



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIODIVERSIDADE E BIOTECNOLOGIA**  
**DA REDE BIONORTE**

**DESENVOLVIMENTO DE HIDROGEL DE CARÁ-ROXO (*Dioscorea trifida* L.) INCORPORADO COM AÇAÍ (*Euterpe precatoria* Mart): UMA ROTA REGIONAL PARA MELHORIA DO EXERCÍCIO FÍSICO.**

**DAURIMAR PINHEIRO LEÃO**

**Manaus-AM**  
**2021**

**DAURIMAR PINHEIRO LEÃO**

**DESENVOLVIMENTO DE HIDROGEL DE CARÁ-ROXO (*Dioscorea trifida* L.) INCORPORADO COM AÇAÍ (*Euterpe precatoria* Mart) - UMA ROTA REGIONAL PARA MELHORIA DO EXERCÍCIO FÍSICO.**

Tese apresentada ao Curso de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Biotecnologia - rede BIONORTE, na Universidade Federal do Amazonas, como requisito final para obtenção do Título de Doutor em Biodiversidade e Biotecnologia, área de concentração Biotecnologia.

**Orientadora:** Profa. Dra. Cintia Mara Costa de Oliveira

**Coorientador:** Prof. Dr. Pedro Henrique Campelo Felix

**Manaus-AM  
2021**

## Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

L687d Leão, Daurimar Pinheiro  
Desenvolvimento de hidrogel de cará-roxo (*Dioscorea trifida* L.)  
incorporado com açai (*Euterpe precatoria* Mart.) : uma rota regional  
para melhoria do exercício físico. / Daurimar Pinheiro Leão . 2021  
141 f.: il. color; 31 cm.

Orientadora: Cíntia Mara Costa de Oliveira  
Coorientador: Pedro Henrique Campelo Felix  
Tese (Doutorado em Biodiversidade e Biotecnologia da Rede  
Bionorte) - Universidade Federal do Amazonas.

1. Bioprodutos da Amazônia. 2. Energéticos. 3. Estresse  
oxidativo. 4. Antioxidante. 5. Suplemento alimentar. I. Oliveira,  
Cíntia Mara Costa de. II. Universidade Federal do Amazonas III.  
Título

DAURIMAR PINHEIRO LEÃO

**DESENVOLVIMENTO DE HIDROGEL DE CARÁ-ROXO (*Dioscorea trifida* L.) INCORPORADO COM AÇAÍ (*Euterpe precatoria* Mart) - UMA ROTA REGIONAL PARA MELHORIA DO EXERCÍCIO FÍSICO.**

Tese apresentada ao Curso de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Biotecnologia - rede BIONORTE, na Universidade Federal do Amazonas, como requisito final para obtenção do Título de Doutor em Biodiversidade e Biotecnologia, área de concentração Biotecnologia.

**Orientadora:** Profa. Dra. Cintia Mara Costa de Oliveira

**Co-orientador:** Prof. Dr. Pedro Henrique Campelo Felix

Aprovado em:30/11/2021

**Banca Examinadora:**



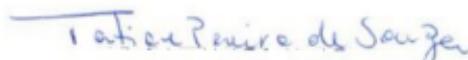
---

**Profa. Dra. Cintia Mara Costa de Oliveira**  
**Presidente (UEA)**



---

**Prof. Dr. Afonso Duarte Leão De Souza**  
**Membro Titular Interno (UFAM)**



---

**Profa. Dra. Tatiane Pereira de Souza**  
**Membro Titular Externo (UFAM)**



---

**Prof. Dr. Jamal Da Silva Chaar**  
**Membro Titular Externo (UFAM)**



---

**Profa. Dra. Ires Paula de Andrade Miranda**  
**Membro Titular Interno (INPA)**

**MANAUS-AMAZONAS**  
novembro/2021

## **DEDICATÓRIA**

A minha esposa e meus filhos, Tânia Regina Alves de Souza Leão, Hannah Haydee Alves Leão e Derick Samuel Alves Leão. Vocês são o meu orgulho. Ao meu pai, Edmilson Almerindo de Oliveira Leão (*in memoriam*), e minha mãe Darcy Pinheiro Leão. Vocês sempre acreditaram em mim. Toda a minha dedicação.

## AGRADECIMENTOS

Ao **Deus** eterno autor da vida, que sempre esteve nos milagres da minha vida renovando graça, misericórdias, protegendo, capacitando e auxiliando a chegar até o fim. À minha esposa **Tânia Regina**, e meus filhos **Hannah Haydee** e **Derick Samuel** pelo suporte emocional e espiritual. Tudo isso e todos os momentos vividos nessa etapa da vida só fizeram sentido por causa da existência de vocês. É tudo por vocês!

Aos meus irmãos, **Edmilson Leão**, **Deusmar Leão**, **Edilamar Leão** (*in memoriam*), **Deise Leão**, **Ednéia Leão**, **Edmar Leão**, **Darly Leão** e **Eloilson Leão** pela torcida e apoio de sempre.

À minha orientadora, Profa. Dra. **Cintia Mara Costa de Oliveira**, por ter aceito o desafio de me orientar, depositar confiança nos meus propósitos, pela paciência, dedicação nas correções, conselhos e sempre me apoiar nos momentos decisivos.

Ao meu Co-Orientador, Prof. Dr. **Pedro Henrique Campelo Felix**, por ter aceito me coorientar, pela confiança, oportunidade, ensinamentos, dedicação, pelo estímulo científico e novos conhecimentos aprendidos nesta jornada.

À Profa. Dra. **Isabel da Mota Pontes**, pela oportunidade, estímulo científico e confiança nos meus propósitos, pelo incentivo incondicional a mim dedicado, você foi essencial para a realização dessa tese.

À Profa. Dra. **Marne Carvalho de Vasconcellos** e ao pesquisador **Jaime Paiva Lopes Aguiar** pelo apoio, incentivo e colaboração nos experimentos.

Ao Prof. Dr. **Emerson Silva Lima** e à Profa. Dra. **Rosany Piccolotto Carvalho**, pela ajuda e colaboração nos experimentos.

Ao Prof. Dr. **Carlos Victor Lamarão Pereira** e à Profa. Dra. **Francisca das Chagas do Amaral Souza**, pela ajuda e colaboração nos experimentos.

À Profa. Dra. **Tatiane Pereira de Souza** e à Profa. Dra. **Jaqueline de Araújo Bezerra**, pela ajuda e colaboração nos experimentos para que esse trabalho fosse realizado.

Ao Prof. Dr. **Afonso Duarte Leão de Souza** e ao Prof. Dr. **Jamal da Silva Chaar** pela contribuição curricular e suporte científico.

Ao Prof. Dr. **Vinicius Cavalcanti** e ao Prof. Mestre **Ivan de Jesus Ferreira** pela contribuição curricular e suporte científico.

À Universidade Federal do Amazonas (UFAM); Faculdade de Educação Física e Fisioterapia (FEFF) e ao Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Biotecnologia da Rede Bionorte (PPG-BIONORTE) pela contribuição curricular e oportunidade concedida.

Agradeço também aos integrantes dos Grupos BIOPHAR e NANOPOL, em especial ao **Leonard Domingo Rosales Acho**, à Profa. Mestre **Leilane Bentes e Matheus Moraes Biondo**, por toda colaboração nos experimentos e pelo incentivo.

MUITO OBRIGADO!

LEÃO, Daurimar Pinheiro. **DESENVOLVIMENTO DE HIDROGEL DE CARÁ-ROXO (*Dioscorea trifida* L.) INCORPORADO COM AÇAÍ (*Euterpe precatoria* Mart) - Uma rota regional para melhoria do exercício físico.** 2021. Tese (Doutorado em Biotecnologia – PPG-BIONORTE) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2021.

## RESUMO

No bioma da floresta Amazônica, entre a grande variedade de plantas nativas, o cará-roxo (*Dioscorea trifida* L.) e o açaí (*Euterpe precatoria* Mart) são usados como alimentos funcionais de alta qualidade, devido aos aportes nutricionais e fisiológicos. Poucos estudos com essas espécies têm sido conduzidos com o objetivo de testar as propriedades na forma de suplementos para atenuação dos marcadores de estresse oxidativo e concentrações circulantes de glicose, melhorar a tolerância ao esforço e aumentar o tempo de exaustão em resposta a exercícios físicos. Com isso, este estudo teve como objetivo desenvolver um hidrogel energético suplementar à base de amido do *Dioscorea trifida* associado a polpa do *Euterpe precatoria*, e verificar os efeitos fisiológicos sobre os biomarcadores do exercício aeróbio. Foram então, realizadas a caracterização físico-química da matéria-prima vegetal e do hidrogel, o teor de amilose e a capacidade antioxidante (pelos métodos DPPH e ABTS). Além destas, foram utilizadas as técnicas de avaliação reológica, CLAE, de Difração de Raio X (DRX), citotoxicidade pelo método Alamar Blue em fibroblastos MRC-5. O rendimento da polpa do açaí liofilizado foi 17,6%, e do cará-roxo 9,04% com  $89,50 \pm 0,37$  de amido total e 11,7% de amilose aparente. O estudo reológico em regime estacionário mostrou que as amostras analisadas em forma de hidrogéis, apresentaram tendência de diminuição da viscosidade aparente com o aumento da taxa de deformação, comportando-se como fluido não-Newtoniano de características pseudoplástica, sendo que os dados encontrados ajustaram-se adequadamente ao modelo de Lei da Potência. O hidrogel com 5% de amido de cará-roxo e 10% de açaí liofilizado apresentou-se mais elásticos e promissor, com maior armazenamento de energia e melhor desempenho que as demais formulações. Após a extração e caracterização, constatou-se a presença predominante de carboidratos, proteínas, lipídios e cinza. A análise de CLAE confirmou a presença da Cianidina-3-O-rutinosídeo com 0,974 mg/g e 99% de pureza. A difração de raio-X da polpa do açaí liofilizado, mostrou estrutura completamente amorfa, em contraste, o amido de cará-roxo apresentou picos de difração característicos e padrão cristalino do tipo A, assim como o hidrogel. O grau de cristalinidade relativa da polpa liofilizada de açaí foi 23,25%, do amido de cará-roxo foi 28,78% e do hidrogel foi 20,88%. Observou-se que o açaí e o hidrogel nos testes *in vitro* apresentaram rica atividade antioxidante, frente aos radicais DPPH•- e ABTS•+. No teste de viabilidade celular em MRC-5, até um período de 72h, os resultados demonstraram que o hidrogel, o amido de cará-roxo e o açaí liofilizado não são citotóxicos nas concentrações testadas com valores de  $CI_{50}$  entre 50 a 0,78  $\mu\text{g/mL}$ . Portanto, estes resultados sugerem que o hidrogel possui compostos que podem ser empregados como suplementos alimentares esportivos. Avaliando os resultados verifica-se a importância de estudos complementares para avaliar e elucidar outros aspectos e propriedades físicas do hidrogel.

**Palavras-chave:** bioprodutos da Amazônia; energéticos; estresse oxidativo; antioxidante; suplemento alimentar.

LEÃO, Daurimar Pinheiro. **DEVELOPMENT OF CARÁ-ROXO HYDROGEL (*Dioscorea Trifida* L.) INCORPORATED WITH AÇAÍ (*Euterpe Precatoria* Mart) - Regional plan for improve of physical exercise.** 2021. Thesis (Doctor of Biotechnology - PPG-BIONORTE) - Federal University of Amazonas, Manaus, 2021.

### ABSTRACT

In the Amazon forest biome, among the wide variety of native plants, purple yam (*Dioscorea trifida* L.) and açai (*Euterpe precatoria* Mart) are used as high quality functional foods, due to their nutritional and physiological contributions. Few studies with these species have been conducted with the aim of testing the properties in the form of supplements to attenuate oxidative stress markers and circulating glucose concentrations, improve exercise tolerance and increase exhaustion time in response to physical exercise. Thus, this study aimed to develop a supplementary energy hydrogel based on starch from *Dioscorea trifida* associated with *Euterpe precatoria* pulp, and to verify the physiological effects on biomarkers of aerobic exercise. Then, the physical-chemical characterization of the vegetable raw material and the hydrogel, the amylose content and the antioxidant capacity (by the DPPH and ABTS methods) were carried out. In addition to these, rheological evaluation techniques, HPLC, X-ray Diffraction (XRD), cytotoxicity by the Alamar Blue method in MRC-5 fibroblasts were used. The lyophilized açai pulp yield was 17.6%, and the purple yam 9.04%, with  $89.50 \pm 0.37$  of total starch and 11.7% of apparent amylose. The rheological study in steady state showed that the samples analyzed in the form of hydrogel showed a tendency to decrease the apparent viscosity with the increase in the strain rate, behaving as a non-Newtonian fluid with pseudoplastic characteristics, fit properly to the Power Law model. The hydrogel with 5% purple yam starch and 10% freeze dried açai was more elastic and promising, with greater energy storage and better performance than other formulations. After extraction and characterization, the predominant presence of carbohydrates, proteins, lipids and ash was found. CLAE analysis confirmed the presence of Cyanidin-3-O-rutinoside with 0,974 mg/g and 99% purity. The X-ray diffraction of the freeze dried açai pulp showed a completely amorphous structure, in contrast, the purple yam starch showed characteristic diffraction peaks and type A crystalline pattern, as well as the hydrogel. The degree of relative crystallinity of the freeze dried açai pulp was 23,25%, of the purple yam starch was 28,78% and the hydrogel was 20,88%. It was observed that açai and hydrogel in vitro tests showed rich antioxidant activity, against the radicals DPPH•- and ABTS•+. In the MRC-5 cell viability test, up to a period of 72h, the results showed that the hydrogel, purple yam starch and lyophilized açai are not cytotoxic at the concentrations tested with  $CI_{50}$  values between 50 to 0,78  $\mu\text{g}/\text{mL}$ . Therefore, these results suggest that the hydrogel has compounds that can be used as sports food supplements. Evaluating the results, it is verified the importance of complementary studies to evaluate and elucidate other aspects and physical properties of the hydrogel.

**Key-words:** bioproducts from the Amazon; energetics; oxidative stress; antioxidant; food supplement.

## LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I	Pag.
<b>Figura 1</b> - Planta (A), estipe (B) e frutos de <i>Euterpe precatoria</i> Mart (C).....	16
<b>Figura 2</b> - Municípios do Amazonas que cultivam o gênero do açaí <i>E. precatoria</i> .....	17
<b>Figura 3</b> - Estrutura química das antocianinas encontradas no Açaí ( <i>Euterpe</i> spp.).....	18
<b>Figura 4</b> - Estrutura da cadeia de valor do açaí com a integração de suas derivações e a direção metodológica.....	19
<b>Figura 5</b> - Formas comerciais de Açaí ( <i>Euterpe</i> spp.).....	21
<b>Figura 6</b> - Municípios do Amazonas que cultivam o gênero do cará <i>D. trifida</i> .....	22
<b>Figura 7</b> - Tubérculos de cará <i>Dioscorea trifida</i> (A), Caule escalador e volúvel (B), Folhas pecioladas estreitas com três a cinco lobos (C).....	23
<b>Figura 8</b> - Tubérculo de cará <i>Dioscorea trifida</i> , branco (A) e roxão (B).....	25
<b>Figura 9</b> - Estrutura da cadeia de valor do <i>D. trifida</i> com a integração de suas derivações e a direção metodológica.....	26
<b>Figura 10</b> - Formas comerciais de <i>Dioscorea trifida</i> .....	28
<b>Figura 11</b> - Representação esquemática das macromoléculas do amido.....	30
<b>Figura 12</b> - Representação esquemática do sistema de defesa antioxidante.....	44
<b>Figura 13</b> - Esquema de extração do amido do cará-roxo.....	53
<b>Figura 14</b> - Redução do radical livre DPPH.....	58
<b>Figura 15</b> - Estrutura do cátion radical [2,2'-azinobis (3-etilfenil-tiazolina-6-sulfonato)] ou ABTS <sup>•+</sup> .....	59
<b>Figura 16</b> - Curvas do fluxo de viscosidade aparente VS taxa de cisalhamento do hidrogel de amido de cará-roxo com a adição de açaí liofilizado.....	65
<b>Figura 17</b> - Capacidade antioxidante, pelo método DPPH do açaí liofilizado, hidrogel e amido de cará roxo.....	69
<b>Figura 18</b> - Atividade antioxidante, pelo método ABTS (µmol de Trolox/g de amostra) do açaí liofilizado, hidrogel e amido de cará roxo.....	70
<b>Figura 19</b> - Difractograma de raio-X da polpa de açaí liofilizado a 25°C.....	72
<b>Figura 20</b> - Difractograma de raio-X de amido de cará-roxo por extração aquosa a 25°C.....	73
<b>Figura 21</b> - Difractograma de raio-X do hidrogel de cará-roxo e açaí a 25°C.....	74
<b>Figura 22</b> - Difractograma de raio-X açaí para calcular o grau de cristalinidade relativa da amostra do açaí liofilizado (A), amido de cará-roxo (B) e do hidrogel de açaí e cará-roxo (C).....	75
<b>Figura 23</b> - Cromatograma de CLAE de cianidina-3-O-rutinósido isolado.....	76
<b>Figura 24</b> - Ensaio de viabilidade celular <i>in vitro</i> não tratadas (ST) e tratadas com fibroblastos humanos (MRC-5) do Hidrogel, Amido de cará-roxo e Açaí liofilizado em uma faixa de concentração de 0,78 - 50 µg / mL) em DMEM por 72 h. Cada barra representa a média ± D.P. de determinações em triplicata de três experiências independentes. * p < 0,05 quando comparado com o grupo não tratado por ANOVA one way.....	78
<b>Figura 25</b> - Fotografia representativa da morfologia do fibroblasto humano. As células MRC-5 foram incubadas com as concentrações de hidrogel (A), amido de cará-roxo (B) e açaí liofilizado (C) em meio DMEM durante 72 h. Alterações morfológicas foram observadas e comparadas com células não tratadas (ST). A cultura de células foi examinada e fotografada usando um microscópio invertido (40X).....	79

## LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I		Pag.
<b>Tabela 1</b> -	Formulação do hidrogel misto de cará-roxo ( <i>D. trifida</i> ) e açai ( <i>E. precatoria</i> ).	56
<b>Tabela 2</b> -	Parâmetros da composição centesimal em mg/100g <sup>-1</sup> de amostra (base seca %) do amido do cara-roxo, açai liofilizado e do hidrogel de açai e cará-roxo em triplicata.....	67
<b>Tabela 3</b> -	Teor de antocianina identificada e quantificada (mg/100g <sup>-1</sup> de amostra) pelo método de CLAE na fração de hidrogel de açai ( <i>E. precatoria</i> ) e cará-roxo ( <i>D. trifida</i> ) em triplicata.....	75
<b>Tabela 4</b> -	Teor de antocianinas encontrado por CLAE na polpa de açai em diversos estudos.....	77

