - Food Science and Technology**, v. 80, p. 106- 112, 2017.

AKOGLU, H. User's guide to correlation coefficients. **Turkish Journal of Emergency Medicine**, v.18, n.3, p.91-93, 2018.

ALASALVAR, C.; SHAHIDI, F. Nutritional composition, phytochemicals, and health benefits of dates. **Dried fruits: Phytochemicals and health effects**. Oxford: Wiley-Blackwell p.428-443, 2013.

ALLADI, S.; KHADA, A.; SHANMUGAN, M. Induction of hypercholesterolemia by simple soil protein with acetate generating amino acid. **Nutrition Reports International**, v.40, p.893–894, 1989.

ALMEIDA, M. M. B. DE SOUSA, P. H. M.; FONSECA, M. L.; MAGALHÃES, C. G.C.; LOPES, M. DF. G.; LEMOS, T. L. G. Avaliação de macro e micronutrientes em frutas tropicais cultivadas no nordeste brasileiro. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.29, n.3, p. 581-586, 2009.

ALMEIDA, M. M. B. DE SOUSA, P. H. M.; FONSECA, M. L.; MAGALHÃES, C. G.C.; LOPES, M. DF. G.; LEMOS, T. L. G. Avaliação de macro e micronutrientes em frutas tropicais cultivadas no nordeste brasileiro. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.29, n.3, p. 581-586, 2009.

ALVES, M. J.; FERREIRA, I. C. F. R.; FROUFE, H. J. C.; ABREU, R. M. V.; MARTINS, A.; PINTADO, M. Antimicrobial activity of phenolic compounds identified in wild mushrooms, SAR analysis and docking studies. **Journal of Applied Microbiology**, v. 115, n. 2, p. 346–357, 2013.

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

AOAC. Association of Official Analytical Chemistry. **Official Methods of Analysis of AOAC International**. 20 th ed. Gaithersburg, 2016.

ARAÚJO, C. R. R.; ESTEVES, A. E.; DESSIMONI-PINTO, N. A. V.; G. BATISTA, A. G. Myrciaria cauliflora Peel Flour Had a Hypolipidemic Effect in Rats Fed a Moderately High-Fat Diet. **Journal of Medical Food**, v.17, n.2, p.262–267, 2014.

AQUINO, J. S.; BATISTA, K. S.; DUARTE, F. N. D.; LINS, P. P.; GOMES, J. A. S.; SILVA, L. A. Models to evaluate the prebiotic potential of foods. In: Chavarri M Functional food-improve health through adequate food. **In tech, Rijeka**, p. 235–256, 2017.

ASHEN, M.D.; BLUMENTHAL, R.S. Clinical practice. Low HDL cholesterol levels. **New England Journal of Medicine**, v.353, p. 1252–1260, 2005.

AWUCHI, C.G.; VICTORY, I.S.; ECHETA, C. K. The functional properties of foods and flours. **International Journal of Advanced Academic Research. Sciences, Technology and Engineering**, v.5, p.139-160, 2019.

AZEVÊDO, J.; FUJITA, A.; OLIVIERA, E.; GENOVESE, M.; CORREIA, R. T. P. Dried camu-camu (*Myrciaria dubia* H.B.K.Mc Vaugh) industrial residue. A bioactive-rich Amazonian powder with functional attributes. **Food Resesearch International**, v.62, p. 934-940, 2014.

BATISTA, A. G.; LENQUISTE, S. A.; MOLDENHAUER, C.; GODOY, J. T.; REIS, S. M. P. M.; MARÓSTICA JÚNIOR, M. R. Jaboticaba (*Myrciaria jaboticaba* (Vell.) Berg.) peel improved triglycerides excretion and hepatic lipid peroxidation in high-fat-fed rats. **Revista de Nutrição**, v. 26, n. 5, p. 571-581, 2013.

BATISTA, K. S.; ALVES, A. F.; LIMA, M. D. S.; DA SILVA, L. A.; LINS, P. P.; DE SOUSA GOMES, J. A.; SILVA, A. S.; TOSCANO, L. T.; DE ALBUQUERQUE MEIRELES, B. R. L.; DE MAGALHÃES CORDEIRO, A. M. T.; DA CONCEIÇÃO, M. L.; SOUZA, E. L.; AQUINO, J. S. Beneficial effects of consumption of acerola, cashew or guava processing by-products on intestinal health and lipid metabolism in

dyslipidaemic female Wistar rats. **British Journal of Nutrition**, n.119, p. 30–41, 2018.

BEZERRA, M. L. R.; SOUZA, E. L.; SOUSA, J. M. B. DE.; LIMA, M. S.; ALVES, A. F.; ALMEIDA, M. DAS G.; COUTINHO ALVES, R. C.; ARAUJO, E. V. DE.; SOARES, N. L.; SILVA, G. DE A.; MAGNANI, M.; AQUINO, J. S. Effects of honey from *Mimosa quadrivalvis* L. (malícia) produced by the *Melipona subnitida* D. (jandaíra) stingless bee on lipid metabolism, antioxidant status and intestinal health of dyslipidaemic rats. **Food & Function**, v. 9, n.8, p. 4480-4492, 2018.

BERNARDIS, L.L.; PATTERSON, B.D. Correlation between 'Lee index' and carcass fat content in weanling and adult female rats with hypothalamic lesions. **Journal of Endocrinology**, 1968, v.40, n.4, 527-528, 1968.

BORGGREVE, S. E.; VRIES, R. DE.; DULLART, R. P. F. Alterations in high-density lipoprotein metabolism and reverse cholesterol transport in insulin resistance and type 2 diabetes mellitus: role of lipolytic enzymes, lecithin: cholesterol acyltransferase and lipid transfer proteins. **European Journal of Clinical Investigation**, v. 33, n.12, p. 1051-1069, 2003

BORGES, K.C.; AZEVEDO, J. CHRIS.; MEDEIROS, M.de F.; CORREIA, R.T.P. Physicochemical characterization and bioactive value of tropical berry pomaces after spoouted bed drying. **Journal of Food Quality**, v.39, p.192-200, 2016.

BOTREL, D. A.; BORGES, S. V.; FERNANDES, R. V. DE BB.; DO CARMO, E. L. et al., 2014. Optimization of Fish Oil Spray Drying Using a Protein: Inulin System. **Journal Drying Techonolgy: An International Journal**, v.32, n.3, p.279-290, 2014.

BRAND-WILLIAMS, W.; CUVELIER, M. E.; BERSET, C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. **LWT-Food Science and Techonogy**, v.28, n. 1, p. 25-30, 1995.

BRITO, K. A.; LIMA, D. G.; FARIAS, M. L.; RODRIGUES, A. L.; CARVALHO, B. V.; PEREIRA, 854 F. C.; ... MARTINS, D. M. Lycopene-Rich Extract from Red Guava

(*Psidium guajava* L.) Decreases Plasma Triglycerides and Improves Oxidative Stress Biomarkers on Experimentally-Induced Dyslipidemia in Hamsters. **Nutrients**, v.11, n. 393, 2019.

BUCHHOLZ, A.C.; SCHOELLER, D.A. Is a calorie a calorie? **The American Journal of Clinical Nutrition**, v.79, p.899–906, 2004.

BUSSAB, W. O.; MORETTIN, P. A. **Estatística Básica**, 4ª Edição, Atual Editora: São Paulo, 1987.

ÇALISKAN, G.; ERGÜN, K.; DIRIM, N. Freeze Drying of Kiwi (*Actinidia deliciosa*) puree and the powder properties. **Italian Journal of Food Science**, v. 27, p.385-396, 2015.

CAETANO, B. F. R.; MOURA, N. A.; ALMEIDA, A. P. S.; DIAS, M. C.; SIVIERI, K.; BARBISAN, L.F. Yacon (*Smallanthus sonchifolius*) as a Food Supplement: Health-Promoting Benefits of Fructooligosaccharides. **Nutrients**, v.8, n.1-13, 2016.

CAMACHO, M.M.; IGUAL, M.; MARTÍNEZ-LAHUERTA, J.J.; MARTÍNEZ-NAVARRETE, N. Bioavailability of freeze-dried and spray-dried grapefruit juice vitamin C. **International Drying Symposium**, p.11-14, 2018.

CANO-CHAUCA, M.; STRINGHETA, P.C.; RAMOS, A.M.; CAL-VIDAL, J. Effect the carries on the microstructure of mango poder spray drying and its functional characterization. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v.6, n.4, p.420-428, 2005.

CANUTO, H. M. P.; AFONSO, M. R. A.; COSTA, J. M. C. Hygroscopic behavior of freeze-dried papaya pulp powder with maltodextrina. **Acta Scientiarum Technology**, v. 36, n.1, p. 179-185, 2014.

CAPARINO, O.; TANG, J.; NINDO, C.; SABLANI, S.; POWERS, J.; FELLMAN, J. Effect of drying 657 methods on the physical properties and microstructures of

mango (Philippine 'Carabao 'var.) powder. **Journal of Food Engineering**, v.111, n.1, p.135–148, 2012.