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas e Técnicas
ABTS	2,2'-azinobis (3-etilfenil-tiazolina-6-sulfonato)
ACR	Amido de Cará-Roxo
AL	Açaí Liofilizado
ANOVA	Análise de Variância
CLAE	Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (do inglês High Performance Liquid Chromatography)
CHO	Carboidrato
CI <sub>50</sub>	Concentração inibitória média
°C	Graus Celsius
DAD	Detector de arranjo de diodo
DCNT	Doenças Crônicas Não Transmissíveis
DMSO	Dimetilsulfóxido
DNA	Acido desoxirribonucleico
DPPH	2,2-difenil-1-picrilhidrazil
DRX	Difração de Raios X
ERO	Espécies reativas de oxigênio
ERN	Espécies reativas de nitrogênio
HDL	Lipoproteína humana de alta-densidade
HIV	Human Immunodeficiency Virus
LDL	Lipoproteína humana de baixa-densidade
RPM	Rotações por minuto
SISGEN	Sistema Nacional de Gestão do Patrimônio Genético e do Conhecimento Tradicional Associado.
TEAC	Capacidade antioxidante equivalente Trolox (do inglês Trolox Equivalent Antioxidant Capacity)
VO <sub>2</sub> máx	Consumo máximo de oxigênio
WHO	World Health Organization
µg/mL	Micrograma por mililitro
mmHg	Milímetros de mercúrio
mg/L	Miligrama por litro
µM	Micromolar
µNm	Micronanômetro
ppm	Partes por milhão

## SUMÁRIO

	Pag.
RESUMO.....	i
ABSTRACT.....	ii
LISTA DE FIGURAS.....	iii
LISTA DE TABELAS.....	iv
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....	v
SUMÁRIO.....	vi
<b>CAPÍTULO I: 1 INTRODUÇÃO GERAL.....</b>	<b>12</b>
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>15</b>
2.1 O AÇAÍ ( <i>Euterpe spp.</i> ).....	15
2.2 O CARÁ ( <i>Dioscorea spp.</i> ).....	21
2.3 Amido.....	30
2.4 Carboidratos.....	37
2.5 Estresse Oxidativo e antioxidantes.....	43
2.6 Distúrbios Associados ao Estresse Oxidativo.....	50
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>52</b>
3.1 Obtenção da matéria-prima vegetal.....	52
3.2 Ensaio Biológicos ( <i>IN VITRO</i> ).....	53
3.2.1 Extração do amido do Cará-Roxo.....	53
3.2.2 Extração da polpa do Açaí.....	54
3.2.2.1. Secagem do Açaí por liofilização (Friezer-dryer).....	54
3.2.3 Teor de amilose aparente.....	55
3.3 Formulação do hidrogel misto de Cará-Roxo e Açaí.....	56
3.3.1 Avaliação do comportamento reológico do hidrogel.....	57
3.4 Análise físico-química do amido de cará-roxo, polpa do açaí e hidrogel.....	57
3.5 Determinação da Atividade Antioxidante.....	58
3.5.1 Varredura do Radical 2,2-Difenil-1-Picrilhidrazil (DPPH <sup>•</sup> ).....	58
3.5.2 Método de Captura do Radical ABTS <sup>•+</sup> -TEAC (Trolox Equivalent Antioxidant Capacity).....	59
3.6 Condições de CLAE do hidrogel de Cará-Roxo e Açaí.....	60
3.7 Difração de Raio X (DRX).....	61
3.8 Citotoxicidade.....	62
3.8.1. Ensaio de viabilidade celular.....	62
3.9 Análise Estatística.....	62
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>63</b>
4.1 Rendimento do amido de Cará-Roxo.....	63
4.2 Rendimento da polpa de Açaí liofilizado.....	63
4.3. Teor de amilose.....	64
4.4 Comportamento reológico do hidrogel.....	64
4.5 Composição centesimal do amido de Cará-Roxo, polpa do Açaí e do hidrogel.....	67
4.6 Ensaio do Potencial Antioxidante <i>in vitro</i> .....	69
4.7 Análise de Difratometria de Raio X (DRX).....	71
4.8 Condições de CLAE do hidrogel de Cará-Roxo e Açaí.....	75

	Pag.
4.9 Ensaio de viabilidade celular.....	77
<b>5 CONCLUSÕES.....</b>	<b>81</b>
<b>6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>82</b>
<b>7 CAPÍTULO II: CARA BIOPRODUCTS (Dioscorea spp): a review study on the composition and applications.....</b>	<b>94</b>
<b>8 CAPÍTULO III: BIOPRODUCTS OF AÇAÍ (Euterpe spp): a review study on the composition and applications (Amazon, Brazil).....</b>	<b>119</b>

## **APRESENTAÇÃO DOS CAPÍTULOS**

O desenvolvimento desta tese consiste de 3 capítulos, onde são mencionados a Introdução, Revisão de literatura, os materiais e métodos, os resultados e discussão, os artigos publicados de acordo com a apresentação abaixo:

O **CAPÍTULO I:** contém a Introdução geral, Revisão de literatura, materiais e métodos, os resultados e as conclusões.

O **CAPÍTULO II:** contém o artigo "*BIOPRODUTOS DE CARÁ (Dioscorea spp): um estudo de revisão sobre a composição e aplicações*". Esse capítulo está formatado na forma de artigo, o qual foi submetido à revista "European Academic Research" (ISSN 2286-4822) em julho de 2020 e aceito para publicação em agosto de 2020.

O **CAPÍTULO III:** contém o artigo "*BIOPRODUTOS DE AÇAÍ (Euterpe spp): um estudo de revisão sobre a composição e aplicações (Amazônia, Brasil)*". Esse capítulo está formatado na forma de artigo, o qual foi submetido à revista "European Academic Research" (ISSN 2286-4822) em abril de 2021 e aceito para publicação em maio de 2021.

## CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO GERAL

No ecossistema tropical da floresta Amazônica, uma grande variedade de espécies vegetais nativas são reivindicadas em diversas áreas do conhecimento como fontes de nutrientes e benefícios à saúde, devido sua composição química rica em substâncias bioativas como antocianinas e carboidratos, principalmente em amido, compostos fenólicos, vitaminas, minerais, proteínas, lipídios, carotenoides e flavonoides (BARBOSA et al., 2016; DIAS-SOUZA et al., 2018). Além do potencial químico-preventivo de impedir a oxidação de macromoléculas biológicas ou estruturas celulares, dentre outros.

Situam-se entre tais espécies vegetais, o açaí (*Euterpe precatoria* Mart) e o cará-roxo (*Dioscorea trifida* L.), que por suas características nutricionais nativas, são eleitos da grande biodiversidade existente na floresta amazônica. Apresentam elevada prevalência de atributos exóticos e importância alimentar, sociocultural e econômico para as populações locais, pois estão correlacionados à manutenção, promoção, proteção da saúde e prevenção de doenças (CAÚPER, 2006).

Diante disso, as substâncias bioativas presentes nas espécies *Euterpe precatoria* Mart e *Dioscorea trifida* L. despertaram interesse e popularidade como matéria-prima em diversas aplicações alimentares e não alimentares, tanto na indústria alimentícia, de cosméticos, como na indústria farmacêutica (DE SOUZA SILVA, 2019; FELZENSZWALB et al., 2013; GUTIÉRREZ et al., 2014; HORNING et al., 2017; YAMAGUCHI et al., 2015). Isso porque agregam valores, são adequados como excipientes e exercem inúmeras funções biológicas que envolvem várias doenças crônicas não transmissíveis (DCNT) (BELDA-GALBIS et al., 2015; CARVALHO-PEIXOTO et al., 2015). Além disso, auxiliam na modulação do estresse oxidativo, induzido pela atividade física e a ocorrência de possíveis deficiências nutricionais (MACEDO et al., 2017).

Sabe-se que nos seres vivos, o processo de respiração celular do oxigênio intervém no metabolismo de proteínas, carboidratos e gorduras. Exacerba a energia calórica, a liberação de dióxido de carbono, água, espécies reativas de oxigênio (ERO) e espécies reativas de nitrogênio (ERN), que são geradas em resposta aos estímulos endógenos e eventos oxidativos danosos envolvidos na fisiopatologia de inúmeras doenças (LICHTENBERG; PINCHUK, 2015).

O exercício físico regular, com intensidade de esforço moderado tem sido considerado como um dos pilares implicados à saúde (STIES et al., 2018). Ainda, pode ser uma fonte exógena de estresse oxidativo, porque aumenta o consumo de oxigênio no nível da respiração mitocondrial levando a produção de espécies químicas oxidantes e outras espécies reativas (FUSTER-MUÑOZ et al., 2016).

Embora o exercício físico promova adaptações benéficas no organismo, quando realizado de forma exaustiva, por um longo período de tempo e com um maior consumo de oxigênio (O<sub>2</sub>), potencializa no organismo a formação de vários metabolitos e espécies químicas oxidantes com alto poder de reatividade denominadas de radicais livres (MARTINS, 2017), isso resulta em eventos oxidativo danosos às fibras musculares, moléculas biológicas e outros tecidos (ZIECH et al., 2010).

Todavia, o organismo possui um sistema antioxidante de defesa enzimático representado pelo Superóxido Dismutase (SOD), Catalase (CAT) e Glutathione Peroxidase (GPx). Evans e Omaye (2017) destacam também o sistema não enzimático, que em sua maioria são exógenos, ou seja, necessitam ser absorvidos pela alimentação como as vitaminas lipossolúveis, as vitaminas hidrossolúveis, os oligoelementos, os bioflavonóides, etc.

Por esse aspecto, o consumo dos suplementos nutricionais e alimentos para atletas estão entre as tendências crescentes do mercado global da indústria de alimentos esportivos, que procuram atender ao ímpeto de consumidores ávidos por produtos naturais ao invés de sintéticos, pois aumenta o tecido muscular, a oferta de energia para o músculo e a taxa de produção de energia muscular (MOURA, 2016).

Desta forma, ao considerar as propriedades biofuncionais do açáí *Euterpe precatoria* Mart e nutricionais do cará-roxo *Dioscorea trifida* L., associadas à outras substâncias bioativas existentes nestas espécies vegetais (BARBOSA et al., 2016; DIAS-SOUZA et al., 2018; RAMOS et al., 2014; SADOWSKA-KREPA et al., 2015; TEIXEIRA, 2011), que justifica e permite criar um suplemento alimentar em que se possa complementar a alimentação-base e atingir as quantidades de nutrientes que os atletas e praticantes de exercícios precisam.

Atualmente, devido à grande variedade disponível, os suplementos alimentares estão entre os produtos mais desejáveis da dieta de atletas e praticantes de atividade física, pois diversos objetivos são buscados como: substrato energético, hipertrofia muscular, melhora do condicionamento físico, potencialização do desempenho ao treino, emagrecimento, definição muscular, desempenho e/ou adaptações dentre outros. Portanto, pela importância de mais estudos voltados para a saúde, diante do panorama apresentando acima, nosso trabalho de pesquisa que compõe esta tese teve como objetivo geral:

- Desenvolver um hidrogel suplementar energético composto de amido do cará-roxo (*Dioscorea trifida* L.) e açáí (*Euterpe precatoria* Mart), e verificar os efeitos fisiológicos sobre os biomarcadores do exercício aeróbio.

Para tanto, esta pesquisa teve como objetivos específicos:

- Caracterizar química e estruturalmente as matérias-primas vegetal e o material obtido;

- Produzir um hidrogel antioxidante e repositores glicêmicos compostos de cará-roxo e açaí, capaz de ser usado como alimento funcional;
- Determinar as propriedades reológicas em estado estacionário (curvas de escoamento) das soluções de hidrogéis compostos de cará-roxo e açaí;
- Verificar a atividade antioxidante *in vitro* da matéria-prima e do hidrogel formulado, pelos métodos DPPH e ABTS;
- Avaliar a citotoxicidade *in vitro* do hidrogel, do amido de cará-roxo e da polpa liofilizada de açaí em fibroblastos humanos (MRC-5).

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O bioma Amazônia, abriga a maior extensão de florestas tropicais com o maior reservatório de biodiversidade do planeta. Caracteriza-se tanto pela sua elevada extensão, quanto pelo conjunto de ecossistemas interligados pela Floresta Amazônica e pela Bacia Hidrográfica do Rio Amazonas. Possuindo ainda uma riqueza de espécies que extrapola trinta mil vegetais superiores catalogados, o que corresponde a 10% da flora mundial, dentro de uma área de 7,01 milhões de Km<sup>2</sup> (YAMAGUCHI, 2020).

De acordo com dados da EMBRAPA (2018), o complexo e heterogêneo bioma Amazônico ocupa uma área total de 419.694.300 milhões de hectares e 82% de área preservada, desfrutando de alta riqueza com uma variadíssima espécie de plantas superiores detidas nas formas distintas das flores, raízes, tubérculos, hortaliças, folhas, sementes, frutos e outras estruturas nativas, que desempenham um papel importante como fonte de alimentação, produção e renda das populações tradicionais aí aportadas, dando destaque à diversidade cultural (BIESKI et al., 2015).

### 2.1 O AÇAÍ (*Euterpe spp.*)

#### 2.1.1 Aspectos Botânicos do gênero *Euterpe precatória* Mart e *Euterpe oleracea* Mart

O açaí é uma fruta nativa da palmeira do gênero *Euterpe*, que faz parte da tribo *Euterpeinae* da família *Arecaceae/Palmae*, contendo 183 gêneros. Só no Brasil ocorrem 39 gêneros, dos quais cerca de 28 espécies são conhecidas e estão distribuídas em matas de terra firme, várzea e igapó das florestas tropicais, ao longo da América Central (Belize, Guatemala, Honduras, Nicarágua, Costa Rica e Panamá), até o norte da América do Sul (Colômbia, Venezuela, Trinidad e Tobago, Guianas, Equador, Peru, Bolívia) e, toda a Bacia Amazônica (HENDERSON et al., 1995; YAMAGUCHI et al., 2015).

Estima-se que no Brasil o gênero *Euterpe* apresenta-se constituído por sub-famílias com um número variável de tribos e sub-tribos, com quatro epítetos infraespecíficos, sem subespécies e quatro variedades. Todas as espécies são terrícolas e de porte arbóreo, dentre elas tem forte ocorrência na Amazônia *Euterpe oleracea* Mart., *Euterpe precatória* Mart (OLIVEIRA; CARVALHO; NASCIMENTO, 2000).

A etimologia da palavra açaí encontra-se no vocábulo tupi "i'wasa'i" que significa "fruto que chora", devido ao processo de extração da polpa, que flui lentamente, em forma de grandes gotas (OLIVEIRA; CARVALHO; NASCIMENTO, 2000). A palavra *Euterpe* significa "elegância da floresta", "a Doadora de Prazeres", do grego eu (bom, bem) e τέρπ-εω ('dar

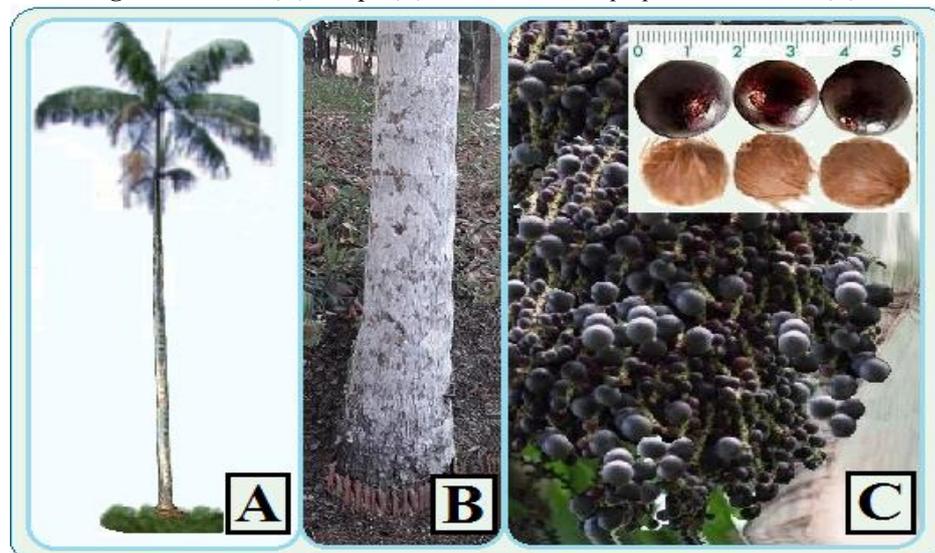
prazer), a espécie *edulis* vem do latim, que significa comestível (INBIOVERITAS PROJECT, 2019).

Na Amazônia oriental as palmeiras mais conhecidas e encontradas com mais frequência são as espécies *Euterpe oleracea* Mart (*E. oleracea*) ou "Açaí" e *Euterpe precatoria* Mart (*E. precatoria*) ou "Açaí da mata" (MARTINOT; PEREIRA; SILVA, 2017).

O gênero *E. precatoria* conhecido vulgarmente como açazeiro, açai-solitário, açai do Amazonas, açai da mata e açai-nativo, é uma palmeira neotropical, perene, sub-dossel de estipe delgado e único, de cor clara liso e cinza, atingindo em média, 15 m a 35 m de altura e medindo de 10 a 20 cm de diâmetro (Figura 1 A e B). Produzem inflorescência pequenas formadas pelo ráquis que formam cachos em número de 70 a 150, com 35 cm a 45 cm de comprimento, cujos frutos quando maduros têm polpa arroxeada, são globulosos lisos medindo 1,0 cm a 2,0 cm de diâmetro e peso de 2 g a 3 g, possuem uma única semente envolta por fibras mesocárpicas, correspondendo a cerca de 7 % após a remoção da semente (Figura 1C).

O endosperma é denso, rígido, homogêneo, esbranquiçado e brilhante, envolto por um tegumento delgado amarronzado e exibe uma pequena cavidade periférica onde o embrião zigótico se encaixa (ALVES, 2020). As folhas são do tipo pinadas variando de 10 a 20 cm, bainha fechada lisa de coloração verde com até 1,5 m de comprimento; pecíolo até 51 cm de comprimento agrupadas regularmente (CARTONILHO, 2008).

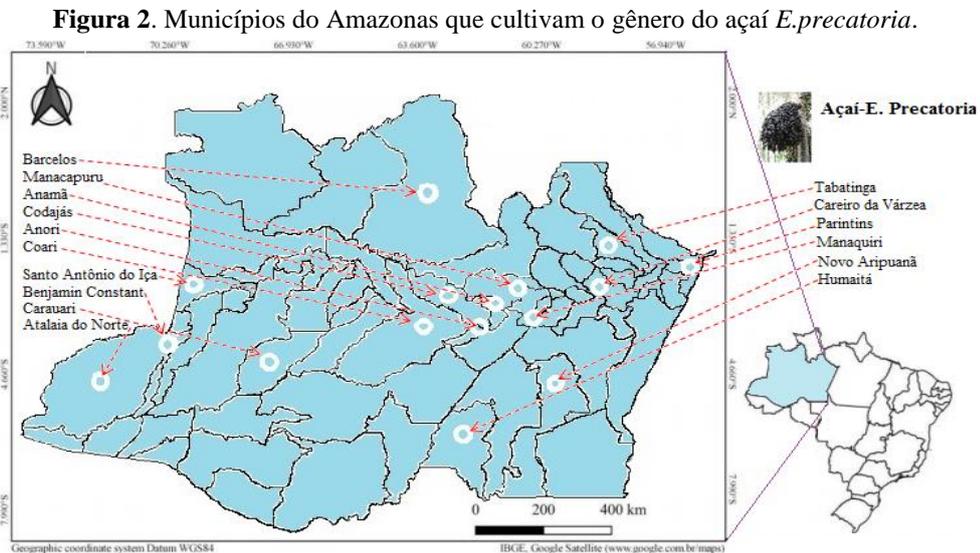
**Figura 1.** Planta (A), estipe (B) e frutos de *Euterpe precatoria* Mart (C).