CARDOSO, L.M.; REIS, B. L.; OLIVEIRA, D.S.; PINHEIRO SANT'ANA, H. M. Mangaba (*Hancornia speciosa* Gomes) from the Brazilian Cerrado: nutritional value, carotenoids and antioxidant vitamins. **Fruit**, v. 69, p.89-99, 2014.

CEBALLOS, A, M.; GIRALDO, G. I.; ORREGO, C. E. Effect of freezing rate on quality parameters of freeze dried soursop fruit pulp. **Journal of Food Engineering**. v. 111, p. 360–365, 2012.

CERQUEIRA, F. M.; MEDEIROS, M. H. G.; AUGUSTO, O. Antioxidantes dietéticos: controvérsias e perspectivas. **Química Nova**, São Paulo, v. 30, n. 2, p. 441-449, 2007.

CHANG. S. K.; ALASALVAR, C.; SHAHIDI, F. Review of dried fruits: Phytochemicals, antioxidant efficacies, and health benefits. **Journal of functional foods**, v, 21, p. 113-132, 2016.

CHARACH, G.; RABINOVICH, A.; ARGOV, O.; WEINTRAUB, M.; RABINOVICH, P. The Role of Bile Acid Excretion in Atherosclerotic Coronary Artery Disease. **International Journal of Vascular Medicine**, p. 1-3, 2012.

CHEN, X.; LV, Q.; LIU, Y.; DENG, W. Effects of the food additive, citric acid, on kidney cells of mice. **Biotechnic and Histochemistry**, v.90, n.1, p.38-44, 2015.

CHUSAK, C.; CHANBUNYAWAT, P.; CHUMNUMDUANG, P.; CHANTARASINLAPIN, P.; SUANTAWEE, T.; ADISAKWATTANA, S. Effect of gac fruit (*Momordica cochinchinensis*) powder on in vitro starch digestibility, nutritional quality, textural and sensory characteristics of pasta. **LWT - Food Science and Technology**, v. 118:108856, 2020.

CLERICI, M. T. P. S.; CARVALHO-SILVA, L. B. Nutritional bioactive compounds and technological aspects of minor fruits grown in Brazil. **Food Research International**, v.44, n.7, p.1658–1670, 2011.

COELHO, E.M.; PADILHA, C. V.S.; MISKINIS, G.A.; SÁ, A. G. B.; PEREIRA, G.E.; AZEVÉDO, L.C.; LIMA, M.S. Simultaneous analysis of sugars and organic acids in wine and grape juices by HPLC: Method validation and characterization of products from northeast Brazil. **Journal of Food Composition and Analysis**, v.66, p.160-167, 2018.

CONTESINI, F. J.; DE ALENCAR FIGUEIRA, J.; KAWAGUTI, H.Y.; DE BARROS FERNANDES, P.C.; DE OLIVEIRA CARVALHO, P.; DA GRAÇA NASCIMENTO, M.; SATO, H.H. Potential Applications of Carbohydrases Immobilization in the Food Industry. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 14, p. 1335-1369, 2013.

CORALINA, C. Vintém de cobre: meias confissões de Aninha. 6ª ed. São Paulo: Global, 1997.

COZZOLINO, S. M. F. **Biodisponibilidade de nutrientes**. 2ª ed. São Paulo: Manole, 2007. 992 p.

DASGUPTA, A.; KLEIN, I. K. Antioxidants in Food, Vitamins and Supplements. In book. p.277-294, 2014.

DIAS, T. R.; ALVES, M. G.; CASAL, S.; OLIVEIRA, P. F.; SILVA, B, M. Promising Potential of Dietary (Poly) Phenolic Compounds in the Prevention and Treatment of Diabetes Mellitus. **Current Medicinal Chemistry**, v. 24, p. 334-354, 2017.

DONNELLY, K. L.; SMITH, C. I.; SCHWARZENBERG, S. J.; JESSURUN, J.; BOLDT, M.D.; PARKS, E. J. Sources of fatty acids stored in liver and secreted via lipoproteins in patients with nonalcoholic fatty liver disease. **Journal of Clinical Investigation**, v. 115, n.5, p. 1343-1351, 2005.

DUTRA, M. DA C. P.; RODRIGUES, L.L.; OLIVEIRA, D. DE.; PEREIRA, G. E.; LIMA, M. S. Integrated analyses of phenolic compounds and minerals of Brazilian organic and conventional grape juices and wines: Validation of a method for determination of Cu, Fe and Mn. **Food Chemistry**, v.269, p.157-165, 2018.

DULLAART, R. P.; GROENER, J. E.; WIJK, H. V.; SLUITER, W. J.; ERKELENS, D. W. Alimentary lipemia-induced redistribution of cholesteryl ester between lipoproteins. Studies in normolipidemic, combined hyperlipidemic, and hypercholesterolemic men. **Arteriosclerosis**, v. 9, n. 5, p. 614–622, 1989.

EGAS-ASTUDILLO, L. A. E.; MARÍNEZ-NAVARRETE, N.; CAMACHO, M. M. Impact of biopolymers added to a grapefruit puree and freeze-drying shelf temperature on process time reduction and product quality. **Food and Bioprocess Processing**, n.120, p.143-150, 2020.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Mapa de Ocorrência de Mangabeira no Brasil. 2009. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/mangaba/arvore>. Acesso em 15 de fevereiro de 2019.

FALUDI, A. A. et al. Atualização da Diretriz Brasileira de Dislipidemias e Prevenção da Aterosclerose. **Arquivos Brasileiros de Cardiologia**, v. 109, n. 2, p. 1-76, 2017.

FANG, Z; BHANDARI, B. Comparing the efficiency of protein and maltodextrin on spray drying of bayberry juice. **Food Research International**, v.48, p.478–483, 2012.

FANTINI, A. P.; CANNIATTI-BRAZACA, S. G.; SOUZA, M. C.; MANSI, D. N. Disponibilidade de ferro em misturas de alimentos com adição de alimentos com alto teor de vitamina C e de cisteína. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 28, p. 435-439, abr./jun. 2008.

FAZAELI, M.; EMAM-DJOMEH, Z.; ASHTARI, A.; OMID, M. Effect of spray drying conditions and feed composition on the physical properties of black mulberry juice powder. **Food and Bioproducts Processing**, v.90, p. 667–675, 2012.

FDA. Hazard Analysis and Risk-Based Preventive Controls for Human Food: Guidance for Industry. 2016
<https://www.fda.gov/downloads/Food/GuidanceRegulation>

FEINGOLD, K. R.; GRUNFELD, C. Introduction to Lipids and Lipoproteins. **Endotext; MDText.com**, Inc., 2000.

FERREIRA, H. C.; SERRA C. P.; LEMOS, V. S.; BRAGA, F. C.; CORTES, S. F. et al. Nitric oxide-dependent vasodilatation by ethanolic extract of *Hancornia speciosa* via phosphatidyl-inositol 3-kinase. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 109, n.3, p.161-164, 2007.

FERNÁNDEZ-GARCÍA, E.; CARVAJAL-LÉRIDA, I.; JARÉN-GALÁN, M.; GARRIDO-FERNÁNDEZ, J.; PÉREZ-GÁLVEZ, A.; HORNERO-MÉNDEZ, D. Carotenoids bioavailability from foods: From plant pigments to efficient biological activities. **Food Research International**, v.46, p. 438–450, 2012.

FERNÁNDEZ-LARREA, J.; PINENT, M.; BLADÉ, M.C; SALVADÓ, M.J.; BLAY, M.; PUJADAS, G.; ARDÉVOL, A.; AROLA, L. Alimentos ricos en procianidinas, alimentación funcional para prevenir la aparición de síndrome metabólico. **Revista Española de Obesidad**, v.2, p. 98-108, 2007.

FERRAMOSCA, A.; ZARA, V. Modulation of hepatic steatosis by dietary fatty acids. **World Journal of Gastroenterology**, v. 20, n. 7, p. 1746-55, 2014.

FINKEL, T.; HOLBROOK, N. J. Oxidants, oxidative stress and the biology of ageing. **Nature**, v. 408, n. 6809, p. 239-247, 2000.

FOLCH, J.; LESS, M.; STANLEY, S. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. **Journal Biological Chemistry**, v.226, n. 1, 1957.

FONGIN, S.; GRANADOS, A. E. A.; HARNKARNSUJARIT, N.; HAGURA, Y.; KAWAI, K. Effects of maltodextrin and pulp on the water sorption, glass transition, and caking properties of freeze-dried mango powder. **Journal of Food Engineering**, v. 247, p.95–103, 2019.

FRASCARELI, E. C.; SILVA, V. M.; TONON, R. V.; HUBINGER, M. D. Effect of process conditions on the microencapsulation of coffee oil by spray drying. **Food and Bioproducts Processing**, v. 90, n.3, p.413-424, 2012.

FREIRE, J. M. **Caracterização e efeitos dos extratos e farinhas de goiabas sobre o estresse oxidativo e no perfil lipídico de ratos hipercolesterolêmicos**. 2006, 141f, Tese (Doutorado em Agroquímica) – Universidade Federal de Lavras – Minas Gerais, 2011.

FREIRE, J. M.; DE ABREU, C. M. P.; DUARTE, S. M. S.; DE PAULA, F. B. A.; LIMA, A. R.; SIMÃO, A. A. Effect of *Psidium guajava* (cv. Pedro Sato) fruit and extract on the lipidemia in hypercholesterolemic rats. **Journal of Medicinal Plants Research**, v.25, p.1768-1773, 2013.

FRIEDEWALD, W.T.; LEVY, R.I.; FREDRICKSON, D.S. Estimation of the concentration of 718 low-density lipoprotein cholesterol in plasma, without use of the preparative 719 ultracentrifuge. **Clinical Chemistry**, v.18, n.6, p.499-502, 1972.

FUJITA, A.; SOUZA, V.B.; DAZA, L.D.; FÁVARO-TRINDADE, D.G.; GENOVESE M.I. Effects of spray-drying parameters on in vitro functional properties of camu-camu (*Myrciaria dubia* Mc. Vaugh): a typical amazonian fruit. **Journal of Food Science Technology**, v.85, n.5, p.1083-1091, 2017.

GALAFFU, N.; BORTLIK, K.; MICHEL, M. An industry perspective on natural food colour stability. *Colour additives for foods and beverages. Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition*, n. 279, p.91-130, 2015.

GAULT, V. A.; BHAT, V. K.; IRWIN, N.; FLATT, P. R. A novel glucagon-like peptide-1(GLP-1)/glucagon hybrid peptide with triple-acting agonist activity at glucose dependent insulinotropic polypeptide, GLP-1, and glucagon receptors and therapeutic potential in high fat-fed mice. *Journal of Biological Chemistry*, 2013, v.288, n.49, p. 35581-35591, 2013.

GEA Niro Research Laboratory. **GEA Niro analytical methods.** [*Online*] Available: <http://www.niro.com/methods>, 2017.

GOLDSTEIN, J. L.; BROWN, M. S. A Century of Cholesterol and Coronaries: From Plaques to Genes to Statins. *Cell*, v. 161, n.26, p. 161-172, 2015.

GOMES, E.D.B.; RAMALHO, S.A.; GUALBERTO, N.C. A rapid method for determination of some phenolic acids in Brazilian tropical fruits of mangaba (*Hancornia speciosa* Gomes) and umbu (*Spondias tuberosa* Arruda Camara) by UPLC. *Journal of Analytical Sciences, Methods and Instrumentation*, v.3, n.3, p.1–10, 2013.

GONG, Z.; YU, M.; WANG, W.; SHI, X. Functionality of spray-dried strawberry powder: effects of whey protein isolate and maltodextrin. *International Journal of Food Properties*, v. 21, n.1, p.2229-2238, 2018.

GONZALEZ-PENA, D.; GIMENEZ, L.; DE ANCOS, B.; SANCHEZ-MORENO, C. Role of dietary onion in modifying the faecal bile acid content in rats fed a high-cholesterol diet. *Food Functional*, v.8, n.6, p. 2184–2192, 2017.

GOULA, A. M.; ADAMOPOULOS, K. G. Effect of maltodextrin addition during *spray drying* of tomato pulp in dehumidified air: I. Drying kinetics and product recovery. *Drying Technology*, v.26, p.714–725, 2008.

GOUW, V, P.; JUNG, J.; ZHAO, Y. Functional properties, bioactive compounds, and in vitro gastrointestinal digestion study of dried fruit pomace powders as functional food ingredients. **LWT - Food Science and Technology**, v. 80:136-144, 2017.

GREENACRE, M. J. **Correspondence Analysis in Practice**. 2 edição. Chapman & Hall/CRC, 2007.

GUIMARÃES, K. S. L.; DE ARAÚJO, E. V.; AQUINO, J. S.; GADELHA, D. A.; BALARINI, C. M.; COSTA-SILVA, J. H.; MAGNANI, M.; VIDAL, H.; BRAGA, V. A.; DE BRITO ALVES, J. L. Effect of maternal dyslipidaemia on the cardiorespiratory physiology and biochemical parameters in male rat offspring. **The British Journal of Nutrition**, v.118, n.11, p. 930-941, 2017.

HALLIWELL; B.; GUTTERIDGE, J. M. C. Free radicals in biology and medicine. **Oxford: clarendon; Oxford Science**, 2007, 266p.

HAMMAMI, C; RENÉ, F. Determination of freeze-drying process variables for strawberries. **Journal of Food Engineering**, v.32, p.133-154, 1997.

HAMZA, H.; MRABET, A.; JIMÉNEZ-ARAÚJO, A. Date palm parthenocarpic fruits (Phoenix dactylifera L.) cv. DegletNour: chemical characterization, functional properties and antioxidant capacity in comparison with seeded fruits. **Scientia Horticulturae**, v. 211, n.1, p.352-357, 2016.

HARNKARNSUJARIT, N.; KAWAI, K.; WATANEBE, M.; SUZUKI, T. Effect of freezing on microstructure and rehydration properties of freeze-dried soybean curd. **Journal of Food Engineering**, v. 184, p. 10-20, 2016.

HE, X.J.; LIU, D. LIU.; R.H. Sodium borohydride/chloranil-based assay for quantifying total flavonoids. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.56, p. 9337-9344, 2008.

HOELZL. C.; KASMULLER, S.; WAGNER, K.; ELBLING, L.; HUBER, W.; KAGER, N.; FERK, F.; EHRLICH, V. Instant coffee with high chlorogenic acid levels protects

human against oxidative damage of macromolecules. **Molecular Nutrition & Food Research**, v.54, p.1-12, 2010.

HUANG, X.; TANG, J.; ZHOU, Q.; LU, H.; WU, Y.; WU, W. Polysaccharide from Fuzi (FPS) Prevents Hypercholesterolemia in Rats. **Lipids Health Dis**, p.9-9, 2010.

H Aidari, M.; Leung, N.; Mahbub, F.; Uffelman, K. D.; Kohen-Avramoglu, R.; Lewis, G. F.; Adeli. Fasting and postprandial overproduction of intestinally derived lipoproteins in an animal model of insulin resistance. **Journal of Biological Chemistry**, v.277, n.35, p. 31646-31655, 2002.

Haminiuk, C. W. I.; Maciel, G.M.; Plata-Oviedo, M. S. V.; Peralta, R. M. Phenolic compounds in fruits – an overview. **International Journal of Food Science and Technology**, p.1-21, 2012.

Heleno, S.A.; Martins, A.; Queiroz, M. J. R. P.; Ferreira, I.C.F.R. Bioactivity of phenolic acids: metabolites versus parent compound: a review. **Food Chemistry**, v.173, n.15, p. 501-513, 2015.

Hoelzl, C.; Kasmuller, S.; Wagner, K.; Elbling, L.; Huber, W.; Kager, N.; Ferik, F.; Ehrlich, V. Instant coffee with high chlorogenic acid levels protects human against oxidative damage of macromolecules. **Molecular Nutrition and Food Research**, v.54, p.1-12, 2010.

INSTITUTE OF MEDICINE. Dietary Reference Intakes: Energy, Carbohydrates, Fiber, Fat, Fatty Acids, Cholesterol, Protein and Amino Acids. **Food and nutrition board**. Washington DC.NAP, 1999-2000.

IPSEN, D. H.; LYKKESFELDT, J.; TVEDEN-NYBORG, P. Molecular mechanisms of hepatic lipid accumulation in non-alcoholic fatty liver disease. **Cellular and Molecular Life Sciences**, v.75, p.3313–3327, 2018.

Jacob, R. A.; Sotoudeh, G. Vitamin C function and status in chronic disease. **Nutrition in Clinical Care**, v.5, p.66–74, 2002.

JANISZEWSKA-TURAK E. Carotenoids microencapsulation by spray drying method and supercritical micronization. **Food Research International**, v.99, p.891–901, 2017.

JAYA, S.; DAS, H. Effect of maltodextrin, glycerol monostearate and tricalcium phosphate on vacuum dried mango powder properties. **Journal of Engineering**, v. 63, p.125-134, 2004.

JAYASUNDERA, M; ADHIKARI B; HOWES T; ALDRED, P. Surface protein coverage and its implications on spray-drying of model sugar-rich foods: solubility, powder production and characterisation. **Food Chemistry**, v.128, p.1003–1016, 2011.

KASPER, J. C.; FRIESS, W. The freezing step in lyophilisation: Physico-chemical fundamentals, freezing methods and consequences on process performance and quality attributes of biopharmaceuticals. **European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics**, v.78, p. 248-263, 2011.

KILKENNY, C.; BROWNE, W.; CUTHILL, I. C.; EMERSON, M.; ALTMAN, D.G. NC3Rs Reporting Guidelines Working Group. Animal research: reporting in vivo experiments: the ARRIVE guidelines. **British Journal of Pharmacology**, v.160, n.7, p.1577-1579, 2010.

KIM, Y K.; GUO, Q.; PACKER, L. Free radical scavenging activity of red ginseng aqueous extracts. **Toxicology**, v.172, p.149-156, 2002.

KIPS, L.; PAEPE, D.; MEULEBROEK, L. V.; POUCKE, C. V.; LARBAT, R.; BERNARET, N.; PAMEL, E. V.; LOOSE, M.; RAES, K.; DROGENBROECK, B. V. A novel spiral-filter press for tomato juice processing: Fate of phenolic compounds, carotenoids and ascorbic acid content during spiral-filter processing, thermal downstream processing and storage. **Journal of Food Engineering**, v.213, p. 27-37, 2017.