**Fonte:** do próprio autor.

Em princípio, a reprodução da palmeira *E. precatoria* é via sexuada, isto é, pela germinação das sementes que leva de 30 a 60 dias. A frutificação inicia-se a partir do terceiro ano após o plantio, ocorrendo produção praticamente o ano todo. O período de produção da espécie *E. precatoria* vai de janeiro a agosto (CARTONILHO, 2008).

Embora o açazeiro da espécie *E. precatória* ocorra naturalmente em toda a região amazônica, a produção econômica dos frutos é creditada, basicamente, aos municípios de Manacapuru, Anamá, Codajás, Anori, Coari, Carauari, Humaitá, Tabatinga, Benjamin Constant, Novo Aripuanã, Parintins, Careiro Castanho, Manaquiri, Barcelos, Atalaia do Norte, Santo Antônio do Iça, regiões onde enseja as atividades econômicas (Figura 2).



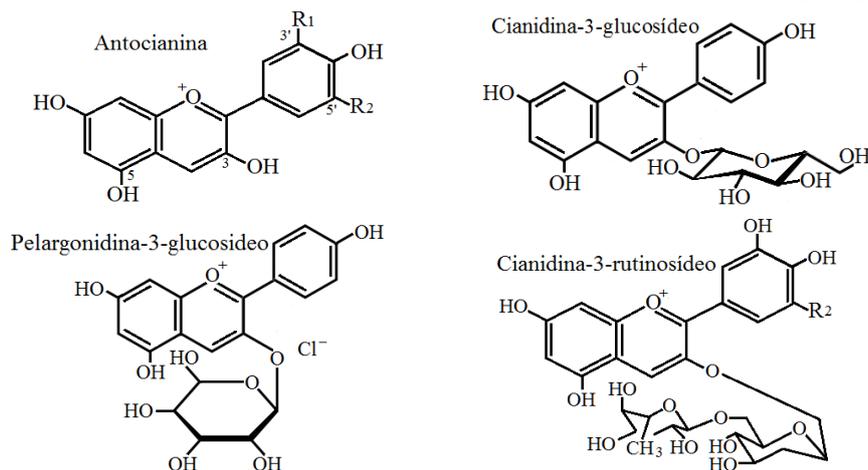
### 2.1.2 Composição fitoquímica e compostos bioativos do Açaí (*Euterpe spp.*)

De acordo com Dias-Souza et al. (2018) o fruto do açaí têm o potencial de ser usado como antioxidante, proporcionando assim benefícios à saúde. Em face às quantidades consideráveis de macro minerais, micro minerais como proteínas, cálcio, magnésio, manganês, zinco, cobre, boro e cromo, vitaminas do complexo B, tocoferol, ácido ascórbico, lipídeos e fibras (ALVES, 2020; FERNANDES, 2016, TAVARES et al., 2020).

Em relação às propriedades fitoquímicas entre os gêneros *E. oleracea* e *E. precatória*. Os estudos de Alves (2020), Pacheco-Palencia et al. (2009) e Yamaguchi et al. (2015) identificaram flavonoides como a orientina, a isoorientina, o ácido vanílico, ácido gálico, ácido ferúlico, ácido elágico, ácido *p*-cumárico e ácido clorogênico. Além de epicatequina, catequina e a procianidina A2 e B2, compostos fenólicos, lignóides e antocianinas na forma heteroglicosídica, sendo, as mais comuns derivadas da cianidina 3-rutinosídeo, cianidina-3-sambubiosídeo, peonidina-3-rutinosídeo, delphinidina-3-glucosídeos, cianidina 3-glucosídeos e pelargonidina-3-glucosídeos, importantes na dieta e estão representadas quimicamente na Figura 3.

Esses polifenóis tornam o açaí uma fruta rica em propriedades antioxidantes, anti-inflamatórias e antiproliferativas, e ao mesmo tempo propriedades cardioprotetoras, as quais foram verificadas principalmente em ensaios *in vivo*.

**Figura 3.** Estrutura química das antocianinas encontradas no açaí (*Euterpe* spp.).



Fonte: do próprio Autor

Neste contexto, o estudo de Jensen, Kvist e Christensen (2002) identificou um lignano antiplasmodial e ácido p-hidroxibenzóico como constituinte químico existente nas raízes da planta da espécie *E. precatória*. Devido ao alto valor nutricional e funcional da espécie *Euterpe* spp., a polpa liofilizada da espécie *E. oleracea* e *E. precatória* se destacam por apresentar elevada atividade antioxidante demonstrada por estudo *in vitro*, em modelos de cultura de células e *in vivo* com animais e humanos (PACHECO-PALENCIA et al., 2009).

Em outro trabalho, Kang et al. (2012) mediram a atividade antioxidante e anti-inflamatória incluindo uma série de ensaios baseados na ORAC, DPPH e na proteção antioxidante baseada em células de eritrócitos (CAP-e), bem como no ensaio de fosfatase alcalina embrionária (SEAP) segregado via sinalização do fator de transcrição nuclear kappa B (NF- $\kappa$ B) que aumenta a expressão de vários genes. Para fins comparativos, foi observada que a capacidade antioxidante da polpa do *E. precatória*, era superior à polpa da *E. oleracea*. Além disso, foi sugerido que certos polifenóis isolados da *E. precatória* eram potenciais inibidores da ativação de NF- $\kappa$ B induzida por lipopolissacarídeos.

Em relação à espécie *E. oleracea*, Garzón et al. (2017) analisaram o conteúdo fenólico total de antocianina e atividade antioxidante. Os resultados mostraram que o açaí colombiano possui altas proporções de delphinidina, cianidina e polifenóis como flavonóis, flavonas, flavan-3-ols, flavononas e dihidroflavonóis.

### 2.1.3 Cadeia de valor do açaí (*Euterpe* spp.)

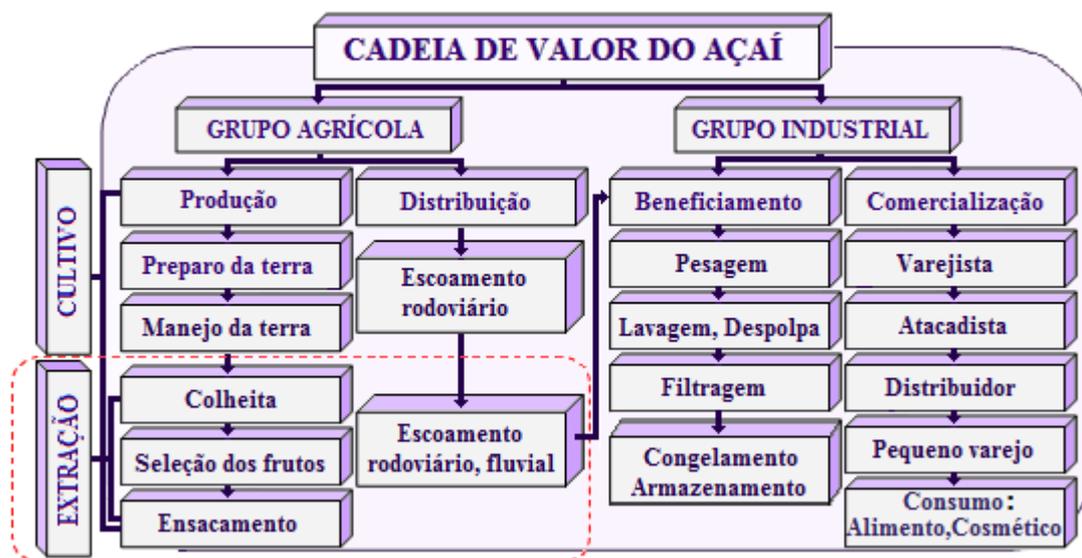
No estuário amazônico, onde enseja fundamental atividade extrativista tradicional de manejo do açaí, até recentemente, a exploração da palmeira era feita para subsistência, através do despulpamento manual dos frutos, da extração e comercialização do palmito, porém estes dados não apareciam nas estatísticas de produção e venda (PARENTE et al., 2003).

Diante disso, nas áreas rurais da região amazônica a produção comercial envolve desde o plantio combinado à extração e ao micro empreendimento tecnológico, organizado em associações e cooperativas formadas por profissionais das etnias indígenas, comunidades tradicionais rurais e empresas familiares locais (PINTO, 2018). Devido a sua alta capacidade de propagação em áreas úmidas de baixa altitude, o fruto ocorre também em outros países amazônicos e na região Centro-Oeste do Brasil.

A cadeia de valor do açaí, no entanto, elaborada utilizando o modelo de Coelho et al. (2017), envolve o encadeamento de várias atividades oriundas das duas unidades exclusivas e essenciais, que corresponde às atividades divididas em dois grupos (Figura 4).

O primeiro grupo chamado agrícola, compreende um conjunto de atividades essenciais para a lógica de produção do açaí em escala industrial. Abrange, desde o processo de produção matéria prima, preparo da terra e abertura da cova, manejo e plantio, colheita em 180 dias após a antese, seleção dos frutos, ensacamento ou em cestos, paneiros, caixas de plástico e, o escoamento por via fluvial e/ou rodoviário.

**Figura 4.** Estrutura da cadeia de valor do açaí com a integração de suas derivações e a direção metodológica.



Fonte: Coelho et al., 2017, adaptado com modificações.

No segundo grupo chamado industrial, ocorre o processo de beneficiamento a partir do desenvolvimento tecnológico, a administração de recursos e a transformação da matéria prima em produto que possibilita a agregação de valor na fase de comercialização do açaí, passando por vários canais de distribuição até o consumidor final. Porém, não visam apenas a rentabilidade, mas, também, buscam atender às necessidades alimentares básicas (SIQUEIRA, 2018).

### **2.1.4 Importância econômica do açaí**

Na modernidade, a lógica industrial instala-se no agronegócio do açaí, através das formas de produção por apresentar multiplicidade de uso com elevados níveis de exploração, em virtude da importância econômica em função da produção/extração da polpa (BELDA-GALBIS et al., 2015). Na definição da estrutura extrativista, por exemplo, o manejo insuficiente do açaizal na várzea para atender à demanda, deu início a modalidade de produzir açaí, por meio do cultivo em terra firme.

Assim, novas tecnologias de capacitação da mão de obra e extração do fruto, com novas alternativas de exploração impulsionam o crescimento com o propósito de atender às expectativas atuais e futuras aos novos nichos de mercado e agregar valor ao produto final.

Neste perspectiva, o processo de comercialização da polpa do fruto resultou no envio de açaí para países como o Japão, Holanda, Coreia do Sul, Estados Unidos, Austrália, Brasil e Canadá. A literatura faculta esse comportamento do açaí, sobretudo, aos aspectos de estética e saúde, além da demanda na construção de casas, roupas, utensílios, armas, retorno social, potencial econômico conferido às inovações tecnológicas da indústria fármaco-alimentício e à inclusão de novas classes sociais (CARTONILHO, 2008; SCHIRMANN, 2012).

Na nova dinâmica, o açaí é um alimento funcional popular da Amazônia atribuído ao potencial tecnológico de aproveitamento integral da palmeira. Além da polpa e do palmito, as sementes (caroços) também são aproveitadas para artesanato, adubo orgânico, extração de celulose e hemicelulose ou matéria-prima para biorrefinaria. As folhas são utilizadas para cobertura de casas, os estipes para a extração de celulose e fabricação de papel (ALVES, 2020).

Devido ao uso crescente no âmbito do mercado nacional e internacional de nutracêuticos, o efeito econômico do açaí é alegado pelo seu perfil nutricional, elevado teor de compostos fenólicos com propriedades antioxidantes, pela novidade, sabor atrativo exótico do fruto e tendências de bem-estar. O fenômeno mercadológico do açaí levou à expansão das áreas de manejo, da produção tradicional que adotou novos sistemas estruturais de plantio e colheita, atrelando às modernas indústrias que atualmente dominam a produção (PEIXOTO, 2014).

### **2.1.5 Aplicações alimentares do açaí (*Euterpe spp.*)**

A polpa do açaí é extraída dos frutos das espécies *Euterpe oleracea* Mart e *Euterpe precatoria* Mart. Quando misturados em água morna e amassados sobre peneiras de fibras naturais, separa-se a polpa dos caroços e cascas para produzir uma bebida classificada em: polpa de açaí, sem adição de água e sem filtração; açaí grosso tipo A, com adição de água e apresentando acima de 14% de sólidos totais); açaí médio do tipo B, apresentando acima de 11 a 14% de sólidos totais e açaí fino do tipo C, apresentando de 8 a 11% de sólidos totais.

Recentemente, o comércio de derivados do açaí ganhou popularidade tradicional amazônica, para o consumo artesanal da polpa acompanhada do peixe e farinha de tapioca ou de mandioca, na forma de doces, sorvetes, cremes, iogurtes, licores, picolés, geleias, mingau, doces, néctares, chás, *in natura*, sucos, bebidas fermentadas (COSTA et al., 2018; NOGUEIRA et al., 2005; SOUSA et al., 2006; SANTANA; LIMA; MOURÃO, 2014; SILVA; SOUZA; BERNI, 2005; ZOCCHI et al., 2017). Algumas das várias aplicações comerciais do açaí são apresentadas na Figura 5.

**Figura 5.** Formas comerciais de Açaí (*Euterpe spp.*).



**Fonte:** Google.com/search?q=formas+comerciais+o+açaí, com adaptações.

Na área de alimentos, o açaí é utilizado para uma variedade de aplicações, como por exemplo, *shakes*, *smoothies*, bebidas esportivas energéticas e isotônicas, vinho de açaí, corantes naturais e artificiais, refrigerantes, encapsulados, suplementos dietéticos, entre outros (DIAS-SOUZA, 2018; YAMAGUCHI et al., 2015).

## 2.2 O CARÁ (*Dioscorea spp.*)

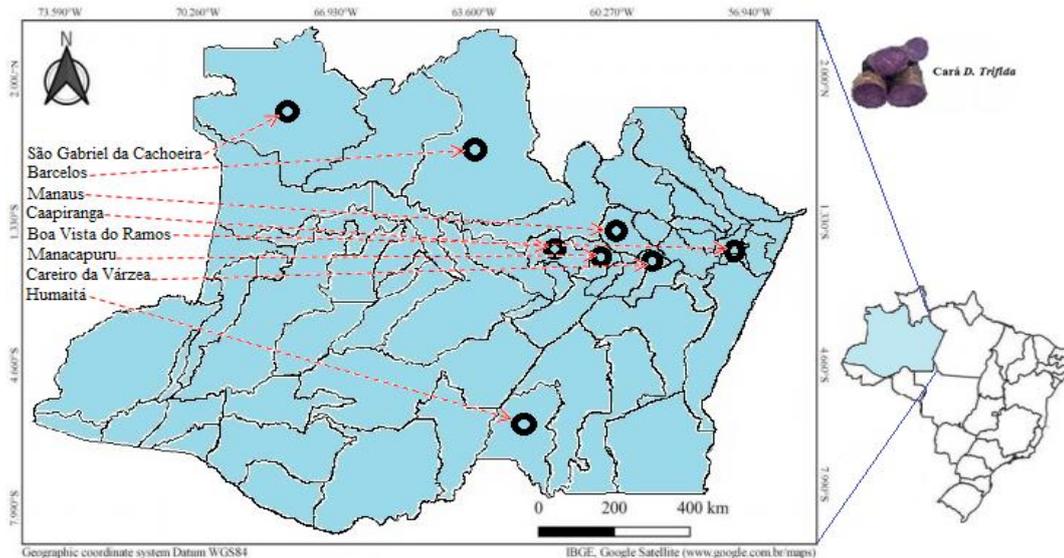
Dentre as espécies vegetais da floresta tropical da Amazônia, o cará é um tubérculo monocotiledôneo do gênero *Dioscoreae*, considerada a maior, mais distribuída e importante ordem da família Dioscoreaceae no mundo (CASTRO, 2011).

A ocorrência das espécies de carás *D. trifida*, *D. alata*, *D. cayenensis*, *D. rotundata*, *D. esculenta* e *D. bulbifera* estão originalmente distribuídas em áreas localizadas no Centro-Oeste, Sul e Sudeste do Brasil, com representantes nos estados de Mato Grosso, Goiás, Minas Gerais, Santa Catarina, São Paulo (NASCIMENTO et al., 2013; SIQUEIRA et al., 2014). Na região Norte do Brasil, são encontradas nos estados do Acre, Amazonas e Pará (FLORA DO BRASIL, 2020), sendo que 90 destas espécies, são consumidas como alimento básico por seu alto teor de amido e valor medicinal.

Por este aspecto, estima-se que na região Amazônica, a *D. trifida* seja a principal e predominante espécie cultivada e comercializada como inhame roxo, inhambu, cará-roxo, cará

doce e cará (MEDEIROS et al., 2018; UCHÔA, 2016). Em consenso, Beyerlein e Pereira (2018), Nascimento et al. (2015) destacam os municípios de Caapiranga no Baixo Solimões, Manaus, Barcelos, Boa Vista do Ramos, Humaitá, Careiro da Várzea, Manacapuru, além das comunidades de etnias indígenas no município de São Gabriel da Cachoeira, como principais cultivares do cará-roxo conforme a Figura 6.

**Figura 6-** Municípios do Amazonas que cultivam o gênero do cará *D. trifida*.



**Fonte:** Google.com.br/maps, com adaptações.

### 2.2.1 Aspectos Botânicos do Cará-roxo (*Dioscorea Trifida* L.)

As primeiras referências sobre as túberas do cará-roxo surgiram com o reconhecimento do nome *Dioscoreae* por Brown em 1819, que buscou traçar o possível percurso que deram origem à família Dioscoreaceae. Entretanto, as informações sobre os aspectos taxonômicos, morfológicos, filogenéticos, de classificação, identificação, reprodução e fisiologia do gênero, tiveram registros somente na década de 1960 através de vários estudos (BURKILL, 1960).

Posteriormente, Rašper e Coursey (1967) realizaram os primeiros estudos *in vitro* com o gênero *Dioscorea* spp. No relatório, os autores mostraram que algumas das espécies cultivadas são fontes de metabólitos secundários como os alcaloides, usados como componentes farmacológicos ativos na síntese de hormônios sexuais e corticosteroides.

Embora um elevado número de espécies de Dioscoreaceae sejam conhecidas, até o ano de 1970, pouco se sabia sobre sua origem, diversidade, marcadores bioquímicos e moleculares da espécie *D. trifida*. Porém, os primeiros testes de polimorfismo e padrões de amplificação de microssatélites em acessos cultivados, foram realizados na Guiana Francesa com a espécie *D. trifida* (HOCHU et al., 2006).