KLAFKE, J. Z.; DA SILVA, M. A.; PANIGAS, T.F.; BELLI, K.C.; DE OLIVEIRA M.F.; BARICHELLO, M.M. et al. Effects of *Campomanesia xanthocarpa* on biochemical,

hematological and oxidative stress parameters in hypercholesterolemic patients. **Journal of ethnopharmacology**, v.127, n.2, p.299-305, 2010.

KRINSKY, N. I.; JONHSON, E. J.; Carotenoid actions and their relation to health and disease. **Molecular Aspects of Medicine**, v.26, p. 459-516, 2005.

KOPIN, L.; LOWENSTEIN, C. Dyslipidemia. **Annals of Internal Medicine**, v.167, n.11, 2017.

KUNDU, J. K.; SURH, Y.J. Cancer chemo preventive effects of selected dried fruits. Dried fruits: Phytochemicals and health effects. **Oxford: Wiley-Blackwell**, p. 19-51, 2013.

LEDERMAN, I. E.; SILVA JÚNIOR, J. F da; BEZERRA, J. E. F.; ESPÍNDOLA, A. C.de M. Mangaba (*Hancornia speciosa* Gomes). **Jaboticabal (Série Frutas Nativas)**, 2000.

LENQUISTE, S. A.; LAMAS, C. DE A.; MARINELI, R. DA S.; MORAES, E. A.; BORCK, P. C.; CAMARGO, R. L.; QUITETE, V. H. A. C; CARNEIRO, E. M.; MARÓSTICA JUNIOR, M. R. Jaboticaba peel powder and jaboticaba peel aqueous extract reduces obesity, insulin resistance and hepatic fat accumulation in rats. **Food Reseach International**.v.120, p.880-887, 2019.

LEVER, E.; COLE, J.; SCOTT, S. M.; EMERY, P. W.; WHELAN, K. Systematic review: The effect of prunes on gastrointestinal function. **Alimentary Pharmacology and Therapeutics**, v.40, n.7, p.750– 758, 2014.

LICHTENTHALER, H.; BUSCHMANN, C. Chlorophylls and carotenoids: measurement and characterization by UV-VIS spectroscopy. **Current Protocols in Food Analytical Chemistry**, f.4.3.1 – f.4.3.8, 2001.

LIMA, M.S.; SILANI, I. S. V.; TOALDO, I. M.; CORRÊA, L. C.; BIASOTO, A.C.T.; PEREIRA, G.E.; BORDIGNON-LUIZ, M.T.; NINOW, J.L. Phenolic compounds, organic acids and antioxidant activity of grape juices produced from new Brazilian

varieties planted in the Northeast Region of Brazil. **Food Chemistry**, v.161, p.94-103, 2014.

LIMA, J. P.; AZEVEDO, L.; SOUZA, N. J.; NUNES, E. E.; VILAS BOAS, E. V. First evaluation of the antimutagenic effect of mangaba fruit *in vivo* and its phenolic profile identification. **Food Research International**, v.75, p.216-224, 2015.

LIMA, M. S.; NUNES, P. C.; SILVA, B. L. A.; PADILHA, C. V. S.; BONFIM, T. H. F.; STAMFORD, T. L. M.; VASCONCELOS, M. A. S.; AQUINO, J. S. Determining 1-kestose, nystose and raffinose oligosaccharides in grape juices and wines using HPLC: method validation and characterization of products from Northeast Brazil. **Journal Food Science and Technology**, v.56, n. 528, p.4575-4584 528, 2019.

LIU, R. H. Health benefits of fruit and vegetables are from additive and synergistic combinations of phytochemicals. **American Journal of Clinical Nutrition**, v.78, n.3, p. 517S–520S, 2003.

LOPEZ-QUIROGA, E.; ANTELO, L. T.; ALONSO, A. A. Time-scale modelling and optimal control of freeze-drying. **Journal of Food Engineering**, v. 111, p. 655-666, 2012.

LÓPEZ-MARCOS, M. C.; BAILINA, C.; VIUDA-MARTOS, M.; PÉREZ-ALVAREZ, J. A.; FERNÁNDEZ-LÓPEZ, J. Properties of dietary fibers from agroindustrial coproducts as source for fiber-enriched foods. **Food and Bioprocess Technology**, v.8, n.12, p.2400-2408, 2015.

LOUKA, N., ALLAF, K. New process for texturizing partially dehydrated biological products using controlled sudden decompression to the vacuum: application on potatoes. **Journal of Food Science**, v.67, n.8, p.3033-3038, 2002.

MAIA, G. A.; SOUSA, P. H. M.; LIMA, A. S. **Processamento de sucos de frutas tropicais**. Fortaleza: Edições UFC, 2007. 320 p.

MAIA, J.D.; DE ÁVILA C. R.; MEZZOMO, N.; LANZA, M. Evaluation of bioactive extracts of mangaba (*Hancornia speciosa*) using low and high pressure processes. **The Journal of Supercritical Fluids**, v. 135 p. 198–210, 2018.

MANACH, C.; SCALBERT, A.; MORAND, C.; RÉMÉSY, C.; JIMÉNEZ, L. Polyphenols: food sources and bioavailability. **The American Journal of Clinical Nutrition**, Bethesda, v.79, n.5, p.727-747, 2004.

MANELA-AZULAY, M.; MANDARIM-DE-LACERDA, C. A.; PEREZ, M. A.; FILGUEIRA, A. L.; CUZZI, T. Vitamina C. **Anais Brasileiros de Dermatologia**, Rio de Janeiro, v. 78, n. 3, p. 265-274, maio/jun. 2003.

MARINHO, D. G.; ALIVIANO, D. S.; MATHEUS, M. E.; ALIVIANO, C.S.; FERNANDO P. D. The látex obtained from *Hancornia speciosa* Gomes possesses anti-inflammatory activity. **Journal of ethonopharmacology**, v.135, n.2, p.530-537, 2011.

MARQUES, L. G.; SILVEIRA, A. M.; FREIRE, J. T. Freeze-drying characteristics of tropical fruits. **Dry Technology**, v. 24, p. 457-63, 2006.

McEVOY, G. AHFS Drug Information. **American Society of Health-System Pharmacists**, Bethesda, 2011.

MCILHARGEY, T. L.; YANG, Y.; WONG, J.S. Hill, Identification of a lipoprotein lipase cofactor-binding site by chemical cross-linking and transfer of apolipoprotein C-II responsive lipolysis from lipoprotein lipase to hepatic lipase. **Journal of Biological Chemistry**, v.278, n.25, p.23027-23035, 2003.

MIR, H.; KROUF, D.; TALEB-DIDA, N.; BERZOU, S.; GUENZET, A.; KHELLADI, H. Effects of citrus latifolia extract on dyslipidemia and tissues redox status in rats fed a high-cholesterol diet. **Nutrition & Food Science**, v.49, p.989-999, 2019.

MORAES, T. M.; RODRIGUES, C. M.; KUSHIMA, H.; BARAB, T. M.; VILLEGAS, W.; PELLIZZON, C. H.; BRITO, A. R.M. S. HIRUMA-LIMA, C. A. *Hancornia speciosa*:

Indications of gastroprotective, healing and anti-*Helicobacter pylori* actions. **Journal of Ethnopharmacology**, v.120, n 2, p.161-168, 2008.

MORAES, F. P.; GONÇALVES, A. C.; MIGUEL, T. B. V.; BORGES, K. C. CORREIA, R. T. Freeze Dried Acerola (*Malpighia emarginata*) Pulp and Pomace: Physicochemical Attributes, Phytochemical Content and Stability during Storage. *Journal of Food Industry*, v. 1, p. 17-38, 2017.

NACZK, M.; SHAHIDI, F. Extraction and analysis of phenolics in food. **Journal of Chromatography A**. v, 1054, n. 29, p.95-111, 2004.

NAIR, A. B.; JACOB, S. A simple practice guide for dose conversion between animals and human. **Journal of Basic and Clinical Pharmacy**, v.7, n. 2, p. 27-31, 2016.

NAKAO, K.; MURATA, K.; ITOH, K.; HANAMOTO, Y.; MASUDA, M.; MORIYAMA, K., et al. Anti-hyperuricemia effects of extracts of immature Citrus unshiu fruit. **Journal of Traditional Medicines**, v.28, n.1, p.10–15, 2011.

NASCIMENTO, A, F.; LUVIZOTTO, R.A.; LEOPOLDO, A.S.; LIMA-LEOPOLDO, A.P.; SEIVA, F.R.; JUSTULIN, L.A. Jr. et al. Long-term high-fat diet-induced obesity decreases the cardiac leptin receptor without apparent lipotoxicity. **Life Sciences**, v. 88, p. 1031-1038, 2011.

NASCIMENTO, A. R.; MACHADO, M.; JESUS, N. DE.; GOMES, F.; LESSA, M. A.; BONOMO, I. T.; TIBIRIÇÁ. E. Structural and functional microvascular alterations in a rat model of metabolic syndrome induced by a high-fat diet. **Obesity**, v. 21, n. 10, p. 2046-2054, 2013.

NARAIN, N.; FRANÇA, F.R.M.; NETA, M.T.S.L. Mangaba-*Hancornia speciosa*. **Exotic Fruits Reference Guide**, p. 315-318, 2018.

NEMZER, B.; VARGAS, L.; XIA, X.; SINTARA, M.; FENG, H. Phytochemical and physical properties of blueberries, tart cherries, strawberries, and cranberries as affected by different drying methods. **Food Chemistry**, n.262, p. 242-250, 2018.

NIE, J.; ZHANG, L.; ZHAO, G.; DU, X. Quercetin reduces atherosclerotic lesions by altering the gut microbiota and reducing atherogenic lipid metabolites. **Journal of Applied Microbiology**, v. 127, p. 1824–1834, 2019.

NOVELLI, E. L. B.; DINIZ, Y. S.; GALHARDI, C.; EBAID, G. M. X. Anthropometrical parameters and markers of obesity in rats. **Laboratory Animals**, v. 41, n. 1, p. 111-119, 2007.

NUNES, J.C.; LAGO, M.G.; CASTELO-BRANCO, V.N.; OLIVEIRA, F.R.; TORRES, A.G.; PERRONE, D.; MONTEIRO, M. Effect of drying method on volatile compounds, phenolic profile and antioxidant capacity of guava powders. **Food Chemistry**, v.197 p. 881–890, 2016.

OHASHI, R.; MU, H.; WANG, X.; YAO, Q.; CHEN, C. Reverse cholesterol transport and cholesterol efflux in atherosclerosis. **QJM: An International Journal of Medicine**, v.98, n.12, p.845-856, 2005.

OHKAWA, H.; OHISHI, N.; YAGI, K. Assay for lipid peroxides in animal tissues by thiobarbituric acid reaction. **Analytical Biochemistry**, v. 95, p. 351-358, 1979.

OLIVEIRA, D.L.; ROCHA, C. Sustainable Alternatives for school lunches with the use of plants of the savanna, Promote environmental education. **Revista eletrônica do mestrado em educação ambiental**, v.21, 2008.

OLIVEIRA, L. S.; RUFINO, M. S. M.; MOURA, C. F. H.; CAVALCANTI, F. R.; ALVES, R. E.; MIRANDA, M. R. A. The influence of processing and long-term storage on the antioxidant metabolism of acerola (*Malpighia emarginata* D.C) purée. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v.23, n.2, p.151–160, 2011.

OLIVEIRA, B. E.; JUNIOR, G. C. P.; CILLI, L. P. CONTINI, L. R. F.; VENTURINI, A. C.; YOSHIDA, C. M. P.; BRAGA, B. MATHEUS. Spray-drying of grape skin-whey protein concentrate mixture. **Journal Food Science and Technology**, v. 55, p. 3693-3702, 2018.

OTHMAN, Z. A.; WAN, GHAZALI, W. S.; NOORDIN, L.; MOHD YUSOF, N. A.; MOHAMED M. Phenolic Compounds and the Anti-Atherogenic Effect of Bee Bread in High-Fat Diet-Induced Obese Rats. **Antioxidants (Basel)**, v. 9, n. 1, p. 33, 2019.

OZKAN, G.; FRANCOB, P.; DE MARCO, I.; XIAO, J.; CAPANOGLUA, E. A review of microencapsulation methods for food antioxidants: Principles, advantages, drawbacks and applications. **Food Chemistry**, n. 272, p.494-506, 2019.

PACHECO, C.; GARCÍA-MARTÍNEZ, E.; MORAGA, G.; PIÑA, J.; NAZARENO, M. A.; MARTÍNEZ-NAVARRETE, N. Development of dried functional foods: Stabilization of orange pulp powder by addition of biopolymers. **Powder Technology**, n. 362, p. 11-16, 2020.

PARKER, T. L.; WANG, X. H.; PAZMIÑO, J.; ENGESETH, N. J. Antioxidant capacity and phenolic content of grapes, sundried raisins, and golden raisins and their effect on ex vivo serum antioxidant capacity. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.55, n.21, p. 8472–8477, 2007.

PARK, Y.; JANG, J.; LEE, D.; YOON, M. Vitamin C Inhibits Visceral Adipocyte Hypertrophy and Lowers Blood Glucose Levels in High-Fat-Diet-Induced Obese C57BL/6J Mice. **Biomedical Science Letters**, v.24, n.4, p.311–318, 2018.

PAULINO, A. H. S.; VIANA, A. M. F.; BONOMO, L.DE F.; C. GUERRA, J. F. C.; LOPES, J. M. M.; RABELO, A. C. S; FAGUNDES, M. M. A.; RÉGIS, A. L. R.S; LIMA, W. G.; PEDROSA, M. L.; SILVA, M. E. Araçá (*Psidium cattleianum* Sabine) Ameliorates Liver Damage and Reduces Hepatic Steatosis in Rats Fed with a High-fat Diet. **Journal of Food Nutrition Research**, v.7, n.2, p.132-140, 2019.

PENICAUD, C.; PEYRON, S.; BOHUON, P.; GONTARD, N.; GUILLARD, V. Ascorbic acid in food: Development of a rapid analysis technique and application to diffusivity determination. **Food Research International**, v.43, p.838-847, 2010.

PENICAUD, C.; ACHIR, N.; DHUIQUE-MAYER, C.; DORNIER M.; BOHUON, P. Degradation of b-carotene during fruit and vegetable processing or storage: reaction mechanisms and kinetic aspects: a review. **Fruits**, v. 66, p.417–440, 2011.

PEREIRA, S. S.; TEIXEIRA, L. G.; AGUILAR, E. C.; MATOSO, R. O.; SOARES, F. L. P.; FERREIRA, A. V. M.; ALVAREZ-LEITE, J. I. Differences in adipose tissue inflammation and oxidative status in C57BL/6 and ApoE^{-/-} mice fed high fat diet. **Animal Science Journal**, v. 83, n. 7, p. 549–555, 2012.

PINHEIRO, R.O.; LINS, P. P.; DE CARVALHO, J. L. P. et al. Maternal dyslipidaemic diet induces sex-specific alterations in intestinal function and lipid metabolism in rat offspring. **British Journal of Nutrition**, v. 121, n.7, p.721-734, 2019.

PUUPPONEN-PIMIÄ, R.; NOHYNEK, L.; MEIER, C.; KAHKONEN M.; HEINONEN M.; HOPIA, A.; OSKMAN-CALDENTY, K.M. Antimicrobial properties of phenolic compounds from berries. **Journal of Applied Microbiology**, v.90, n.4, p. 494-507, 2001.

QUAGLIANI, D.; FELT-GUNDERSON, P. Closing America's fiber intake gap: communication strategies from a food and fiber summit. **American Journal of Lifestyle Medicine**, v.11, p. 80-85, 2017.

RAMACHANDRAN, A.; JAESCHKE, H. Oxidative Stress and Acute Hepatic Injury. **Current Opinion in Toxicology**, v.7, p.17-21, 2018.

RAMFUL, D.; TARNUS, E.; ARUOMA, O.I.; BOURDON, E.; BAHORUN, T. Polyphenol composition, vitamin C content and antioxidant capacity of Mauritian citrus fruit pulps. **Food Research International**, v. 44, p. 2088–2099, 2011.

RANKIN, J. W.; ANDREAE, M. C.; OLIVER CHEN, C. Y.; O'KEEFE, S. F. Effect of raisin consumption on oxidative stress and inflammation in obesity. **Diabetes, Obesity and Metabolism**, v.10, n. 11, p.1086–1096, 2008.

RE, R.; PELLEGRINI, N.; PROTEGGEMNTE, A.; PANNALA, A.; YANG, M.; RICE-EVANS, C. Antioxidant activity applying and improved ABTS radical cation decolorization assay. **Free Radical Biology Medicine**, v.26, p.1234-1237, 1999.

REEVES, P.G; NIELSEN, F, H.; FAHEY, G.C. Jr. AIN-93 purified diets for laboratory rodents: final report of the American Institute of Nutrition ad hoc writing committee on the reformulation of the AIN-76A rodent diet. **Nutrition Journal**, v.123, p.1939-1951, 1993.

RUFINO, M.S.M.; FERNANDES F.A.N.; ALVES R.E.; BRITO E.S. Free radical-scavenging behaviour of some north-east Brazilian fruits in a DPPH system. **Food Chemistry**, v,114, p.693–695, 2009.

RUFINO, M. DO S. M.; ALVES, R. E.; BRITO, E. S. DE.; PÉREZ-JIMÉNEZ, J.; SAURA-CALIXTO, F.; MANCINI-FILHO, F. Bioactive compounds and antioxidant capacities of 18 non-traditional tropical fruits from Brazil, **Food Chemistry**, v.121, p.996-1002, 2010.

RUTZ, J. K.; BORGES, C. D.; ZAMBIAZI, R. C.; ROSA, C. G.; SILVA, M. M. Elaboration of microparticles of carotenoids from natural and synthetic sources for applications in food. **Food Chemistry**, v.202, p. 324-333, 2016.

SANTOS, P. H. S.; SILVA, M. A. Retention of vitamin C in drying processes of fruits and vegetables – a review. **Drying Technology: An International Journal**, v. 26, n. 12, p. 1421-1437, 2008.