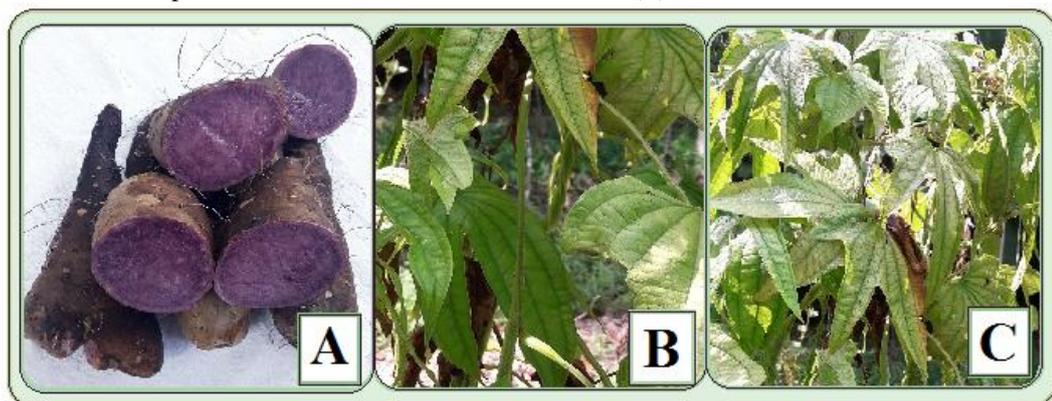
Diante da necessidade de conhecer os aspectos botânicos, Bousalem et al. (2006) incluíram moderna técnica de citometria de fluxo para analisar o status citogenético do cará-

roxo. Neste trabalho os autores estabeleceram bases extremamente úteis na identificação e caracterização molecular, com evidências para o melhoramento e conservação eficaz, bem como para elucidar a filogenia, as origens e a evolução do gênero.

Na botânica, o inhame *D. trifida* é relatado mais recentemente por Beyerlein e Pereira (2018), como uma hortaliça herbácea, perene e alogâmica com ciclo de vida anual, cultivada amplamente em muitas roças e quintais nas regiões de clima tropical Amazônico (MOLLICA, 2013). Neste particular, a propagação é feita de forma vegetativa utilizando-se tubérculos sadios (Figura 7A), ou por sementes, pois as plantas são dióicas, isto é, formam a inflorescências de pequenas flores fasciculadas ou solitárias, femininas em espigas simples com ovários hispídeos, e masculinas dispostas nos racimos de três a cinco em plantas separadas preservando a diversidade alélica individualmente, resultando em frutos não comestíveis (CASTRO et al., 2012).

O caule glabro da espécie *D. trifida* é escalador e volúvel, poligonal sem espinho, volumoso, alado estriados na parte inferior (Figura 7B), com bulbilhos nas axilas dos ramos, enrolando-se no sentido anti-horário e podem atingir até 5 metros de altura (CASTRO et al., 2012). As folhas são verdes palmadas, com pigmento marrom pecioladas estreitas com três a cinco lobos em forma acuminada ou oval-agudos (Figura 7C), haste alada poligonal com flores brancas, amarelas ou verde-claras. Produzem túberas subterrâneas, ovóides e oblongos, com 15 a 20 cm de comprimento, pesando de 80 a 150g (NASCIMENTO et al., 2015).

**Figura 7** - Tubérculos de cará *Dioscorea trifida* (A), Caule escalador e volúvel (B), Folhas pecioladas estreitas com três a cinco lobos (C).



**Fonte:** do próprio Autor

Na propagação agâmica da *D. trifida*, as túberas-sementes são semeadas em 30 dias, e após 60 dias de germinação, as plantas já podem ser transplantadas em covas definitivas. A produção depende do solo, que na Amazônia são dominados por terras baixas e possuir na sua constituição uma forma razoável de argila, considerado um solo franco-argiloso e franco-

arenosos ou mesmo arenosos com boa drenagem, pH em torno de 6,0, de baixa fertilidade (ASTURIZAGA AVILEZ, 2010).

O processo de propagação inicia com a limpeza da área, sem necessidade de adubação devido à baixa ou nenhuma suscetibilidade a pragas e doenças, em acordo com a estação climática e a fenologia da planta (CASTRO et al., 2012).

De acordo com Asturizaga Avilez (2010), a fase de dormência ou repouso fisiológico das túberas-sementes que serão plantadas, demora em torno de 40 a 80 dias após a colheita e são guardados em ambientes secos, arejados e cobertos por folhas até iniciar a brotação. O plantio bem-sucedido requer irrigação suplementar em época de seca (julho a outubro) a fim de manter a umidade das túberas-sementes. Além disso, durante os primeiros cinco meses de desenvolvimento, embora sejam tolerantes a chuvas fortes (dezembro a maio), é necessário evitar o excesso de umidade para não causar podridão.

O surgimento das folhas e o aumento da área foliar, o alongamento dos caules, as ramificações diferenciadas e o crescimento do sistema radicular marcam a fase vegetativa, e pode variar de 80 a 150 dias. No final desta fase e com o acúmulo de carboidratos, a planta inicia a tuberização, surge o órgão de reserva em forma de dedos que se liga ao caule aéreo rodeado por raízes, que atinge seu tamanho máximo aos 10 ou 11 meses quando começa a florescer (CASTRO et al., 2012).

Após seis meses de plantio, inicia, então, a fase de reprodução, aparecem as flores enquanto as raízes tuberosas subterrâneas se desenvolvem, com formas e tamanho variáveis. Em plantios de ciclos normais a colheita é feita 10 ou 11 meses após o plantio quando a folhagem da planta volta a morrer.

A medula (massa feculante comestível) do cará *D. trifida* é compacta e varia do branco (Figura 8A) devido à presença de pigmentos amarelos (carotenóides), amarela, rosa ou "roxão" (pigmentação roxo-escuro) devido às antocianinas (Figura 8B); "roxo" (medula roxo-intermediária); "roxinho" (medula roxo-clara) e quimeras com setores brancos e roxos. A superfície geralmente pode ser formada por uma epiderme de cor marrom-escura e coberta por algumas raízes fibrosas (UCHÔA, 2016).

Em 2012, no município de Caapiranga as etnovarietades do tubérculo da espécie *D. trifida* foram objeto de investigação de Castro e colaboradores, que usaram técnicas com ferramentas específicas para registrar 15 variedades locais e 11 cultivadas, diferindo quanto à forma, tamanho e cor, sendo elas: "Roxo comum", "Rabo de mucura", "Ovo de cavalo", "Pé de burro", "Roxão", "Branco", "Cará açai", "Rabo de mucura", "Cará Miguel", "Cará durão", "Cará macaxeira", "Pata de onça", "Cara-roxo", "Cará-inhame", pertencentes à espécie *D. trifida*, uma pertencente à *D. bulbifera* e outras quatro que não tiveram identificação botânica.

**Figura 8** - Tubérculo de cará *Dioscorea trifida*, branco (A) e roxão (B).



**Fonte:** do próprio Autor

Além das informações do estudo anterior, bem como a demanda por novas tecnologias, Beyerlein e Pereira (2018) também foram ao município de Caapiranga e, selecionaram 45 descritores botânicos para identificar 20 variedades comerciais da espécie *D. trifida*, dos quais 13 foram para tubérculos, 12 para as hastes, 14 para folhas e nove para inflorescências e sementes.

### 2.2.2 Composição fitoquímica do Cará-roxo (*Dioscorea trifida* L.)

Os tubérculos da espécie *D. trifida* apresentam 75,6 a 84,3 % de amido, mucilagem e açúcares como principal componente, com cerca de 118 calorias que corresponde ao carboidrato (ASTURIZAGA AVILEZ, 2010; DA COSTA et al., 2020; RAMOS-ESCUADERO et al., 2010). E também é rico em minerais como o magnésio, cálcio, potássio, fósforo, cobre, zinco e fibras solúveis (PÉREZ et al., 2012; SANTOS Q., 2016; TACO, 2011). Proteína dioscorina de 1 a 4%, pequenas frações de lipídeos, fibras entre 1 a 3 % (DA COSTA et al., 2020; SANTOS S., 2016; TEIXEIRA, 2011). Além disso, vale saber que o cará-roxo é relatado por conter alto teor de vitaminas hidrossolúveis do complexo B (tiamina, riboflavina, niacina, adermina) (ASTURIZAGA AVILEZ, 2010; RAMOS, 2014; SANTOS S., 2016).

Vários autores, (Melo et al., 2015; Ramos-Escudero et al., 2010; Santos S., 2016) em muitos locais diferentes, investigaram a espécie *D. trifida* e identificaram na composição bioativa as vitaminas lipossolúveis A, D, K, E e C que podem variar de 13,0 a 24,7 mg/100g. Além da presença de aminoácidos essenciais (leucina, lisina, metionina, cisteína, fenilalanina, treonina, tirosina, valina, isoleucina e triptofano) (MARTIN et al., 1978).

Sabe-se que os tubérculos de *Dioscorea* spp. são ricos em terpenos, formados por várias unidades de monossacarídeos classificados como saponinas esteroidais que consistem de substâncias derivadas do metabolismo secundário e pertencem ao grupo dos polissacarídeos (LI et al., 2017), cujo esqueleto polimérico compreende principalmente resíduos de ácidos D-glicose (Glc), D-galactose (Gal), N-acetilglucosamina, D-ácido glicorônico (GlcA), D-xilose

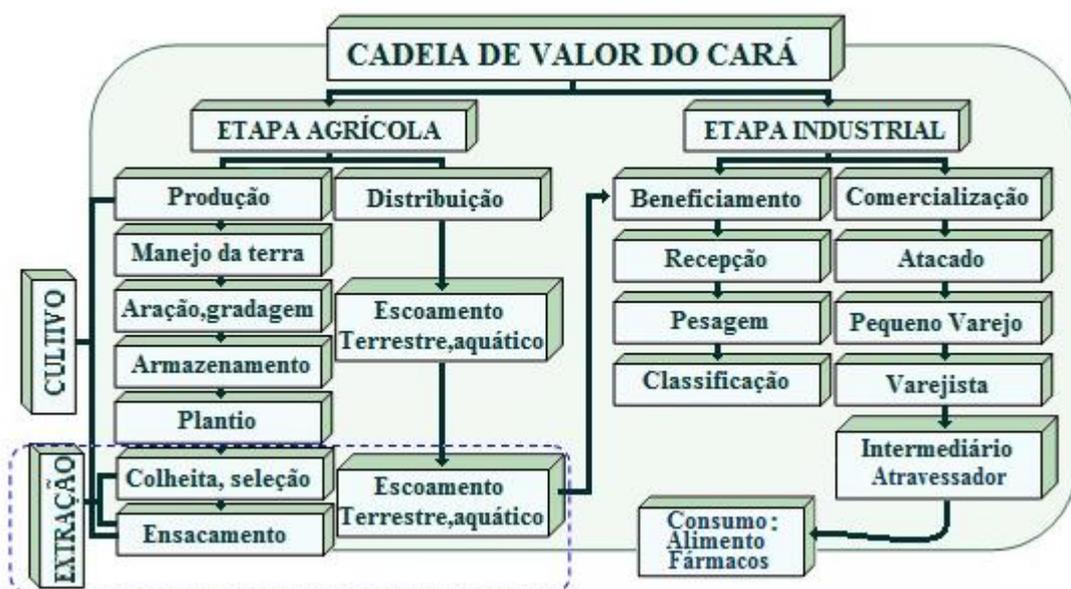
(Xyl) ou L-ramnose (Rha) ligados a uma porção aglicona (não açúcar), insolúvel em água (hidrofóbica) (EISMANN, 2019). Estas saponinas esteroidais funcionam como substâncias de defesa protegendo-os contra microrganismos, fungos, bactérias ou ataque predatório dos insetos. Para tais espécies, a diosgenina e a alatoína constituem os principais metabólitos bioativos secundários (MOLLICA et al., 2013).

### 2.2.3 Cadeia de valor do Cará-roxo (*Dioscorea trifida* L.)

Atualmente, na região amazônica a cultura do *D. trifida*, representa uma atividade importante papel socioeconômico do tipo agro ecossistema de terra-firme mantida por pequenos produtores e familiares nas etnias indígenas, caboclo-ribeirinhos, comunidades tradicionais rurais em toda a região, que se caracteriza como uma forma principal de produção, pois, segundo Castro (2012) associa a família tanto para geração necessária de renda, quanto para o consumo próprio.

A cultura do *D. trifida* ainda não é registrada nas estatísticas de produção vegetal do anuário estatístico brasileiro. Assim, não se dispõe de dados sobre o volume de bens produzidos, bem como, a produtividade da referida cultura. Porém, estima-se que nas plantações comerciais bem conduzidas, a cadeia designa o encadeamento de um conjunto de atividades produtivas criadoras de valores econômicos, divididas em etapas operacionais sucessivas com elos interligados em suas derivações. De modo geral, a aludida cadeia de valor do *D. trifida* corresponde a um modelo conceitual que, compreende de ações necessárias para entregar produtos a um beneficiário (Figura 9).

**Figura 9.** Estrutura da cadeia de valor do *D. trifida* com a integração de suas derivações e a direção metodológica.



**Fonte:** Castro, (2011) adaptado com modificações.

Neste sentido, o processo parte da etapa agrícola de produção que relaciona insumos e subsídios de cultivo e extração, caracterizados pela escolha da área, abrangendo locais de manejo constante, em solos que eram florestas antes da corte e queima ou ainda não cultivados. Para a limpeza, aração, gradagem, adubação e plantio em covas ou camalhões, os agricultores realizam as relações de ajuda mútua, neste caso, feita manualmente. Na etapa de extração, é feito a colheita, seleção, ensacamento e escoamento da produção (CASTRO, 2011).

A etapa industrial ou a jusante do cará passa pela fase de beneficiamento, com a recepção e pesagem do produto. Já a comercialização é constituída pela cooperativa, por representantes atacadistas, intermediários e varejistas, fase esta representada pelos canais de distribuição como supermercados e agroindústrias que fazem chegar o produto às mãos do consumidor (CASTRO, 2011). Nestes, são acrescentados os custos de produção.

#### **2.2.4 Importância econômica do cará**

Os tubérculos de cará (*Dioscorea spp.*) têm uma importância econômica real em função de suas amplas variedades e utilização. Beyerlein e Pereira (2018) advogam que o município de Caapiranga, no Amazonas, é o maior produtor de tubérculos da espécie *D. trifida*, pois, só no ano de 2015, produziu por cavidade em torno de 5,9 a 8,8 kg, de 20 a 30 Mg ha<sup>-1</sup>. Porém, a produção brasileira do inhame no ano agrícola de 2019, atingiu 249,522,00 toneladas distribuídas em uma área de 25,388,00 hectares, somando todas as espécies existentes no país (FAOSTAT, 2021). Destas, os estados do Pará, Mato Grosso, Tocantins, Maranhão, Paraíba e Pernambuco são os maiores produtores, onde o cultivo é praticado por produtores em uma atividade agrícola tipicamente familiar (TAVARES, 2019).

#### **2.2.5 Aplicações alimentares e não alimentares do Cará-roxo (*Dioscorea trifida* L.)**

No ambiente amazônico o cará-roxo (*D. trifida*) representa importante fonte básica de alimento para várias populações devido às substâncias ativas, estruturas alimentícias de alto valor energético e nutritivo, como os polissacarídeos, saponinas e mucinas que são utilizados de diferentes formas alimentares e não alimentares, tanto na indústria alimentícia, de cosméticos, como na indústria farmacêutica (PARK et al., 2013).

Nazaré (2007) empregou as antocianinas extraídas do extrato hidroalcoólico de cará-roxo na coloração sintética de bombons e gelatinas, obtendo resultados satisfatórios, por suas cores atrativas e solubilidade em água.

Diversos estudos relatam a produção de filmes biodegradáveis e de frutose do cará *D. trifida*, comercializados como adoçantes (MALI; GROSSMANN; YAMASHITA, 2010). Também, o amido *in natura* de *D. trifida*, foi sugerido como matéria prima não convencional, para substituição da farinha de trigo, como uma alternativa (em diferentes concentrações) na

indústria de panificação (TEIXEIRA et al., 2011). Dito em outras palavras, o amido pode ser utilizado para produzir filme comestível ou agente espumante (PÉREZ et al., 2012).

Devido a este fato, empresas alimentícias como Terramazonia Superplants e Brew Manãos, especializadas em insumos amazônicos, produziram a farinha “cará-roxo” e o salgado (*snacks*) chamado “Mana's Original”, a base de amido da espécie *D. trifida* provenientes de cultivares das comunidades locais. Assim, as várias aplicações comerciais do cará-roxo são apresentadas na Figura 10.

**Figura 10.** Formas comerciais de *Dioscorea trifida*.



**Fonte:** <https://www.terramz.com.br/>, com adaptações.

O uso na elaboração de filmes poliméricos por soluções de fundição, reticulado por fosfatação e plastificados com glicerol (DA COSTA et al., 2020; GUTIÉRREZ et al., 2014; HORNUNG et al., 2018). Como matéria de base, a partir da gelatinização do amido comestível, para melhorar as propriedades funcionais, que resultou em embalagens termoplásticas de revestimentos mais fortes quando comparados à mandioca, o que indicou boa espessura do filme, perfil de cor, deformação, tensão à perfuração, retenção e a solubilidade em água (GUTIÉRREZ et al., 2015).

A crescente demanda por alimentos balanceados somados ao alto valor das matérias primas, levou Feijó et al. (2016), Melo et al. (2017) e Tavares et al. (2019) a pesquisar ingredientes alternativos, a fim de verificar a viabilidade econômica com seis níveis de inclusão de farinha de cará-roxo em rações para poedeiras comerciais leves e a dieta de suínos em condições e terminação. Os autores obtiveram a partir da composição bromatológica da farinha de cará-roxo, um alimento alternativo energético com altos níveis de energia bruta e metabolizável em rações, tendo o nível de 5% de inclusão apresentado melhores resultados de desempenho econômico em rações para poedeiras e 15 e 30% de farinha de cará-roxo em rações para suínos, além de potencial para substituir o milho nas na fase de terminação.

Em outro estudo analítico, Victor et al. (2017) revelaram que o amido do *D. Trífida* pode ser um biocatalisador promissor para sistemas enzimáticos, capazes de reduzir a fração dos  $\beta$ -ceto-ésteres pró-virais em  $\beta$ -hidroxi-ésteres quirais com conversões e seletividade de moderada a boa.

Recentemente o estudo sobre o potencial do amido ceroso da cultivar branca da espécie *D. trifida* indicou que, a composição morfológica poderia ter significado comercial na indústria alimentar para produção de filmes, embalagens biodegradáveis e revestimentos (DE SOUZA SILVA, 2019). Com isso, Lobato et al. (2019) desenvolveu e caracterizou filmes biodegradáveis com a espécie *D. trifida* fermentada, a fim de agregar valor aos subprodutos da cultura do inhame.

### **2.2.6 Propriedades e aplicações terapêuticas do Cará-roxo (*Dioscorea trifida* L.)**

No âmbito nacional, o cará-roxo é uma espécie com alto valor nutricional, funcional e propriedades medicinais, que garante o uso na síntese de cortisona e outros hormônios (BEYERLEIN; PEREIRA, 2018).