SARABANDI K, H; PEIGHAMBARDOUST, S. H; SADEGHI MAHOONAK, A. R; SAMAEI, S. P. Effect of different carriers on microstructure and physical characteristics of spray dried apple juice concentrate. **Journal Food Science and Technology**, v.55, n.8, p.3098–3109, 2018.

SAINI, R. K.; NILE, S. H.; PARK, S. Carotenoids from fruits and vegetables: Chemistry, analysis, occurrence, bioavailability and biological activities. **Food Research International**, v.76, p. 735-750, 2015.

SHRESTHA, P.; SLUIS, B. V. DE.; DULLAART, R. P. F.; BORN, J. V. D. Novel aspects of PCSK9 and lipoprotein receptors in renal disease-related dyslipidemia. **Cellular Signalling**, v.55, p. 53-64, 2019.

SCHIASSI, M.C.E.V.; SOUZA, V. R.; LAGO, A.M.T.; CAMPOS, L.G.; QUEIROS, F. Fruits from the Brazilian Cerrado region: Physico-chemical characterization, bioactive compounds, antioxidant activities, and sensory evaluation. **Food Chemistry**, n.245, p.305-311, 2018.

SCHWERTZ, M. C.; MAIA; J. R. P.; DE SOUSA, R. F. S.; AGUIAR, J. P. L.; YUYAMA, L. K. O.; LIMA, E. S. Efeito hipolipidêmico do suco de camu-camu em ratos. **Revista de Nutrição**, v. 25, n.1, 2012.

SHI, X.; LEE, Y. Encapsulation of tributyrin with whey protein isolate (WPI) by spray-drying with a three-fluid nozzle. **Journal of Food Engineering**, v 281:109992, 2020.

SILVA JÚNIOR, J. F. A cultura da mangaba. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 26, n. 1, abr. 2004.

SILVA, M. R.; LACERDA, D. B. C. L.; SANTOS, G. G.; MARTINS, D. M. O. Caracterização química de frutos nativos do Cerrado. **Revista Ciência Rural**, v.38, p.1790–1793, 2008.

SILVA, J. P. L.; FERREIRA, E.B.; BARBISAN, L. F.; BRIGAGAO, M. R. P. L.; PAULA, F. B. A.; MORAES, G. O. I.; MAGALHÃES, C. S.; AZEVEDO, L. Organically produced coffee exerts protective effects against the micronuclei induction by mutagens in mouse gut and bone marrow. **Food Research International**, v.61, p.272-278, 2014.

SILVA, G. C.; BRAGA, F. C.; LEMOS, V.S.; CORTES, S. F. Potent antihypertensive effect of *Hancornia speciosa* leaves extract. **Phytomedicine**, v.23, n.2, p.214-219, 2016.

SINGH, B., SINGH, J. P., KAUR, A.; SINGH, N. Bioactive compounds in banana and their associated health benefits - A review. **Food Chemistry**, v.206, p. 1–11, 2016.

SINGLETON, V. L.; ROSSI, J. A. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic phosphotungstic acid reagents. **American Journal of Enology and Viticulture**, v.16, p.144–158, 1965.

SIRTORI, C.R.; ANDERSON, J.W.; ARNOLDI, A. Nutritional and nutraceutical considerations for dyslipidemia. **Future Lipidology**, v.3, p.313–339, 2007.

SLAVIN, J. Fiber and prebiotics: mechanisms and health benefits. **Nutrients**, v. 5, n.4, p.1417-1435, 2013.

SOARES, A.N.R.; VITÓRIA, M.F.; NASCIMENTO, A.L.S.; LÉDO, A.S.; RABBANI, A.R.C.; SILVA, A.V.C. Genetic diversity in natural populations of mangaba in Sergipe, the largest producer State in Brazil. **Genetics Molecular Research**, v.15, 2016.

SOARES, F.P.; PAIVA, R.; NOGUEIRA, R.C.; OLIVEIRA, L.M.; SILVA, D.R.G.; PAIVA, P.D.O. Cultura da Mangabeira (*Hancornia speciosa* Gomes). Lavras, UFLA - Universidade Federal de Lavras. (**Boletim Agropecuário 67**), 2006.

SOLIMAN, G. A. Dietary Fiber, Atherosclerosis, and Cardiovascular Disease. **Nutrientes**, 2019.

SOLYMOSI, K.; LATRUFFE, N.; MORANT-MANCEAU, A.; SCHOEFS, B. Food colour additives of natural origin. Colour additives for foods and beverages Woodhead Publ. Ser. **Food Science & Nutrition Technology**, v.279, p.3-34, 2015.

SHAHIDI, F.; AMBIGAIPALAN, P. Phenolics and polyphenolics in foods, beverages and spices: Antioxidant activity and health effects - A review. **Journal of functional foods**, v.18, p.820-897, 2015.

SHARIFI-RAD, J.; RODRIGUES, C.F.; SHAROPOV, F.; DOCEA, A. O.; KARACA, A. C.; SHARIFI-585 RAD, M.; KARINCAOGLU, D. K.; GÜLSEREN, G.; SENOL, E.; DEMIRCAN, E.; TAHERI, Y.; SULERIA, 586 H. A. R.; ÖZÇELİK, B.; KASAPÖĞLU, K. N.; GÜLTEKİN-ÖZGÜVEN, M.; SKAYA-DIKMEN, C.D.; 587 CHO, W. C.; MARTINS, N.; CALINA. Review: Diet, Lifestyle and Cardiovascular Diseases: Linking Pathophysiology to Cardioprotective Effects of Natural Bioactive Compounds. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, n.17, p. 1-31, 2020.

SHI, X.; LEE, Y. Encapsulation of tributyrin with whey protein isolate (WPI) by spray-drying with a three-fluid nozzle. **Journal of Food Engineering Journal of Food 492 Engineering**, v. 281:109992, 2020.

SHRESTHA, P.; SLUIS, B. V. DE.; DULLAAR, R. P. F.; BORN, J.V.D. Novel aspects of PCSK9 and lipoprotein receptors in renal disease-related dyslipidemia. **Cellular Signalling**, v.55, p.53–64, 2019.

STAFUSSA, A.P.; MACIEL, G. M.; RAMPAZZO, V.; BONA, E.; MAKARA, C. N.; DEMCZUK JUNIOR, B. H.; HAMINIUK, C. W. I. Bioactive compounds of 44 traditional and exotic Brazilian fruit pulps: phenolic compounds and antioxidant activity. **International Journal of Food Properties**, v.21, p. 106-118, 2018.

SUCUPIRA, N. R.; DA SILVA, A. B.; PEREIRA. G.; DA COSTA, J. N. Métodos Para Determinação da Atividade Antioxidante de Frutos Methods for Measuring Antioxidant Activity of Fruits. **Journal of Health Sciences**, v.14, n.4, 2012.

TAJIMA, R.; KIMURA, T.; ENOMOTO, A.; SAITO, A.; KOBAYASHI, S.; MASUDA, K.; IIDA, K. No association between fruits or vegetables and non-alcoholic fatty liver disease in middle-aged men and women. **Nutrition**, v.61, p.119-124, 2019.

TOMA, L.; SANDA, G. M.; NICULESCU, L. S.; DELEANU, M.; SIMA, A. V.; STANCU, C. S. Phenolic Compounds Exerting Lipid-Regulatory, Anti-Inflammatory and Epigenetic Effects as Complementary Treatments in Cardiovascular Diseases. **Biomolecules**, v.10, n. 4, p. 641, 2020.

VALENTE, A.; ALBUQUERQUE, T.G.; SANCHHES-SILVA, A.; COSTA, H. S. Ascorbic acid content in exotic fruits: A contribution to produce quality data for food composition databases. **Food Research International**, v.44, p.2237-2242, 2011.

VANUCCHI, H.; ROCHA, M. M. Funções plenamente reconhecidas de Nutrientes: ácido ascórbico (vitamina C). **ILSI International Life Sciences Institute do Brasil**, 2012.

VASCO, C.; RUALES, J.; KAMAL-ELDIN, A. Total phenolic compounds and antioxidant capacities of major fruits from Ecuador. **Food Chemistry**, v. 111, p. 816-823, 2008.

VAYALIL, P. K. Date fruits (*Phoenix dactylifera* Linn): An emerging medicinal food. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, n.52, p.249-271, 2012.

VAZ, J. A.; ALMEIDA, G. M.; FERREIRA, I. C. F. R.; MARTINS, A.; VASCONCELOS, M. H. *Clitocybe alexandri* extract induces cell cycle arrest and apoptosis in a lung cancer cell line: Identification of phenolic acids with cytotoxic potential. **Food Chemistry**, v.132, n.1, p.482–486, 2012.

VILA, M.M.; CHAUD, M. V.; BALCAO, V.M. Microencapsulation of natural antioxidant pigments. **Microencapsulation and microspheres for food applications**, p. 369–389, 2015.

VILLAÑO, D.; FERNÁNDEZ-PACHÓN, M.S.; MOYÁ, M. L.; TRONCOSO, A. M.; GARCIA-PARRILHA, M. C. G. Radical scavenging ability of polyphenolic compounds towards DPPH free radical. **Talanta**, v.71, p.230-235, 2007.

VIEIRA, R. F.; COSTA, T. S. A.; SILVA, D. B.; FERREIRA, F. R.; SANO, S. M. Frutas nativas da região Centro-Oeste, Embrapa. **Recursos Genéticos e Biotecnologia Brasília**. Brasil, 2006.

VINSON, J. A., ZUBIK, L., BOSE, P., SAMMAN, N.; PROCH, J. Dried fruits: Excellent in vitro and in vivo antioxidants. **Journal of the American College of Nutrition**, v.24, n.1, p.44–50, 2005.

WANG, W.; JIANG, Y.; ZHOU, W. Characteristics of soy sauce powders spray-dried using dairy whey proteins and maltodextrins as drying aids. **Journal Food Engineering**, v. 119, p.724–730, 2013.

WASILEWSKI, R.; UBARA, E.O.; KLONIZAKIS, M. Assessing the effects of a short-term green tea intervention in skin microvascular function and oxygen tension in older and younger adults. **Microvascular Research**, v.107, 65-71, 2016.

WATT, M. J.; HOY, A. J. Lipid metabolism in skeletal muscle: generation of adaptive and maladaptive intracellular signals for cellular function. **American Journal Endocrinology and Metabolism**, v. 302, n.11, p.1315-1328, 2012.

WAUGHON, T. G. M. **Morfometria do fígado e parâmetros bioquímicos sanguíneos de ratos wistar alimentados com dietas contendo açaí**. 2015, 86f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal de Viçosa – Minas Gerais, 2015.

WENFENG, LI.; RUIJUN. ZHANG.; JIANJUN, GUO.; HONGJUN, SHAO.; XINGBIN, YANG. Protective effect of R. glutinosa oligosaccharides against high l-carnitine diet-induced endothelial dysfunction and hepatic injury in mice. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 85, p. 285-293, 2016.

WHITE, P. A. S., CERCATO, L. M., ARAÚJO, J. M. D., SOUZA, L. A., SOARES, A. F., BARBOSA, A. P. O., R. NETO, J. M., MARÇAL, A. C., MACHADO, U. F., CAMARGO, E. A., SANTOS, M. R. V., & BRITO, L. C. Modelo de obesidade induzida por dieta hiperlipídica e associada à resistência à ação da insulina e intolerância à

glicose. **Arquivos Brasileiros de Endocrinologia e Metabologia**, v.57, n.5, v.339-345, 2013.

WHO. Global Status Report on Noncommunicable Diseases: World Health Organization. 2014. Disponível em: <https://www.who.int/nmh/publications/ncd-status-report-2014/en/>. Acesso em: 10 de março de 2020.

WHO. Cardiovascular Diseases (CVD). World Health Organization: Geneva, Switzerland, 2017. Disponível em: [https://www.who.int/news-room/factsheets/detail/cardiovascular-diseases-\(cvds\)](https://www.who.int/news-room/factsheets/detail/cardiovascular-diseases-(cvds)). Acesso em 05 de abril de 2020.

WIJNGAARD, H.H.; RÖßLE, C.; BRUNTON N. A. Survey of Irish fruit and vegetable waste and by-products as a source of polyphenolic antioxidants. **Food Chemistry**, v.116, p.202–207, 2009.

WOOLBRIGHT, B. L.; JAESCHKE, H. Therapeutic targets for cholestatic liver injury. **Expert Opin Ther Targets**, v. 20, p.463-475, 2016.

XAVIER, H.T.; IZAR M.C.; FARIA NETO JR.; ASSAD, M. H.; ROCHA, V.Z.; SPOSITO, A.C. et al; Sociedade Brasileira de Cardiologia. V Brazilian Guidelines on Dyslipidemias and Prevention of Atherosclerosis. **Arquivo Brasileiro de Cardiologia**, v. 101, n. 4, supl. 1, p. 1-20, 2013.

XUE, F.; CHEN, L.; YANLONG, L.; ZHU, X.; SIYI, P., WANG, LUFENG. Encapsulation of tomato oleoresin with zein prepared from corn gluten meal. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 119, n. 3, p. 439–445, 2013.

YAMASHITA, F.O.; REGO, M. T.; GOMES, J. A. S.; SILVA J. F.; PASSOS, J. G. R.; FERREIRA, L. S.; SILVA JÚNIOR, A. A.; ZUCOLOTTO, S. M.; FERNANDES-PEDROSA, M. DE F. Mangaba (*Hancornia speciosa* Gomes) fruit juice decreases acute pulmonar edema induced by Tityus serrulatus venom: Potential application for auxiliary treatment of scorpion stings, **Toxicon**, v.179, n. 42–52, 2020.

YIN, X.; FU, X.; CHENG, H.; WUSIGALE, LIANG, L. α -Tocopherol and naringenin in whey protein isolate particles: Partition, antioxidant activity, stability and bioaccessibility. **Food Hydrocolloids**, v. 106:105895, 2020.

YU, B. P. Cellular Defenses against Damage from Reactive Oxygen Species. **Physiological Reviews**, v. 74, n. 1, p. 139-162, 1994.

ZEA, L. P.; YUSOF, Y. A.; AZIZ, M. G.; LING, C. N.; AMIN, N. A. A. Compressibility and dissolution characteristics of mixed fruit tablets made from guava and pitaya fruit powders. **Powder Technology**, v. 247, p. 112-119, 2013.

ZHANG, FU-LIANG.; XING, YING-QI.; WU, YAN-HUA.; LIU, HAO-YUAN.; YUN LUO, Y.; SUN, MING-SHUO.; GUO, ZHEN-NI.; YANG, Y. The prevalence, awareness, treatment, and control of dyslipidemia in northeast China: a population-based cross-sectional survey. **Lipids in Health and Disease**, v. 6, n.61, 2017.

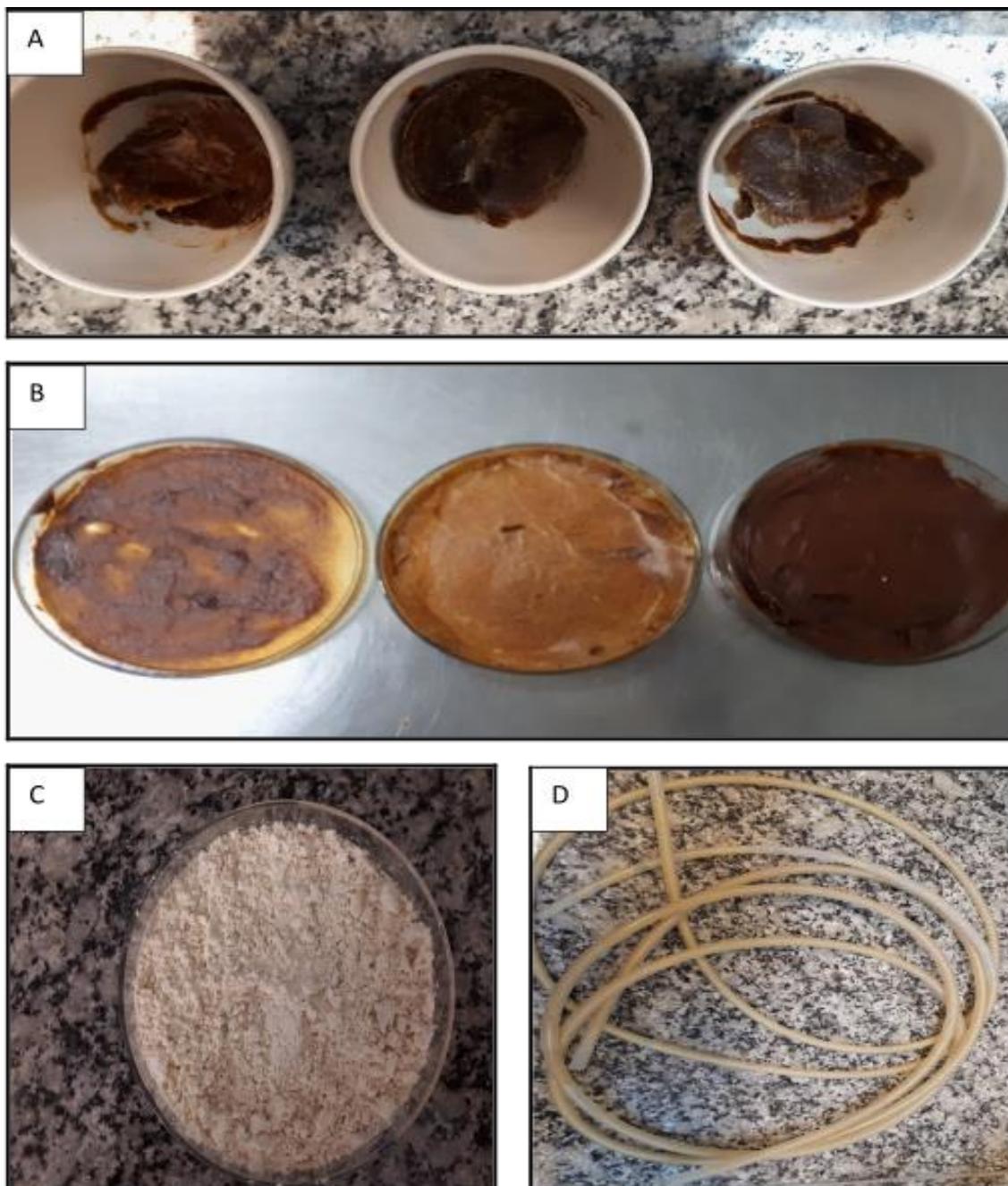
ZHANG, Y.; LU, Y.; JI, H.; LI, Y. Anti-inflammatory, anti-oxidative stress and novel therapeutic targets for cholestatic liver injury. **Bioscience Trends**, v.13, n.1, p.23-31, 2019.