Quanto à importância farmacológica, as principais encontradas no cará-roxo (*Dioscorea trifida*) incluem: ação antitussígeno, antidiarréico, hipoglicêmico, atividade purgativa, diurética, antiespasmódico, anti-inflamatória e antirreumático, antimicrobianas, devido à expressão e presença dos terpenos como diosgenina e alantoína, que exercem ação antitumorgênica e anticarcinogênica (MIYOSHI et al., 2011), além de atividades anti-hipertensiva, imunomodulatória e reguladora das atividades enzimáticas (DEY; RAY; CHAUDHURI, 2016; HAN et al., 2014). Outra proposta, leva em consideração que as propriedades do cará-roxo exibem extensos efeitos fitoquímicos benéficos, com ação hipoglicêmica restauradora da massa corporal, da função pancreática e do perfil lipídico que pode ser atribuída à presença de terpenóides (GONG et al., 2019).

Tang et al. (2019) afirmaram que os compostos bioativos presentes em inhames *Dioscorea spp.*, possuem atividade fisiológica atribuída à porção hidrofílica das saponinas esteroidais. O grupo esteroide das saponinas (diosgenina) existente no cará-roxo demonstrou ter extensos efeitos fitoquímicos como um precursor químico, quando usado como material de partida para produzir diversos hormônios esteroidais, incluindo pílulas contraceptivas orais, hormônios sexuais, cortisona e outros esteroides (EISMANN, 2019; HORNUNG et al., 2017).

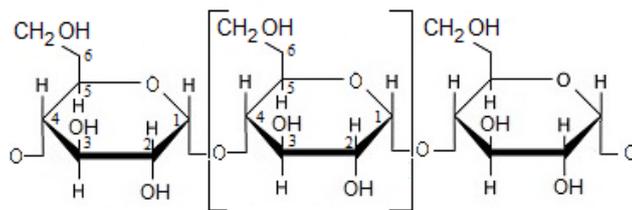
Na alimentação humana, há evidências de que os polissacarídeos solúveis em água, o amido resistente e a fibra alimentar do cará *D. trifida*, são utilizadas como antidiarreico e antitussígeno, devido aos efeitos fitoquímicos preservados no produto (MIYOSHI et al., 2011; PARK et al., 2013; SANTOS S., 2016).

### 2.3 Amido

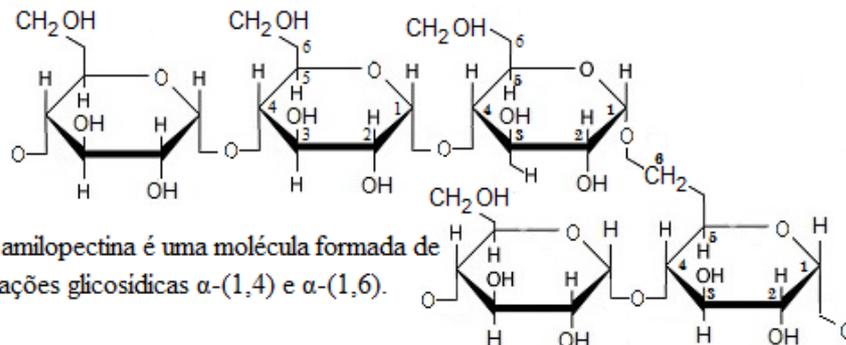
Na legislação brasileira, o amido e a fécula são sinônimos. O amido denomina-se como a fração ou produto amiláceo extraído das partes aéreas comestíveis dos vegetais. A fécula é, portanto, o produto amiláceo extraído das partes subterrâneas comestíveis dos vegetais. (BRASIL, 1978). O amido e/ou fécula é um importante homopolissacarídeo estrutural vegetal, constituído por unidades repetidas de  $\alpha$ -D-glicose com fórmula geral  $(C_6H_{10}O_5)_n$ . É formado como produto fotossintético da atividade celular dos órgãos verdes das plantas clorofiladas e serve como reserva alimentar temporária de carboidratos, proporcionando-lhes energia para a fotossíntese em épocas de dormência e germinação (HORNUNG et al., 2018; SANTOS S., 2016; SHITAN, 2016).

Na forma nativa, o amido é um biopolímero constituído por grânulos porosos e semicristalinos sintetizados na natureza e mantido em diferentes proporções por dois grandes polímeros, amilose e amilopectina (Figura 11).

**Figura 11.** Representação esquemática das macromoléculas do amido.



A amilose é uma molécula linear constituída de ligações glicosídicas  $\alpha$ -(1,4).



A amilopectina é uma molécula formada de ligações glicosídicas  $\alpha$ -(1,4) e  $\alpha$ -(1,6).

**Fonte:** <http://www.unirio.br/nutricaoesaude/imagens/amido-mol/view>

A amilose é uma macromolécula de cadeia glucana linear simples, de massa molar média na faixa  $10^5$  a  $10^6$ g/mol, na forma helicoidal, com átomos de hidrogênio no interior da hélice, composta quase inteiramente por unidades de glicose, unidas por ligações glicosídicas identificadas através de átomos de carbono  $\alpha$ -D-glucopiranosil unidas entre si por ligações  $\alpha$ -(1,4), com menos de 0,1% de ramificações de ligações  $\alpha$ -(1,6) obtidas após a hidrólise de amilose por ação exclusiva da enzima  $\beta$ -amilase, formando unidades de maltose e dextrinas limites, que corresponde às áreas ramificadas das ligações  $\alpha$ (1,6) que a  $\beta$ -amilase não conseguiu degradar (PÉREZ et al., 2012).

A amilopectina é um polímero de cadeia complexa disposta em regiões organizadas de camadas concêntricas altamente ramificadas, conhecida como *clusters* ou cachos. Estes *clusters* são formados de cadeias da amilopectina, concebida como um polímero semicristalino composto por duas regiões. Uma formada por regiões amorfas, a outra por associações cristalinas das cadeias ramificadas no grânulo de amido, como uma estrutura fina contendo duplas hélices de massa molecular média situada próximo de  $10^8$ , formada por unidades de glicose unidas  $\alpha$ -D-glucopiranosil (entre 17 e 25 unidades) unidos por ligações em  $\alpha$ -(1,4), sendo fortemente ramificada, com 5% das ligações em  $\alpha$ -D (1,6) nos pontos de ramificação e tem elevado peso molecular, é resistente à retrogradação em soluções cozidas e também responsável pela cristalinidade do amido (MAGALLANES-CRUZ, et al., 2017; MINAKAWA; FARIA-TISCHER; MALI, 2019). Quando gelatinizada, age como reforço e mantém-se nos interstícios da rede.

Estruturalmente, o amido é um carboidrato (CHO) natural fotossintético, totalmente renovável, versátil, biodegradável que representa entre 70 a 80% de todos os polissacarídeos e dissacarídeos, necessários ser hidrolisados e absorvidos na dieta humana (LOBATO, 2017; HORNUNG et al., 2017).

### **2.3.1 Importância do amido**

A literatura traz relatos de pesquisas conduzidas sobre as propriedades funcionais e estruturais moleculares dos amidos comerciais que são obtidos das sementes, tubérculos e raízes, devido sua pronta disponibilidade e propriedades, de modo a sugerir possíveis aplicações alimentares e não alimentares. Nos cereais, por exemplo, a proporção de amidos representa 40% a 90% do peso seco, nas frutas imaturas 40% a 80% do peso seco, nas leguminosas de 30% a 50% do peso seco e nos tubérculos de 65% a 85% do peso seco, tornando-os uma fonte barata de modo a sugerir possíveis aplicações industriais e de alimentos (SANTOS Q., 2016).

Os amidos são potencialmente utilizados em diversos processos da indústria alimentar, biomédica e farmacêutica, devido a solubilidade e o poder de inchamento, capacidade de absorção de água e óleo, sinérese, claridade da pasta, propriedades de colagem e a lixiviação de amilose e amilopectina. Essas propriedades estão intimamente relacionadas à forma e distribuição dos grânulos, bem como a estrutura molecular e os eventos associados ao processo de gelatinização e retrogradação (PAULA; PAULA; FEITOSA, 2018).

De acordo com Otegbayo, Oguniyan e Akinwumi (2014) e Pérez et al. (2012) existem outras funções do amido, tais como: agente de volume; ligante; gelificante; vitrificante; modificador de textura; reforçador de espuma e características específicas relacionadas às

propriedades de barreira, mecânica e térmica em certas embalagens. Além disso, também podem dar origem a amidos modificados como xaropes de glicose, maltose ou frutose, maltodextrina, composição de embalagens com altos teores de lipídios e equilíbrio no teor de umidade, entre outros (DANTAS, 2014; LOBATO, 2017).

Desta forma, nos sistemas farmacêuticos o aprimoramento e/ou a introdução das propriedades funcionais dos amidos, têm sido usadas também para aplicações específicas como excipientes da liberação controlada de drogas que funcionam, entre outros, como agentes adjuvantes de suspensão e emulsificação, agentes flocculantes, aglutinantes, desintegrantes, adoçantes, adesivos, materiais de embalagem, encapsulantes entre outros (MASINA et al., 2017).

Nos alimentos, a estrutura e forma dos grânulos do amido os diferencia da maioria dos CHO. Neste particular, quando se quer indicação sobre a diminuição ou aumento da ordem molecular dos grânulos, a cristalinidade é caracterizada por padrões de difração de raio-X (DRX) e denominada cristais do tipo A, B ou C, em função da estrutura básica de empacotamento das duplas hélices da amilopectina (HE; WEI, 2017).

Portanto, segundo Matignon e Tecante (2017) o cristal do tipo A, apresenta duplas hélices, cadeias curtas de amilopectina, baixos teores de fósforo e são presentes em cereais como milho, trigo, arroz e possui picos de difração com maior intensidade ao ângulo Bragg ( $2\theta$ ) em  $15^\circ$ ;  $17^\circ$ ;  $18^\circ$  e  $23^\circ$ . As cadeias externas maiores com duplas hélices e altos teores de fósforo das moléculas de amilopectina, são presentes em amidos de tubérculos, batata crua e frutos verdes (banana, manga, mamão, etc.), uma vez que favorecem a formação de cristal do tipo B, possui picos de difração com maior intensidade ao ângulo Bragg ( $2\theta$ ) em  $5,6^\circ$ ,  $15^\circ$ ;  $17^\circ$ ;  $22^\circ$  e  $23^\circ$ .

O polimorfo do tipo C formado pela combinação dos tipos A e B. É relacionado aos complexos de amilose cristalina e encontra-se presente em leguminosas, frutas, caules e sementes, exibem picos de difração com maior intensidade em  $5,6^\circ$ ,  $15,3^\circ$ ;  $17,3^\circ$  e  $23,3^\circ$  em  $2\theta$  (MATIGNON; TECANTE, 2017). A partir daí, progresso significativo foi alcançado para elucidar a morfologia, tamanho e estrutura molecular dos tubérculos de inhame *Dioscorea spp.* como fonte sustentável de polímeros naturais (HE; WEI, 2017).

Em termos práticos, o estudo de Hornung et al. (2017), utilizou padrões técnicos de difração de raio X para produzir diosgenina como material de partida na formulação de contraceptivos orais, hormônios sexuais e outros esteroides. As evidências sugeriram que, as amostras de amidos das espécies *Dioscorea spp.*, *D. piperifolia* e *D. Trífida* eram característicos do tipo "C", com forma cristalina do tipo A e B, atribuindo propriedades

químicas, físicas, e funcionais consideradas adequadas para formação de géis e filmes, bem como para fins alimentícios, farmacêuticos e ornamentais.

Na China, alguns estudos do amido de inhame surgiram, especificamente, para relatar a morfologia de partículas, tipo de cristal, propriedades de colagem, digestibilidade *in vitro* e dinâmica reológica (HUANG et al., 2019).

A partir desses conceitos, que ajudaram na compreensão, de que a natureza e a função do amido são influenciadas pela razão amilose/amilopectina. Por esse aspecto, são denominados amidos “normais”; os amidos compostos por 10 a 30% de amilose e 70 a 90% de amilopectina são identificados como cerosos (HORNUNG et al., 2017). Porém, existe um terceiro grupo que inclui amidos com alto teor de amilose (50-70%), como, por exemplo, os amidos de milho Hylon (BASIAK; LENART; DEBEAUFORT, 2017; BELLO-PEREZ et al., 2018), o que dificulta seu potencial de aplicação na preparação do amido resistente. No entanto, a ausência da amilose não afeta a cristalinidade do amido (TEIXEIRA; MASTRO, 2016).

Dentro deste enfoque, a razão amilose-amilopectina, o peso e o comprimento da cadeia da amilopectina, influenciam nas propriedades reológicas do gel de amido que, por sua vez, fornecem informações quanto às propriedades viscoelásticas. Por esta razão, Hoover e Vasanthan (1994) estudaram o efeito do tratamento com umidade e calor na estrutura e nas propriedades físico-químicas de amidos de cereais, tubérculos e raízes. Os autores identificaram variação de 10-38% de amilose nos cereais, tubérculos e raízes (HOOVER, 2001).

Pérez et al. (2011) estudaram as proporções de amilose e amilopectina das variedades branca e roxa dos acessos de cará *D. Trifida*. Os autores observaram um teor de 34,7 a 43,3% de amilose, enquanto a massa molar média da amilopectina ficou muito próxima ao da batata e mandioca, e com as mesmas características do amido de milho, tanto em sabor como em textura e cor, podendo sua fécula substituir a de mandioca (MEDEIROS; PIMENTA; KUWAHARA, 2018; RAMOS et al., 2014).

Segundo Santos Q. (2016) o tubérculo do cará *D. trifida*, contém 75,6 a 84,3 % de amido, caracterizado como o principal carboidrato de reserva e, geralmente, são volumosos e elipsoidais, com hilos excêntricos ou poliédricos (SANTOS S., 2016). Porém, De Souza Silva (2019) em investigação das propriedades, com teores de extração de amido não convencional provenientes de *D. trifida* da cultivar branca, identificou porcentagem de 84,56% de amido e 36,82% de amilose com elevada entalpia. Estes valores contribuíram para ratificar os importantes efeitos das propriedades físico-químicas, tecnológicas, funcionais, morfológicas, estruturais e térmicas do amido de inhame que determinam o seu comportamento nos diversos processos industriais, incluindo a elaboração de géis mais rígidos e elásticos (LOVERA;

PÉREZ; LAURENTIN, 2017). Visto que, no grânulo de amido nativo, a molécula de amilose pode apresentar-se complexada aos lipídeos e influenciar nas propriedades reológicas do amido (TEIXEIRA; MASTRO, 2016).

Em vista disso, Ramos-Escudero et al. (2010) afirmam que os polissacarídeos de ocorrência natural do cará *D. trifida*, possuem solubilidade em água, amido resistente e fibra alimentar com ação hipoglicemiante. Além de extensos efeitos fitoquímicos com uma ampla gama de alvos e caminhos para formação de complexos componentes da membrana celular, atribuído à diosgenina (GONG et al., 2019).

### **2.3.2 Propriedades do amido**

Uma das principais propriedades do amido é a gelatinização, definida como a ruptura irreversível da ordenação molecular do grânulo, que ocorre quando a suspensão de amido é aquecida à uma temperatura característica ideal e neste processo os grânulos se dilatam. Durante o processo de aquecimento, as interações de hidrogênio entre as cadeias de amilose e amilopectina se rompem, os grânulos de amido absorver água intumescendo e aumentando o tamanho em relação ao original. Observando ainda que as moléculas de amilose mais solúveis tendem a sair do grânulo, e devido a dispersão de macromoléculas e dos componentes, o grânulo se rompe. Tal temperatura evidenciada é chamada de temperatura de gelatinização (PAULA; PAULA; FEITOSA, 2018).

Além disso, uma vez gelatinizado o amido forma uma pasta, e quando a temperatura da solução de amido é reduzida à temperatura ambiente, ocorre à formação de um gel, que depende da concentração das soluções e da velocidade do resfriamento (OLIVEIRA; POLACOW, 2014).

Após o resfriamento do gel, as moléculas de amilose tendem a se aproximar e criam zonas micelares cristalinas, expulsando algumas moléculas de água ligadas à amilose e formando fortes pontes de hidrogênio. Neste caso, os precipitados se formam devido à tendência na formação de ligações intermoleculares da fração linear, o que não acontece tão prontamente com a amilopectina, na qual essa associação é dificultada devido suas ramificações. Este processo é denominado recristalização ou retrogradação do amido que varia de acordo com fatores, como: temperatura e tempo de armazenamento, pH, fonte de amido, presença de lipídios, eletrólitos, açúcares e condições de processamento. Sabe-se que as características de retrogradação da amilose e amilopectina são cineticamente diferentes (PAULA; PAULA; FEITOSA, 2018).

Segundo Matignon e Tecante (2017) o processo de retrogradação é mais rápido na amilose, a partir da forte tendência de interações de hidrogênio em associar-se com outras

moléculas adjacentes, formando estruturas cristalinas de dupla hélices, enquanto se mantém por longo período de tempo esfriando. Por outro lado, os polímeros da amilopectina retrogradam e cristalizam-se através da associação de suas cadeias.

### 2.3.3 Digestão do amido

Nos humanos, a hidrólise dos amidos começa na fase oral pela  $\alpha$ -amilase salivar. Diferentemente de outros carboidratos complexos da dieta, o amido é um dos poucos polissacarídeos processados em oligossacarídeos sob ação das enzimas hospedeiras que, de forma breve e incompleta hidrolisa as ligações glicosídicas  $\alpha$ -(1,4) e dividem as moléculas do amido (MAGALLANES-CRUZ et al., 2017). Depois disso, na passagem do estômago para o intestino delgado, a atividade da  $\alpha$ -amilase salivar persiste no estômago e nos intestinos, o bicarbonato ( $\text{HCO}^{3-}$ ) liberado neutraliza os sucos gástricos e a  $\alpha$ -amilase pancreática é liberada para retomar e aumentar a atividade enzimática total da amilase em moléculas de glicose ou frutose no intestino delgado (LUDWIG et al, 2018).

No complexo e dinâmico trato gastrointestinal, as moléculas de amido são transformadas pela enzima salivar  $\alpha$ -amilase pancreática em moléculas de glicose lineares, maltose, maltriose e outros oligossacarídeos ramificados chamados de dextrinas  $\alpha$ -limite. No intestino delgado, as dextrinas  $\alpha$ -limite são facilmente absorvidas, enquanto o amido tem que ser primeiro hidrolisado pelas enzimas digestivas, pela ação dos complexos enzimáticos intestinais da borda em escova maltase-glucoamilase,  $\beta$ -glicosidase e sacarose-isomaltase (MAGALLANES-CRUZ et al., 2017). Após ser absorvido em nível de intestino delgado, o carboidrato entra na corrente sanguínea e vai até o fígado onde é convertido em glicose para ser distribuído aos tecidos.

Na microbiota, colonizada por uma população densa de microorganismos, as frações de amidos resistentes à digestão, que passaram pelo estômago e intestino delgado têm a capacidade notável de afetar o metabolismo, o sistema imunológico e, portanto, o estado de saúde do hospedeiro.

Entretanto, a extensão da digestibilidade e os impactos do amido na resposta glicêmica podem ser afetados por diversos fatores extrínsecos e intrínsecos. Os fatores extrínsecos incluem condições de processamento de alimentos (cozimento por extrusão, processamento térmico, autoclavagem, etc). Os fatores intrínsecos incluem a estrutura granular, origem botânica, forma física como a presença de complexos amidos-lipídio, amido-proteína, proporção amilose/amilopectina, tipo de processamento do amido e disposição das estruturas cristalinas, propriedades físico-químicas dos carboidratos, enzimas bacterianas, que exercem impactos sobre o componente cinético da digestão e produzem diferentes respostas glicêmicas.