ZHOU, Z. Q. **Citrus fruits nutrition**. Beijing, China: Science Press, 2012.

ZOTARELLI, M.F.; PORCIUNCULA, B.D.A.; LAURINDO, J.B. A convective multi-flash drying process for producing dehydrated crispy fruits. **Journal of Food Engineering**, v.108, p.523-531, 2012.

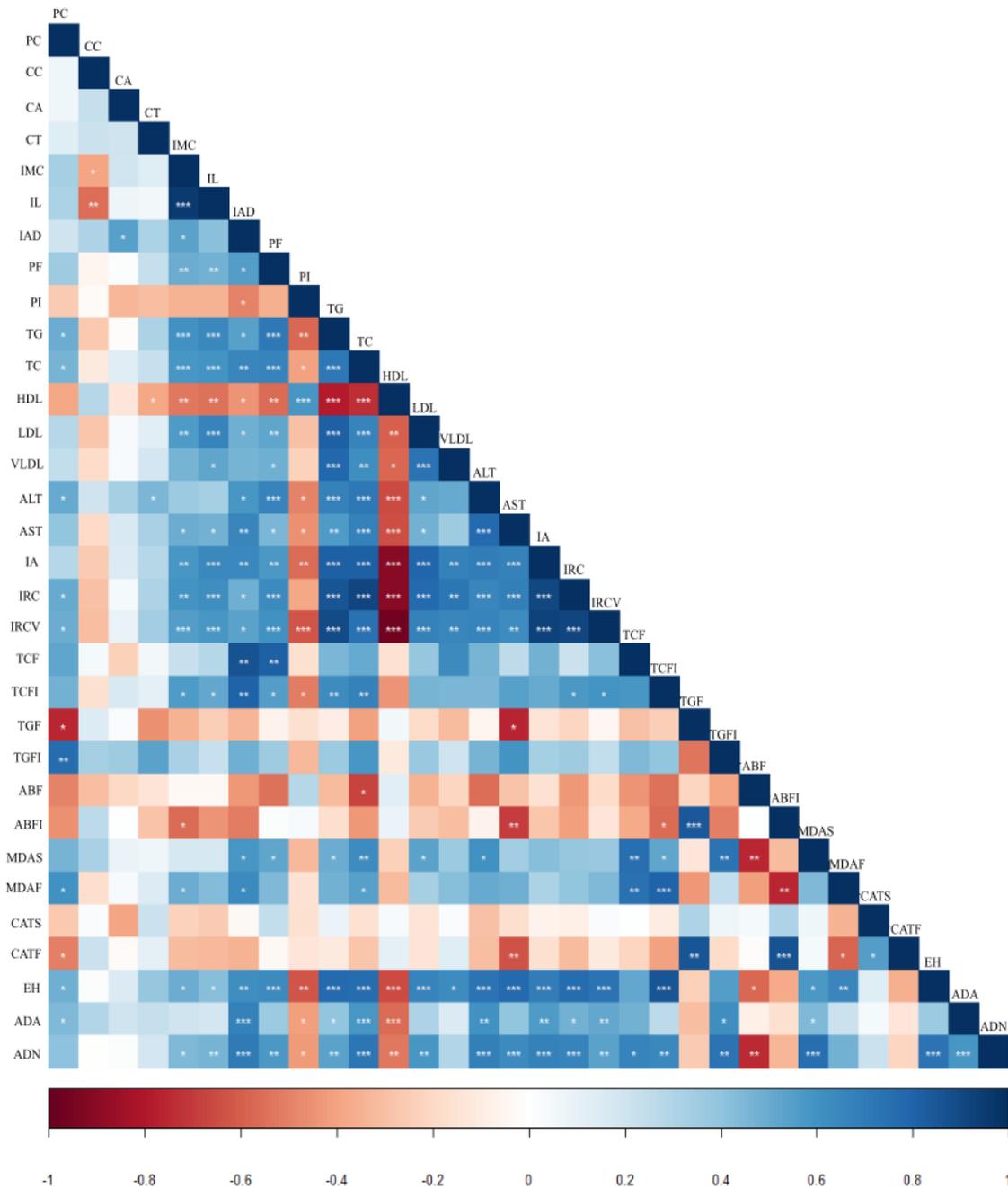
ZOU, Z.; XI, W.; HU, Y.; NIE, C.; ZHOU, Z. Antioxidant activity of citrus fruits. **Food Chemistry**, v.196, n.1, p.885-896, 2016.

APÊNDICE A - IMAGENS DA POLPA DE MANGABA (*Hancornia speciosa*) EM PROCESSOS DE SECAGENS COM E SEM O USO DE ADJUVANTES



(A) Polpa de mangaba em estufa normal a 70°C por 24 horas; na sequência: polpa sem adjuvante, polpa com adjuvante 10% m/m e 15% m/m. (B) Polpa de mangaba em estufa com circulação de ar a 100°C por 24 horas; polpa sem adjuvante, polpa com adjuvante 10% m/m e 15% m/m. (C) Polpa de mangaba produzida por *spray drying* com 10% m/m de adjuvante; (D) Mangueira utilizada no processo de *spray drying* com entupimento da polpa de mangaba.

APÊNDICE B - MATRIZ DE CORRELAÇÃO DE SPEARMAN CONSIDERANDO PARÂMETROS AVALIADOS EM RATOS SAUDÁVEIS E DISLIPIDÊMICOS TRATADOS OU NÃO COM A MANGABA EM PÓ.



* $P < 0,05$; ** $P < 0,01$; *** $P < 0,001$. PC, peso corporal; CC circunferência corporal; CA circunferência abdominal; CT, circunferência torácica; IMC índice de massa corporal; IL índice de Lee; IAD índice de adiposidade; PF peso do fígado; PI peso do intestino; TG triglicérides; TC, colesterol total; HDL lipoproteína de alta intensidade; LDL lipoproteína de baixa intensidade; VLDL, lipoproteína de densidade muito baixa; IA, índice aterogênico; IRC, índice de risco cardíaco; IRCV, índice de risco cardiovascular; TCF, colesterol total fezes; TCFI, colesterol total fígado; ABF, ácidos biliares fezes; ABFI ácidos biliares fígado; MDAS, malondialdeído soro; MDAF malondialdeído fígado; CATS, capacidade antioxidante total soro; CATF, capacidade antioxidante fígado; EH, esteatose hepática; ADA, área de adipócitos; ADN, número de adipócitos.

ANEXO A - PARECER DO COMITÊ DE ÉTICA E PESQUISA



Universidade Federal de Pernambuco
Centro de Biociências
 Av. Prof. Nelson Chaves, s/n
 50670-420 / Recife - PE - Brasil
 Fones: 2126.8842
 ceua@ufpe.br

Recife, 28 de setembro de 2018

Ofício nº 84/18

Da Comissão de Ética no Uso de Animais (CEUA) da UFPE

Para: Prof.ª Margarida Angélica da Silva

Departamento de Nutrição

Centro de Ciências da Saúde

Universidade Federal de Pernambuco

Processo nº 23076.010214/2018-43

Certificamos que a proposta intitulada **“Impacto da secagem em polpa de mangaba (Hancornia Speciosa) propriedades físico-químicas, estudo sobre a vida de prateleira e o potencial bioativo In vivo.”**, registrada com o nº 23076.010214/2018-43, sob a responsabilidade de Prof.ª Margarida Angélica da Silva - que envolve a produção, manutenção ou utilização de animais pertencentes ao filo Chordata, subfilo Vertebrata (exceto humanos), para fins de pesquisa científica (ou ensino) - encontra-se de acordo com os preceitos da Lei nº 11.794, de 8 de outubro de 2008, do Decreto nº 6.899, de 15 de julho de 2009, e com as normas editadas pelo CONSELHO NACIONAL DE CONTROLE DE EXPERIMENTAÇÃO ANIMAL (CONCEA), e foi aprovada pela COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS (CEUA) DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO (UFPE), em reunião de 25/09/2018.

| | |
|-------------------------|--------------------------------------|
| Finalidade | () Ensino (X) Pesquisa Científica |
| Vigência da autorização | Setembro de 2018 a 21/05/2020 |
| Espécie/linhagem/raça | Rato heterogenico |
| Nº de animais | 32 |
| Peso/Idade | 200-250g/ 60 dias |
| Sexo | Machos |
| Origem | Biotario do Departamento de Nutrição |

Atenciosamente,

Prof. Sebastião R. F. Silva
 Vico-Presidente CEUA/UFPE
 SIAPE 2345691