Especificamente, a resposta glicêmica foi conceituada como índice glicêmico (IG), classificados como baixo IG ( $\leq 55$ ), médio IG (56-69) e IG alto ( $\geq 70$ ), uma das métricas para a qualidade de carboidratos (GOURINENI et al., 2019).

A digestibilidade do amido é parcialmente responsável pelo IG dos alimentos. Portanto, para os propósitos nutricionais, os amidos são classificados em função da sua estrutura físico-química e da sua susceptibilidade à hidrólise enzimática. De acordo com a velocidade, na qual, o alimento é secretado no trato digestivo humano, assim, o amido divide-se em glicêmico ou rapidamente digerível e resistente ou não digerível (PAYLING et al., 2020).

O amido é considerado glicêmico quando uma proporção significativa de rápida digestão, presente na dieta seja facilmente degradado por a ação enzimática em uma temperatura de 37°C, resulta em elevação dos níveis de glicose e insulina no sangue. Inicia-se na boca e estende-se até o início do intestino delgado.

O amido é lentamente digerível, quando a ação enzimática ocorre de forma prolongada à glicose ao longo do intestino delgado, possui potenciais benefícios fisiológicos, resultando na estabilidade metabólica da glicose, controle do diabetes, sensação de saciedade e aumento do desempenho mental. Em contraste, o amido resistente à ação enzimática, atinge o cólon de forma intacta, onde são fermentados em extensão variável pela microflora bacteriana anaeróbica residente, que possui forte influência na função do cólon, resultando na melhora a crocância dos alimentos e na saúde de indivíduos saudáveis (LOVERA; PÉREZ; LAURENTIN, 2017). Essa fração, denominada amido resistente possui atuação semelhante à fibra alimentar e converte-se após 120 minutos (BELLO-PEREZ et al., 2018).

Atualmente, o amido resistente pode ser classificado em cinco diferentes tipos: o tipo 1, representa o grânulo de amido fisicamente inacessível composto por grãos inteiros ou parcialmente moídos de cereais e leguminosas; tipo 2, refere-se aos grânulos de amido resistente nativo encontrados na batata crua e banana verde; tipo 3, consiste em amido retrogradado, produzidos quando o amido é resfriado após a gelatinização; tipo 4, inclui o amido industrial quimicamente modificado, formado através de modificações químicas, físicas ou enzimáticas; e tipo 5, consiste em amido complexado com lipídios ou complexos amilose-lipídio e maltodextrina resistente, é formado da função de fatores como temperatura, pH, tempo de agitação e estrutura dos ácidos graxos (BELLO-PEREZ et al., 2018).

Com base na digestão gastrointestinal *in vitro* do amido, Jiang et al. (2013) constataram que nos tubérculos de *Dioscorea* spp. o teor de amido resistente é mais alto do que em outros amiláceos como milho, trigo, arroz, mandioca e a batata doce e, portanto, isso dificulta a digestão. Ressalta-se que, este tipo de amido é um homopolissacarídeo fermentado no interior da microbiota bacteriana.

Em outro estudo, Grace e Jeyakumar Henry (2020) utilizaram um modelo de digestão gastrointestinal *in vitro*, a fim de avaliar amostras de amido de tapioca, batata doce, sagu, castanha de água, milho, arroz vermelho e farinha de kithul comumente usado na Ásia.

Os autores verificaram que o amido de milho apresentou a menor quantidade de açúcares livres liberados ao final de 180 minutos, devido à maior quantidade de fibra alimentar. Além disso, ambos os géis de farinha de kithul e amido de milho apresentaram taxas de digestibilidade mais baixas em comparação com os outros géis aos 20 minutos da fase pancreática. Estes achados revelaram que a composição química e a estrutura dos amidos variaram, resultando nas diferentes propriedades de digestibilidade *in vitro*, funcional, térmica, de pasta e textural.

## 2.4 Carboidratos

O CHO é um substrato orgânico comumente consumido como fonte primária de energia para as células vivas de origem vegetal. Classificamos os CHO de acordo com o grau de polimerização que inclui os monômeros ou monossacarídeos e dissacarídeos, e os complexos ou oligossacarídeos e polissacarídeos (GOURINENI et al., 2019). A combinação de átomos de carbono, hidrogênio e oxigênio  $(\text{CH}_2\text{O})_n$  forma a molécula de carboidrato na proporção de 1: 2: 1 (LUDWIG et al., 2018).

Na distribuição alimentar, as unidades básicas dos CHO são os monossacarídeos, constituídos por apenas uma unidade, como a glicose, a galactose e a frutose. Os dissacarídeos constituídos por duas unidades de monossacarídeos que mais se destacam são a lactose, a sacarose e a maltose. Já os oligossacarídeos constituídos por até oito unidades de monossacarídeos, são os malto-oligossacarídeos, compostos por maltodextrinas e por outros como a rafinose, estaquiase e os frutooligossacarídeos.

As macromoléculas de polissacarídeos conhecidas como fibra alimentar ou prebióticos, são formadas por mais do que oito unidades de monossacarídeos, possuem sequências diferentes de unidades monoméricas, unidas entre si por ligações glicosídicas e tipos de ramificações com uma grande diversidade de estrutura, propriedade e funções, são constituídas pelos amidos e a celulose de origem vegetal (LORENZETI et al., 2015).

De modo geral, a ingestão dos CHO é feita na forma de polissacarídeos, como, por exemplo o amido (arroz, milho, batata, batata-doce, mandioca, inhame, pães, macarrão e trigo) que são hidrolisados pelas amilases (salivar e pancreática), sendo a maltose e a glicose os produtos desta digestão. Porém, para que sejam digeridos e utilizados pelas células específicas na forma de energia, é necessário que sejam metabolizados na forma de lactose, sacarose e como glicose ou frutose (LORENZETI et al., 2015).

Os CHO são classificados levando em consideração os efeitos fisiológicos dos açúcares presentes nos diferentes alimentos sobre a glicose no sangue. Desta forma, a digestão, absorção e o impacto dos CHO na resposta pós-prandial da glicose são conceituados como índice glicêmico. Assim sendo, os CHO são classificados como baixo índice glicêmico ( $\leq 55$ ), médio índice glicêmico (56-69) e alto índice glicêmico ( $\geq 70$ ) (GOURINENI et al., 2019). Essa classificação denominada resposta glicêmica, é determinada como a área formada abaixo da curva de resposta glicêmica após ingerir um alimento que contém 50 g de um CHO digerível, comparando-o durante um período de 2 horas, e tem como base de comparação a glicose isolada ou o pão branco, o arroz e as batatas (LORENZETI et al., 2015).

Com base na ingestão de uma determinada porção de CHO exógeno, a qualidade e a quantidade desse nutriente indica a carga glicêmica. Neste sentido, calcula-se a carga glicêmica usando uma fórmula que multiplica a quantidade de CHO disponível em uma porção do alimento pelo índice glicêmico do alimento e dividindo o resultado por um valor padronizado da glicose como sendo 100. Tal conceito tem sido muito utilizado, pois considera o valor glicêmico e a quantidade de CHO disponível (OLIVEIRA; POLACOW, 2014).

Sabe-se, no entanto, que a quantidade média total de glicogênio armazenado nos músculos (~300 a 400 g), é maior que o glicogênio hepático (~80 a 90 g) e que a glicose plasmática (~3 a 25 g). Além disso, na contração muscular durante o exercício físico, tanto no aumento da oxidação da glicose plasmática quanto no aumento da glicogenólise muscular, os CHO contribuirão como principais substratos energético nos exercícios prolongados de intensidade moderada a alta, uma vez que exercem diversas funções como combustível para o sistema nervoso central, além de participar no metabolismo dos lipídios e no mecanismo de defesa, pois regula o metabolismo das proteínas (BIESEK et al., 2015).

Neste sentido, para as pessoas que não se exercitam regularmente, os estoques de glicogênio muscular são cerca de 80 a 90 mmol/kg de músculo líquido. No caso de pessoas que treinam regularmente, os estoques de glicogênio muscular são cerca de 130 a 135 mmol/kg de músculo líquido, e o fornecimento adequado apenas pela alimentação torna-se fisicamente inviável. Todavia, em situações como essa, sua dieta deve conter pelo menos 50 a 70% das calorias na forma da suplementação de CHO, predominantemente amido que é considerado um dos melhores recursos ergogênicos, pois aumenta os estoques de glicogênio muscular, devido o seu consumo está associado ao aumento das reservas de glicogênio muscular, hepático e o atraso no início da fadiga (BIESEK et al., 2015). No entanto, esta porcentagem pode variar conforme o metabolismo basal, modalidade praticada, massa corpórea, intensidade e duração do treino.

Estudos iniciais realizados por Krogh e Lindhard (1920) sugeriram que os CHO eram considerados importantes combustíveis para a realização do exercício físico prolongado. Depois, ficou claro o papel significativo do glicogênio muscular para a melhora do desempenho durante o exercício prolongado (BERGSTRÖM; HULTMAN, 1966).

Em diretrizes mais recentes, ficou claro que o fornecimento, a frequência e a dosagem de CHO exógeno funcionam como substrato energético primário na capacidade de resistência, o que também, demonstra efeitos ergogênicos consistentes, pois reduz a depleção das concentrações de glicogênio no músculo e o declínio nas taxas de oxidação de CHO durante atividade de resistência prolongada (SASAKI et al., 1987). Em recente posicionamento integrado por entidades como American Dietetic Association; Dietitians of Canada; American College of Sports Medicine, foi sugerido que a suplementação de CHO na dieta diária de indivíduos moderadamente ativos, atletas de *endurance* e de treinamento intenso fosse administrada entre  $5-7\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{dia}^{-1}$ ,  $7-10\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{dia}^{-1}$  e  $10-12\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{dia}^{-1}$ , respectivamente.

#### **2.4.1 Suplementos Alimentares**

Os suplementos alimentares são constituídos de um conjunto de produtos para ingestão oral, apresentados em forma de cápsulas de géis ou gotas líquidas, tabletes, pós ou líquidos que prometem fornecer macronutrientes (proteínas, CHO e gorduras), micronutrientes (vitaminas e minerais), substrato botânico ou aminoácidos com diferentes propósitos que incluem o equilíbrio alimentar, compensação da falta de nutrientes e manutenção da saúde, pois evitam doenças crônicas, melhoram o desempenho nos exercícios físicos ou estilo de vida pouco saudável, produzem efeitos benéficos à saúde de atletas profissionais e amadores, dentre outros (FONTAN; AMADIO, 2015).

Suplementos alimentares são recursos ergogênicos que melhoram o rendimento e o desempenho do atleta, pois podem atenuar o estresse oxidativo induzido pelo exercício. Outra classificação refere-se aos suplementos termogênicos, que aumentam a temperatura corporal, auxiliando no gasto calórico e na redução de apetite.

Assim, a RDC nº 243, de 26 de julho de 2018 passou a adotar o termo “suplemento alimentar” e o definiu como “um produto para ingestão oral, apresentado em formas farmacêuticas, destinado a suplementar indivíduos saudáveis com nutrientes, substâncias bioativas, enzimas ou probióticos, isolados ou combinados” (ANVISA, 2018). A partir de agora, os alimentos para atletas passaram a integrar o grupo dos suplementos alimentares.

### 2.4.1.1 Suplementos à base de carboidratos

No grupo dos energéticos, os suplementos de CHO são considerados o principal ingrediente e fonte de energia durante a atividade física aeróbia de longa duração e de alta intensidade.

Dentre os diferentes tipos de suplementos destacam-se a maltodextrina, a dextrose e o Waxy Maize (amido de milho). Já em outros grupos estão os hipercalóricos, os termogênicos, os manipulados e a cafeína (SAWKA et al., 2007). Porém, diversas linhas de evidências sugerem que os aminoácidos têm a capacidade de alterar as propriedades físico-químicas dos amidos.

Assim, em uma perspectiva metabólica, a ingestão de CHO associados à oferta de proteínas como whey protein, BCAA, glutamina e creatina, parecem ser igualmente efetivas na reposição do glicogênio muscular, transporte de nutrientes para dentro da célula e, portanto, elevar a resposta glicêmica e melhorar o desempenho dos desportistas nos exercícios prolongados (SAWKA et al., 2007).

A dextrose ou simplesmente glicose, é um monossacarídeo de rápida absorção que contém alto índice glicêmico. Já a maltodextrina é um oligossacarídeo de absorção lenta e gradativa, com alto índice glicêmico, ou seja, um polímero de glicose proveniente da conversão enzimática do amido de milho, que necessitam ser hidrolisados por enzimas digestivas para ser absorvidas no intestino na forma de dextrose. O Waxy Maize ou amido de milho modificado é um polissacarídeo de milho de baixa osmolaridade, com uma quantidade relativamente grande de amilopectina, tornando-o capaz de fornecer energia constante. É de rápida absorção, digestão e proporciona uma menor resposta glicêmica (FONTAN; AMADIO, 2015).

Diante do exposto e, devido à necessidade de um maior aporte glicêmico, no pré-treino, é interessante consumir 1g de carboidrato/kg de peso corpóreo por hora que antecede ao exercício. (optar por tipos de baixo ou médio índice glicêmico), a fim de evitar o chamado efeito sobre hipoglicemia de rebote da insulina (LORENZETI et al., 2015). Além disso, durante o exercício, com duração  $\geq 60$  minutos a ingestão recomendada é de 30 a 70g/h de carboidratos de alto, médio e baixo índice glicêmico. Já no pós-exercício, é fundamental 1 a 1,2g de uma mescla de carboidrato/kg de peso corpóreo de alto, médio e baixo índice glicêmico nas primeiras 4 horas logo após o exercício que se utilizam de múltiplos transportadores, a fim de restaurar os estoques de glicogênio muscular e evitar a perda da massa magra (AOKI et al., 2012).

De acordo com Fontan e Amadio (2015) a ingestão recomendada de suplementação com CHO como recurso ergogênico durante exercícios prolongados pode ser alcançada, consumindo as formas líquidas como bebidas esportivas (*sport drinks*), semissólido como géis esportivos e

sólidos como barras de cereais ou as balas energéticas (*jelly beans*) com baixo teor de gordura, proteína, fibra e tipos como glicose, maltodextrina, frutose e concentrações.

Visando a utilização desses ingredientes para o controle de marcadores de estresse muscular e oxidativo, Peixoto (2014) avaliou dois grupos, sendo, um antes e após corrida em campo a 70% do  $VO_2$  máx. e outro antes e após teste incremental em rampa a 90% do  $VO_2$  máx., tais grupos fizeram a suplementação aguda de bebidas energéticas à base de açúcar liofilizado. Foi verificado que as bebidas, controlaram o estresse muscular e oxidativo e aumentou a tolerância ao exercício de alta intensidade nos dois ensaios. O autor conferiu o grau de recomendação do suplemento e classificou como bebida funcional para atletas.

Em pesquisa mais recente, foi demonstrado que durante uma corrida de maratona em montanha, a ingestão aumentada de 120g/h de CHO atenuou a carga interna de exercício e melhorou a recuperação pós-exercício de esforços consecutivos, ao tratar os danos oxidativos e reduzir o dano muscular induzido pelo exercício (URDAMPILLETA et al., 2020).

#### **2.4.1.2 Hidrogéis esportivos**

Hidrogéis são redes poliméricas tridimensionais de estrutura hidrofílica caracterizada pela afinidade de sua estrutura química pela água, na qual eles não se dissolvem, mas se expandem devido à grande quantidade de grupos hidrofílicos como: OH,  $CONH_2$ ,  $COOH$ ,  $-SO_3H$  e o grau de reticulação, entre outros. Ao ser aquecido à temperatura de transição, as interações de caráter hidrofílico, antes predominantes no material, são substituídas por interações de caráter hidrofóbico (FERNANDES et al., 2017).

Tais substâncias podem ser preparadas por vários procedimentos e sobre uma extensa faixa de composições, variando, por exemplo, desde monômeros a polímeros. Ao serem utilizados como biomateriais devem cumprir algumas exigências: não apresentar toxicidade, ser apirogênico e não ser cancerígeno. Ser funcional e permanecer temporariamente ou definitivamente no organismo. Não causar danos ao organismo e serem utilizados como carreadores de altas quantidades de CHO complexo.

Os hidrogéis esportivos de CHO complexos surgiram como uma alternativa para dietas de proteção e reposição dos estoques endógenos de glicogênio muscular e hepático, mantendo a euglicemia, a disponibilidade e a absorção gradual de CHO exógeno, bem como a taxa de oxidação durante o exercício.

Em estudos anteriores, Senturk et al. (2005) examinaram o efeito da suplementação com vitaminas antioxidantes A, C e E sobre a hemólise intravascular em indivíduos ciclistas sedentários e treinados. O estudo propôs analisar os parâmetros funcionais e estruturais dos

eritrócitos. Os resultados mostraram que os parâmetros funcionais e estruturais não foram alterados no grupo treinado, e o estresse oxidativo induzido pelo exercício foi evitado.

Em outra abordagem, Peixoto (2014) e Carvalho et al. (2015) sugeriram um papel benéfico desempenhado por um gel suplementar energético composto de açaí liofilizado enriquecido com açúcares (goma xantana, maltodextrina, frutose, sacarose e glicose) e ácido cítrico, sendo capazes de inibir a proliferação de células tumorais, interromper o estresse oxidativo e controlar a fadiga muscular em atletas de alta performance. A alegação de funcionalidade do produto foi possível devido à presença dos açúcares e dos ácidos graxos insaturados, oligoelementos, compostos fenólicos, minerais e vitaminas do gel suplementar.

Neste contexto, os novos suplementos de CHO, incluindo os transportáveis múltiplos e os modificados foram introduzidos no mercado de alimentos e, as pesquisas agora estão focadas em determinar a mistura ideal. Estima-se que esses novos produtos, fornecem aos atletas e corredores recreacionais mais opções de suplementos de CHO durante o treinamento e competição de resistência com a estratégia na combinação de múltiplos mecanismos, incluindo, por exemplo, a manutenção de glicose plasmática, que poupa os estoques de glicose no sangue, o glicogênio hepático/muscular que permite aumentar a oxidação de CHO exógeno e a manutenção da alta intensidade de exercício.

De acordo com Fontan e Amadio (2015), os suplementos esportivos de CHO podem ser encontrados isolados, na forma de monossacarídeos (glicose, frutose e galactose), em pares na forma de dissacarídeos (lactose, sacarose e maltose) ou em grandes quantidades como oligossacarídeos (3 a 9 carbonos) ou polissacarídeos (10 carbonos ou mais), são potencialmente empregados para manter a distribuição de fluido, a glicemia, o conforto gastrointestinal e retardar a fadiga durante o exercício prolongado acima de uma hora.

Neste contexto e pensando no público desportista, Viana et al. (2017) analisaram uma matriz alimentícia suplementar à base de gel composto de açaí. O produto avaliado nesse estudo proporcionou proteção para alguns marcadores estudados, pois modulou os parâmetros imunológicos reduzindo a atividade linfocitária, injúria muscular e o estresse oxidativo induzidos por atividade exaustiva em indivíduos do sexo masculino treinados.

Em outro exemplo que envolveu o potencial glicêmico dos polissacarídeos, Sutehall et al. (2018) administraram um hidrogel de CHO altamente concentrado ( $\sim 90 \text{ g}\cdot\text{h}^{-1}$ ; 18-30%) em corredores de longa distância quenianos que, quando expostos aos níveis de pH presentes no estômago, se transformaram de líquidos em gel. Além disso, os autores observaram aumento da saciedade, no desempenho e também ausência de desconforto gastrointestinal, porque tornou a entrega de CHO mais rápida ao intestino delgado.

No trabalho de Baur et al. (2019), sobre os efeitos do consumo de um hidrogel de maltodextrina-frutose no desempenho do ciclismo competitivo com intensidade variada de 98 min. O protocolo foi seguido por um teste de desempenho com dez intervalos consecutivos de *sprint*. Segundo os autores a ingestão do hidrogel de CHO promoveu a disponibilidade de fluido, a glicemia, retardou a fadiga e melhorou o desempenho na corrida de ciclismo competitivo.

Devido à relevância deste tópico, Podlogar e Wallis (2020) evidenciam a ideia de que, a combinação de frutose, maltodextrina, glicose, palatinose, vitaminas C e E, frutose, cafeína, sacarose e galactose associada ao CHO complexo e ingeridas na forma líquida ou semissólidas, como as bebidas esportivas e os géis, por exemplo, podem melhorar o desempenho nos exercícios prolongados, pois elevam a concentração de glicose no sangue e retardam a fadiga.

## **2.5 Estresse Oxidativo e antioxidantes**

### **2.5.1 Estresse oxidativo**

Em 1931, Haber e Willstatter propuseram a existência do radical hidroxila associado ao processo de oxidação e redução (redox). Depois, Haber e Weiss (1934) descobriram que os radicais hidroxila podiam ser gerados pela interação entre o peróxido de hidrogênio e o superóxido, porém foi somente na década de 1950 que os radicais foram aceitos como entidades químicas independentes fora da biologia (HENSLEY; FLOYD, 2002 ).

Até à data, têm se definido que nos sistemas biológicos, os radicais livres são considerados como quaisquer espécies químicas altamente reativas formados por um átomo, grupo de átomos, compostos ou moléculas instáveis liberados pelo metabolismo do corpo, que possuem um ou mais elétrons desemparelhados na sua camada externa (PIZZINO et al., 2017). São produzidos endogenamente nas mitocôndrias, retículo endoplasmático, peroxissomos, citosol, membrana plasmática e espaço extracelular. Além disso, eles são úteis na sinalização intracelular e na regulação do crescimento celular e, ainda, possuir existência independente.

Nesta perspectiva, os experimentos de Akimoto (2010) e Liu et al. (2015) apontam que, os radicais podem ser induzidos por fontes exógenas, como estresse, radiação ionizante, estilo de vida, dieta e tabagismo. Em grandes quantidades a produção de ERO, e/ou radicais livres presentes no corpo, são capazes de iniciar reações em cadeia adversas, como a peroxidação lipídica e os danos oxidativos com efeitos deletérios nos componentes celulares como proteínas, carboidratos, RNA e DNA, gerando alterações teciduais, com implicações como doenças neurodegenerativas, diabetes, câncer, envelhecimento cutâneo entre outras (KAYACAN et al., 2019; LIU et al., 2015).

Sendo assim, numerosos estudos (BARBOSA et al., 2010; DA SILVA; FERRARI, 2011; MARTELLI; NUNES, 2014; PAIXÃO, 2011) incluem entre as enzimas que controlam os níveis das ERO, os agentes que contêm, pelo menos, um elétron desemparelhado como o ânion radical superóxido ( $O_2^{\cdot-}$ ) e o peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ). Outros são: o radical alcoxila ( $RO^{\cdot}$ ), o íon peroxil ( $HOH^{\cdot}$ ), radical hidroxila ( $^{\cdot}OH$ ) e oxigênio singlet ( $^1O_2$ ) (LUO et al., 2020). Entre as ERN, incluem o óxido nítrico ( $^{\cdot}NO$ ) o radical dióxido de nitrogênio ( $^{\cdot}NO_2$ ) e o ânion peroxinitrito ( $ONOO^-$ ), ácido peroxinitroso ( $ONOOH$ ) entre outros. Então, devido ao seu potencial antioxidante o ( $^{\cdot}OH$ ), ( $O_2^{\cdot-}$ ) e o ( $H_2O_2$ ) são chamados de ERO, mas apenas o ânion superóxido ( $O_2^{\cdot-}$ ), e o radical hidroxila ( $^{\cdot}OH$ ) são radicais livres gerados a partir de várias fontes celulares (LUSHCHAK, 2014).

Além disso, o organismo vivo é provido com um sistema de defesa antioxidante (Figura 12), que atua na prevenção, interceptação e eliminação dos radicais formados, no reparo das células danificadas e alterações resultantes dos efeitos negativos das ERO/ERN, sendo dividido em sistema enzimático e sistema não enzimático (KAWAMURA; MURAOKA, 2018).

**Figura 12.** Representação esquemática do sistema de defesa antioxidante.



Fonte: Adaptado de Bhattacharya (2015).

Os antioxidantes do sistema de defesa enzimático predominam em membranas e organelas celulares, o qual inclui a CAT, que participa na reação de eliminação do peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ), promovendo sua catálise até  $H_2O$ ; a SOD que converte radical superóxido em peróxido de hidrogênio; a GPx, que converte a glutathiona reduzida (GSH) à glutathiona oxidada (GSSG), remove o peróxido de hidrogênio e forma água; a glutathiona redutase (GR), a lipoproteína de alta densidade (HDL) e outros compostos disponíveis no corpo como a bilirrubina, o ácido úrico e a melatonina (BARBOSA, 2010; BHATTACHARYA, 2015; PEIXOTO, 2014).

Em relação à proteção e saúde humana, existem algumas substâncias não enzimáticas com propriedades antioxidantes, que desempenham um papel protetor das doenças

cardiovasculares, autoimunes e neurodegenerativas, artrite, diabetes (PELUSO et al., 2018; EVANS; OMAYE, 2017).

Exemplos mais recentes de substâncias não enzimáticas, que atuam eletronicamente na proteção e saúde humana são os antioxidantes de baixo peso molecular como as vitaminas lipossolúveis, onde se destaca o tocoferol que reage com radicais peroxil (LOO-) na proteção contra a lipoperoxidação. Os carotenoides (carotenos e xantofilas) que neutralizam o O<sub>2</sub>, das ERO formadas nas membranas e podem funcionar como precursores da vitamina A; as vitaminas hidrossolúveis: vitamina C, vitaminas do complexo B, e os oligoelementos: ferro, magnésio, selênio, zinco, licopeno, cobre; os bioflavonóides derivados de plantas: polifenóis (flavonoides, ácidos fenólicos, lignanas e estilbenos) (DE ARAÚJO et al., 2010; ARAÚJO, 2014), controlam a síntese, a degradação de substâncias, suprem as necessidades biológicas e de proteção celular contra os radicais livres (PRADA et al., 2004).

Em 1985, Sies definiu pela primeira vez o termo estresse oxidativo como um distúrbio no equilíbrio pró-oxidante-antioxidante em favor do primeiro. Posteriormente, Sies e Jones (2007) descreveram o estresse oxidativo como um desequilíbrio entre oxidantes e antioxidantes em favor dos oxidantes, levando a uma ruptura da sinalização e controle redox e/ou dano molecular.

Evidências acumuladas de pesquisas demonstram que o estresse oxidativo desempenha um papel deletério nas células, pois estão relacionados a uma série de alteração funcional e prejuízo das funções vitais, tais como, músculo, tecido adiposo, proteínas, açúcares e DNA, além dos impactos associados a várias doenças como, caquexia, aterosclerose, reações inflamatórias, infecção pelo vírus HIV, cancro, artrite reumatóide, isquemia/reperfusão, catarata para diabetes mellitus, distúrbios congestivos, enfisema, Alzheimer, Parkinson, entre outras (CORTON; PETERS; KLAUNIG, 2018; DAS ABHISHEK et al., 2014).

Em contraste, pensa-se que o termo estresse oxidativo esteja mal definido, pois as ERO também são necessárias para modificar o estado redox, possuem um papel fisiológico como sinalizadores em moléculas para iniciar adaptações ao exercício, regular a função muscular e a contração. Estão envolvidos nas respostas imunológicas, ativação enzimática, controle de vários aspectos, gênese de tumor, defesas contra agentes infecciosos e na transformação dos alimentos em energia química (FUSTER-MUÑOZ et al., 2016; LICHTENBERG; PINCHUK, 2015; PEIXOTO, 2014). Portanto, cada efeito produzido pelos radicais livres pode desencadear um resultado específico de aumento ou diminuição do estresse oxidativo.

A definição atual de Luo et al. (2020) propõe que, o estresse oxidativo seja considerado uma desregulação fisiológica celular induzida pelo desequilíbrio entre a produção e acúmulo de ERO/ERN, enxofre e/ou radicais livres e a capacidade de um sistema químico, enzimático e

biológico de desintoxicar os intermediários reativos ou de reparar os danos resultantes. Tal desequilíbrio, se prolongado, leva à interrupção da sinalização e controle redox e/ou dano molecular e alterações fenotípicas, incluindo expressão gênica, proliferação e crescimento celular interrompido e senescência celular.

Para ajudar a equilibrar a superprodução de ERO/ERN em condições de doença metabólica, demonstrou-se que os polissacarídeos naturais têm sido amplamente considerados como agentes antioxidantes eficazes. Assim, vários estudos avaliaram a atividade antioxidante usando sistemas antioxidantes, como por exemplo, o estudo de Araghiniknam et al. (1996), cuja suplementação de deidroepiandrosterona (DHEA) associado ao extrato de inhame selvagem (*Dioscorea*) em humanos idosos, constatou um aumento nos níveis do sulfato sérico de DHEA, e redução na peroxidação lipídica sérica dos triglicerídeos séricos e fosfolipídios. Os autores identificaram ainda o aumento dos níveis de colesterol HDL causado pelo extrato de dioscorea.

Com isso, os achados de Ramos-Escudero et al. (2010) caracterizaram a espécie *D. trifida* como uma fonte antioxidante básica para modular a desnutrição, as doenças como o diabetes e os níveis elevados de colesterol LDL.

O estudo de Peixoto (2016) avaliou a resposta do teste de quimiotaxia em vermes nematoides mutantes tratados com *E.precatoria*. Segundo o autor, o extrato de açaí diminuiu significativamente a pontuação dos vermes agregados, atenuou os danos oxidativos às proteínas e preveniu ou controlou as doenças neurodegenerativas.

### **2.5.2 Antioxidantes**

Os antioxidantes são compostos e sistemas geradores que, podem inibir e/ou reduzir os processos de oxidação causado pelas ERO e ERN em seres vivos, influenciando nas ações dos marcadores de balanço redox, na codificação de enzimas antioxidantes, na qualidade nutricional dos alimentos, na rancidez dos produtos cosméticos e têm importante papel na saúde humana (PIZZINO et al., 2017).

Várias são as classes de substâncias encontradas naturalmente nos alimentos que atuam como antioxidantes no meio biológico, entre o quais se citam: compostos fenólicos (fenóis simples, ácido fenólico, flavonoides e outros polifenólicos), ácido ascórbico, tocoferóis e carotenoides. Além destes, os minerais manganês, cobre, zinco, selênio e ferro são também considerados antioxidantes por participarem de estruturas enzimáticas que catalizam reações de oxirredução (PEREIRA, 2015).

Evidências epidemiológicas mostram associação inversa entre o consumo frequente de frutas e hortaliças e o risco de DCNT, o que pode ser explicado pelo efeito protetor dos antioxidantes contidos em tais alimentos. Em face deste potencial, Morelli et al. (2011)

observaram que, os compostos fenólicos contidos na geleia de uva roxa da variedade Máximo (IAC-138-22) e identificados por CLAE, constitui um subproduto de grande capacidade antioxidante.

Em outro estudo de avaliação do potencial antioxidante de extratos obtidos a partir de resíduos de três frutos amazônicos (Açaí, Tucumã e Castanha do Brasil), Souza (2014) relatou que os resíduos destes frutos são ricos em compostos fenólicos, têm elevado potencial antioxidante e potente efeito antiproliferativo contra vários tipos cânceres, principalmente em linfomas.

Ainda neste contexto, Ramos-Escudero et al. (2010) e Santos S. (2016) consideram que o amido, a mucilagem e os açúcares dos tubérculos da espécie *D. trifida*, são alimentos atraentes para desenvolvimento de produtos funcionais, em especial, por expressarem propriedades antioxidantes, antitumorais, antimutagênico, hipoglicêmico, antifúngico e com amplo espectro de atividades biológicas.

Por outro lado, Earling et al. (2019) argumentam que os suplementos dietéticos de açaí em uma variedade de formas, embora contendo as informações nutricionais necessárias, após examinados por ensaios espectroscópicos comuns e técnicas cromatográficas para verificar a relação entre a composição química e as propriedades antioxidantes em produtos comercialmente disponíveis. Os resultados mostraram que metade dos suplementos deste estudo, foram caracterizados por baixo teor de antocianinas, níveis fenólicos e poder antioxidante. Lee (2019) endossa a hipótese, após identificar diferentes concentrações de antocianinas nos suplementos dietéticos e produtos alimentícios a base de açaí em cápsulas, em pó solto e líquido, analisados por CLAE. A análise revelou que os suplementos dietéticos e os produtos alimentícios constituíam subprodutos de baixo poder antioxidante.

### **2.5.2.1 O Exercício Físico**

O exercício físico pode ser compreendido como qualquer atividade física planejada, repetitiva e estruturada que tem como finalidade manter/melhorar a aptidão física. Dessa forma, o exercício físico regular moderado pode ser considerado de alto poder antioxidante não enzimático, correlacionado à melhora dos estados metabólicos e marcadores inflamatórios (PEIXOTO, 2014). No entanto, na década de 1970, descobriu-se que o exercício muscular intenso, foi associado ao estresse oxidativo em humanos. Considerando isso, o estudo de Dillard et al. (1978) elucidou que 60 minutos de exercícios de resistência a 50% do  $VO_{2máx}$ , promoveu o estresse oxidativo. Além disso, a suplementação com  $\alpha$ -tocoferol foi eficaz na redução da produção de pentano exalado no ar expirado induzido pelo exercício. Esse efeito foi creditado à ação antioxidante.

Pesquisas subsequentes demonstraram que exercícios aeróbios ou anaeróbios, resultam em aumento de biomarcadores de oxidação no sangue e no músculo esquelético em humanos e outros animais (POWERS; RADAK; JI, 2016). É sabido que, o corpo humano se adapta aos estímulos estressores do exercício físico, permitindo melhor capacidade física, a uma maior tolerância a carga de trabalho subsequente ao longo do tempo, visto que regula positivamente várias citocinas e proteínas quinases, como, por exemplo, o fator de necrose tumoral alfa (TNF- $\alpha$ ) (McLEAY et al., 2017).

Durante o metabolismo aeróbio normal, as ERO são geradas principalmente pela cadeia de transporte de elétrons mitocondriais (LUO et al., 2020). No entanto, quando falamos em carga de trabalho para exercícios aeróbios, deve-se considerar que: o nível leve é a atividade de baixa intensidade. O nível moderado, aproximadamente 1 hora de exercício físico diário. Nível alto, 1 a 3 horas/dia de intensidade moderada a alta. Nível muito alto, 4 a 5 horas/dia, intensidade moderada a alta.

Em baixos padrões de intensidade (40-50%) do  $VO_2$  máx. as ERO produzidas pelo exercício aeróbio, melhoram a eficiência metabólica e a função do volume sistólico, a sensibilidade à insulina, incrementando a força e massa muscular, função endotelial vascular e atenua o estresse oxidativo através do balanço das ERO que, podem influenciar a biodisponibilidade do eNOS (STIES et al., 2018). No entanto, fatores como intensidade, frequência, duração, massa muscular, nível de treinamento e um maior consumo de oxigênio no corpo, são acompanhados por indução de estresse oxidativo pela produção excessiva de ERO (STIES et al., 2018), bem como, o aumento na geração de ERN, incluindo o  $ONOO^-$ , gerado a partir do eNOS, envolvido no estresse oxidativo imposto pelo exercício (YAVARI et al., 2015).

Vale lembrar que, nas capitais brasileiras, 14% dos adultos de ambos os sexos são considerados inativos, isto é, não praticam nenhum tipo de atividade física (BRASIL, 2011). Também em condições normais de atividade do organismo, as vias de geração de ERO/ERN podem assumir diferentes níveis de importância que variam de acordo com o órgão, tecido ou metabolismo predominante envolvido no exercício físico.

Assim, investigações de De Oliveira Pedroso et al. (2015), sobre as respostas adaptativas induzidas pelo exercício para ERO, demonstram aplicabilidade habitual para manter a homeostase fisiológica na prevenção e tratamento de doenças cardiovascular, diabetes, câncer, hipertensão, obesidade, depressão e osteoporose. Entretanto, o exercício físico prolongado, em nível alto e muito alto que consegue gerar mais energia utilizando o  $O_2$  como substrato para manutenção dos sistemas, pode também exigir maior consumo de antioxidantes exógenos para a defesa contra o estresse oxidativo.

Dessa forma, Jackson, Vasilaki e Mcardle (2016) e Ahn et al. (2019) acreditam que, o exercício intenso, exaustivo, prolongado ou não habitual, provoca desequilíbrio entre a geração pró-oxidante e de defesa antioxidante, com níveis excessivos de espécies químicas oxidantes e outras espécies específicas reativas associadas ao aumento do estresse oxidativo, podendo resultar em condições patológicas do músculo esquelético, bem como degradação de carboidratos, lipídeos, proteínas e ácidos nucleicos (McLEAY et al., 2017; SOARES et al., 2015).

Além destes fatores, a poluição, a radiação, o fumo, os agrotóxicos e a dieta pobre em nutrientes, podem fazer com que o nosso corpo produza muito mais radical livre do que o normal (PINTO, 2018).

### **2.5.2.2 Avaliação do potencial antioxidante**

Tratando-se de biomarcadores, no entanto, não há um consenso entre os cientistas e clínicos sobre métodos laboratoriais mais confiável, acurado ou específico para aferição do estresse oxidativo (FRANÇA, 2013), do nível de atividade de enzimática, do indicador de processos biológicos normais, dos processos patogênicos ou das respostas farmacológicas a uma intervenção terapêutica (COTINGUIBA et al., 2015; VASCONCELOS et al., 2007), da lipoperoxidação de membranas (TURKCU et al., 2013), o que significa, que a obtenção exata do potencial antioxidante de um composto, a medição isolada por si só não é suficiente para avaliar com precisão o estresse oxidativo.

Porém, é possível empregar os testes chamados ensaios de capturação (“trap assays”), os quais variam quanto ao tipo de radical livre gerado e o indicador de oxidação escolhido, entre os quais pode-se citar os métodos físicos, físico-químicos e biológicos que utilizam técnicas confiáveis e métodos reveladores, para detecção precoce e prevenção de alterações no estresse redox celular e tecidos específicos, por meio da análise de biomarcadores (COTINGUIBA et al., 2015). Nestes ensaios, um radical é liberado para reagir com moléculas-alvo, a fim e produzir cor, fluorescência, quimiluminescência, perda ou ganho de sinais de Ressonância do Spin Eletrônico (VASCONCELOS et al., 2007).

Estudos laboratoriais indicam que a capacidade de proteção antioxidante dos polifenóis podem ser verificados *in vivo*, através dos métodos fotométricos e cromatográficos para aferir o nível de marcadores enzimáticos (SOD, CAT, GPx, GSH) e/ou a concentração de tripeptídeos (GSH) e aldeídos (malondialdeído-MDA) que está associado à peroxidação lipídica e pode ser realizado em tecidos, sangue e outros fluidos (FREITAS, 2014; HAN et al., 2014). O método de biomarcador do MDA é utilizado para monitorar a peroxidação lipídica de membranas e

lesão oxidativa em plasma (FRANÇA, 2013), porém a aferição do estresse oxidativo é feito por dosagens de GSSG e/ou pelo cálculo da razão GSSG/GSH.

Os ensaios químicos com substratos lipídicos, e os que utilizam técnicas instrumentais como ferramentas, determinam a atividade antioxidante *in vitro* de produtos naturais e fontes sintéticas, auxiliam a escolher espécies de plantas para estudos químicos e farmacológicos, bem como, comprovar a capacidade antioxidante de frutas, legumes e bebidas (RUFINO et al., 2010; SUCUPIRA, 2015).

Em datas recentes, devido aos diferentes tipos de radicais livres, diferentes métodos são usados para mensurar a capacidade antioxidante de substâncias presentes nos alimentos ou produtos comerciais e para o fornecimento de padrões de qualidade para questões regulatórias e alegações de saúde (BAUR et al., 2019; PODLOGAR e WALLIS (2020).

Geralmente, os métodos que são largamente utilizados para análise da capacidade antioxidante em alimentos e bebidas encontram-se divididos em duas categorias: (1) baseado na reação de transferência de elétrons e (2) baseados na reação de transferência de átomos de hidrogênio (Oxygen Radical Absorbance Capacity - ORAC). Os ensaios baseados em transferência de elétrons incluem o poder antioxidante redutor do ferro (FRAP), o ensaio de capacidade antioxidante equivalente ao trolox (TEAC), o teste de redução do radical DPPH (1,1-difenil-1-picril-hidrazil) é baseado na capacidade do DPPH<sup>•</sup> aceitar um elétron ou um radical hidrogênio para tornar-se uma molécula estável.

Já, o método ABTS<sup>•+</sup> (2,2 azinobis [3-ethylbenzothiazoline 6 sulfonic acid]) consiste em monitorar o decaimento do cátion-radical ABTS produzido pela oxidação do ABTS<sup>•+</sup> quando amostra contendo antioxidante é adicionada, ou seja, sequestrar os radicais livres (<sup>•</sup>OH) formados durante a oxidação (COTINGUIBA et al., 2015; SILVA, 2015), sendo necessária a combinação destes para uma análise completa do potencial antioxidante. A cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE) tem sido também, muito utilizada para mensuração específica de Hidroperóxido de lipídio (LOOH<sup>•</sup>) com detecção por quimiluminescência.

## **2.6 Distúrbios Associados ao Estresse Oxidativo**

O relatório da World Health Organization (WHO, 2015), presume que até 2030, os óbitos relacionados às DCNT se ampliem para 15% em todo o mundo, com aumentos ocorrendo nas regiões da África, Sudeste Asiático e Leste do Mediterrâneo. No âmbito nacional, no ano de 2015 as doenças cardiovasculares e respiratórias crônicas, os cânceres e o diabetes *mellitus*, foram responsáveis por 51,6% do total de óbitos na população brasileira com idade entre 30 a 69 anos (BRASIL, 2011).

Em estudo de avaliação e monitoramento da atividade antioxidante os epidemiologistas observaram aumentos na prevalência de DCNT impulsionadas por um estilo de vida mais sedentário, com diminuição da atividade física aliada ao aumento do consumo de *fast food*, dietas ricas em gordura, sal, açúcar e pobres em carboidratos complexos, vitaminas e minerais, o que levou a aumentos significativos na obesidade e diabetes *mellitus*.

Vale lembrar que, entre os anos de 1975 a 2016, o mundo registrou um aumento de 11 milhões para quase 340 milhões de crianças e adolescentes de 5 a 19 anos com sobrepeso ou obesos (WHO, 2018). Isto porque, a obesidade na infância está associada à obesidade no adulto, com risco aumentado de experimentar DCNT como hipertensão, diabetes e problemas psicológicos.

Estudos mostram que as adipocinas séricas e os marcadores inflamatórios estão diferentemente associados ao fenótipo obeso metabolicamente insalubre, bem como, ao grau de obesidade em humanos com sobrepeso e obesidade (VAZQUEZ et al., 2014).

Em ensaio laboratorial com camundongos diabéticos, Ceretta et al. (2012) identificaram aumentos nos níveis de superóxido no córtex pré-frontal, tais como, a produção de espécies reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS), em mitocôndrias de células localizadas na amígdala e na oxidação de proteínas do hipocampo. Os níveis aumentados produziram desequilíbrio entre as atividades de SOD e CAT, o que poderia contribuir para a fisiopatologia do diabetes. Uma vez que o diabetes *mellitus*, é uma patologia metabólica consequente do estresse oxidativo (CACCIAPUOTI, 2016).

Da mesma forma, aos efeitos nocivos das ERO e ERN são associados às DCNT e a síndrome metabólica, que está intrinsecamente ligado ao elevado risco de desenvolver algum tipo de neoplasia, por causa da perfusão tecidual gerada nas células musculares lisas vasculares. Além disso, a síndrome metabólica é caracterizada pela resistência à insulina e lipólise, manifesta um estado pró-trombótico e pró-inflamatório em relação ao envelhecimento e a obesidade (BATTELLI et al., 2019). Esses mesmos autores, afirmam que, à medida que as reservas de gordura visceral se expandem, os adipócitos geram níveis aumentados de ERO e síndrome metabólica (BATTELLI et al., 2019).

Na busca por outras informações, o químico Poprac et al. (2017) determinou que, nos humanos, a ocorrência de câncer está associada a síndrome metabólica, e envolve fatores genéticos, físicos, químicos e ambientais, demonstrados por um aumento nos marcadores de estresse oxidativo e na formação de espécies reativas de ERO e ERN. Essa ocorrência é indicada pelas concentrações reduzidas de ácido ascórbico,  $\alpha$ -tocoferol, carotenóides e o GSH no sangue.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### Aspectos éticos

Este trabalho foi registrado na plataforma do Sistema Nacional de Gestão do Patrimônio Genético e do Conhecimento Tradicional Associado (SisGen) com o código de cadastro: AD8AA0C, por terem sido usadas espécies vegetais nacionais.

#### Local de realização dos experimentos

O projeto foi conduzido na cidade de Manaus-Am, com as análises *in vitro* no Laboratório de Físico-Química de Alimentos do INPA. Laboratório de Tecnologia de Produtos de Origem Vegetal da UFAM. Nas instalações do Laboratório de Alimentos e Nutrição do IFAM-Zona Leste e no Laboratório de Atividade Biológica-BIOPHAR/UFAM, Fitoquímica e Semissíntese-FITOPHAR/UFAM. As análises de imagem e biologia celular na Faculdade de Ciências Farmacêuticas; Laboratório de Polímeros Nanoestruturados de Física do Instituto de Ciências Exatas-NANOPOL/UFAM, Laboratório de Inovação e Desenvolvimento em Tecnologia Farmacêutica-LIDETEF/UFAM e Laboratório de Estudos e Pesquisas em Aptidão Física-LEPAFI/UFAM.

#### 3.1 Obtenção da matéria-prima vegetal

##### Matéria-prima do Cará-Roxo (*Dioscorea trifida* L)

Os tubérculos de *D. trifida* são procedentes de roças e quintais de agricultura familiar e localizadas na Estrada Ary Antunes, lago de Caapiranga (Comunidades Patauí, Monte Alegre, Maloca e Vila Nova) e lago do Mebeca (Comunidades São Jorge, Nova Cana e Monte das Oliveiras) do município de Caapiranga-AM, localizado a 3°19'40"S e 61°12'25"W, na margem esquerda do Baixo Rio Solimões a 147 km da capital (Manaus), apresentando uma área territorial de 9.455,539 Km<sup>2</sup>, 45 comunidades, população estimada de 13.081 habitantes (IBGE, 2019a), clima tropical chuvoso e úmido, com temperatura média de 27°C, solo arenoso, com bom índice de permeabilidade, cobertura vegetal densa tropical.

O município de Caapiranga foi escolhido uma vez que o cará-roxo (*Dioscorea trifida* L) ou *Dioscorea ruiziana* Klotzsch ex Kunth é a principal cultura utilizada pela agricultura familiar e mantida principalmente por pequenos, médios produtores e exportada para as demais regiões do estado do Amazonas. Desta forma, os tubérculos foram coletadas entre os meses de abril a agosto de 2020 e adquiridos na quantidade necessária para cada análise específica do produtor rural, sendo recebidos diretamente do barco atracado na feira-livre Manaus moderna, da cidade de Manaus-AM, e transportados à temperatura ambiente ao Laboratório de Tecnologia de Pescado da Faculdade de Ciências Agrárias da UFAM, onde foi extraído o amido.

## Matéria-prima do Açaí (*Euterpe precatoria* Mart)

De modo semelhante, a polpa do açaí foi adquirida de uma empresa em Manacapuru-Am. Os frutos foram colhidos em diferentes quintais dos produtores do município de Manacapuru. O município de Manacapuru localiza-se a Sul de Manaus-Am, na região metropolitana, distando desta cerca de 102 Km, à margem esquerda do rio Solimões, na confluência deste com a foz do rio Manacapuru (03°18'33"S e 60°37'19"W), ocupa uma área de 7.336,579 Km<sup>2</sup>, possui 185 comunidades e população estimada de 97.377 habitantes (IBGE, 2019b), PIB per capita de 15.811,37. Manacapuru limita-se com os seguintes municípios: Iranduba e Manaquiri a leste, Anamá e Caapiranga a oeste, Beruri ao sul e Novo Airão a norte e noroeste.

### 3.2 Ensaios Biológicos (*IN VITRO*)

#### 3.2.1 Extração do amido do Cará-Roxo

A metodologia utilizada para a extração aquosa do amido do cará-roxo foi obtido pelo método descrito por De Melo Neto et al. (2015) , com modificações (Figura 13). Inicialmente, os tubérculos foram submetidos às etapas de higienização e sanitização em água clorada (100 ppm) por 15 min., lavados com água potável para e eliminação de terra e demais corpos estranhos.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O descascamento foi feito de forma manual com os tubérculos dentro de um recipiente. Em seguida os tubérculos foram colocados imersos em outro recipiente com água e cortados em pedaços pequenos de 0,3 cm x 0,3 cm x 0,3 cm. A polpa de cará-roxo foi adicionada apenas água destilada como solvente na proporção de 1:2 ( $m_s/v_a$ ) de acordo com a Equação 1, para posterior trituração por cinco minutos em liquidificador doméstico.

$$\text{Extração do amido}\% = m_s/v_a^2 \times 100$$

Onde:  $m_s/$  = massa de polpa de cará-roxo (g)

$v_a$  = volume de água destilada (ml)

(1)

A filtração foi feita em sacos de malha poliéster 40x40cm, com abertura de malha próxima a 200 mesh, sendo o sobrenadante descartado. A goma purificada foi disposta em bandeja de alumínio para decantação por 24 horas, em temperatura ambiente com a finalidade de estimular a ação enzimática.

O material decantado foi desidratado em estufa com circulação de ar a 50°C por 72 horas até atingir o mínimo de umidade para a obtenção da goma. Por fim, a amostra foi moída em moinho multiuso TE-631/2 (Tecnal). A goma pulverizada foi classificada por tamanho através de peneiramento em peneiras com abertura de 250 mesh (ABNT), em seguida acondicionada em sacos plásticos com capacidade para 500g com fechamento hermético, armazenadas e mantidas em ausência de luz, em sala com temperatura entre 28 e 37°C até o momento da execução das análises.

O rendimento de cada extração foi calculado como porcentagem de massa de amido obtida, em relação à massa bruta de tubérculos empregada, com a sua umidade original (cerca de 70%).

### **3.2.2 Extração da polpa do Açaí**

A polpa do açaí foi extraída mecanicamente, em hastes giratórias horizontais, que possui um misturador central e uma peneira no fundo. Os frutos foram selecionados, lavados em água corrente, submetidos à sanitização com solução de hipoclorito a 200 ppm por 30 minutos, lavados novamente com água corrente e jogadas no topo da máquina de despolpa, obtendo-se uma massa homogênea tomando todos os cuidados de higiene.

Posteriormente, as polpas foram acondicionadas em sacos plásticos com fechamento hermético e capacidade para 500g, armazenada e congelada em freezer à  $-18\pm 2^\circ\text{C}$ . Todo o processo relativo ao preparo da polpa do açaí foi similar aos utilizados por Bonomo et al. (2014).

#### **3.2.2.1 Secagem do Açaí por liofilização (Freezer-dryer)**

Optou-se por liofilizar a polpa do açaí, para manter melhor estabilidade do material, conservando-se sua composição química e sua atividade terapêutica.

A secagem por liofilização foi conduzida no Laboratório de Alimentos e Nutrição-LAN da Coordenação de Sociedade, Ambiente e Saúde (CSAS) do INPA, em liofilizador modelo L101 (Liobras Brasil), composto por câmara e tampa em acrílico, sistema de vácuo, bandejas inox e acabamento sanitário espelhado. Depois de congeladas a  $(-18^\circ\text{C})$  a polpa do açaí foi desidratada por 48 horas à  $-40^\circ\text{C}$ . O açaí foi congelado, depois encaminhado para a câmara de vácuo com aumento gradativo da temperatura, reduzindo-se deste modo a pressão circunvizinha, o que permite à água congelada no material passar diretamente da fase sólida

para a fase de vapor, sem tornar-se líquido durante o processo. A temperatura da zona de sublimação no material liofilizado foi mantida abaixo da temperatura do ponto triplo da água ou solução aquosa do açaí desidratado. Este processo, entretanto, permitiu manter a estrutura, as propriedades nutritivas e as características originais do açaí, com aumento da estabilidade do produto durante a estocagem.

### 3.2.3 Teor de amilose aparente

Para a determinação do teor de amilose purificada extraída do amido de tubérculos de cará-roxo, foi utilizado o método colorimétrico do iodo simplificado, que se baseia na transmissão de luz através de um complexo colorido que a amilose forma ao reagir com o iodo, segundo metodologia descrita por Martinez e Cuevas (1989). A quantificação da amilopectina foi calculada pela diferença em 100% do conteúdo de amilose usando o método colorimétrico.

Em um béquer foi pesado 0,2 g de iodo (macerado com algumas gotas de água) e 2 g de iodeto de potássio (KI), adicionando-se então 50 mL de água destilada. O frasco da solução foi coberto com papel alumínio e deixado em repouso durante 3 h, em ambiente protegido da luz. Posteriormente, transferiu-se para um balão volumétrico e completou-se o volume até 100 mL com água destilada, seguindo-se agitação até completa homogeneização.

Para o preparo da curva analítica foram utilizadas 10 soluções preparadas em balões volumétricos de 100 mL, preparadas a partir da solução de amilose com dição de ácido acético 1 mol. L<sup>-1</sup> (mL) e solução de iodo a 0,0001 mol. L<sup>-1</sup> (mL). Em seguida, o volume foi transferido quantitativamente para um balão volumétrico de 100 mL, completado com água destilada e agitado suavemente.

Para o preparo do branco, foi adicionado 1 mL de etanol (95%), 9 mL de hidróxido de sódio (NaOH) (1 mol.L<sup>-1</sup>) e 2 mL de solução de iodo em um balão volumétrico de 100 mL. O volume foi completado com água destilada e deixado em repouso por 30 min.

A amostra de amido envolvida em papel filtro, mergulhada em solução de hexano PA e mantida sob refrigeração por 3 dias, para retirada da gordura. Da amostra desengordurada de amido, foi pesada 0,5 g, as quais foram colocadas em tubos de ensaio com tampa. Foi acrescentado 1 mL de etanol (95%), lentamente, para evitar a formação de grumos, em seguida foram adicionados 9 mL de hidróxido de sódio (1 mol.L<sup>-1</sup>), com posterior homogeneização a fim de que todos os compostos entrem em contato com os grânulos do amido. A amostra foi aquecida em banho termostático a 100°C por 9 min, para a gelatinização do amido, deixando resfriar por 30 minutos. Após resfriadas, as amostras foram transferidas quantitativamente para balão volumétrico de 250 mL e completado o volume com água destilada.

Da solução obtida foram pipetados 5 mL e transferidos para balão volumétrico de 100 mL, onde foi acrescentado como catalisador da reação, 1 mL de ácido acético, sob agitação, 2 mL de solução de iodo e completado o volume com água destilada, as soluções foram homogeneizadas e deixadas em repouso por 30 min. A leitura da absorbância das soluções contidas nos balões (curva analítica), padrão, branco e amostra, foram realizados em um espectrofotômetro digital, no comprimento de onda de 590 nm. Os valores obtidos foram o resultado da média de cinco leituras. O teor de amilose foi obtido a partir da curva analítica construída com amilose de cará-roxo e realizado em triplicata.

### 3.3 Formulação do hidrogel misto de Cará-Roxo e Açaí

No preparo dos hidrogéis, foram produzidas amostras com diferentes soluções usando amido de cará-roxo misturado ao açaí liofilizado como materiais de base, conforme requisitos específicos de BRASIL (2010). As formulações foram submetidas ao tratamento térmico em banho-maria a uma temperatura de 70°C por 20-30 minutos, com agitação mecânica constante a 750 RPM usando bastão de vidro até a formação do hidrogel, depois acondicionadas em tubos falcon com capacidade para 50 ml até atingir temperatura ambiente.

A concentração de amido de cará-roxo associado com açaí liofilizado no hidrogel, está compreendida dentro de uma faixa que varia entre 5% a 10%. Tais soluções foram denominadas, amido de cará-roxo (ACR) e açaí liofilizado (AL), formadoras de hidrogéis a 5% de ACR+5% de AL+90ml H<sub>2</sub>O, 5% de ACR+10% de AL+85ml H<sub>2</sub>O, 10% de ACR+5% de AL+85ml H<sub>2</sub>O e 10% de ACR+10% de AL + 80ml H<sub>2</sub>O conforme Tabela 1.

Cada amostra de hidrogel foi testada à temperatura ambiente, até se chegar à composição de textura desejada após o período de endurecimento, quanto aos parâmetros reológicos sob cisalhamento oscilatório de gelatinização. Os hidrogéis foram avaliados e selecionados em função da correlação "desejo X aceitação" do consumidor conforme os critérios de melhor desempenho, menor valor de viscosidade aparente, menor perda de carga de viscosidade, sem perda de estrutura e tensão residual, com melhor desempenho e mais promissora.

**Tabela 1-** Formulação do hidrogel misto de cará-roxo (*D. trifida*) e açaí (*E.precatoria*)

Formulação	Proporções das matérias-prima		
	Material de base (g.100g <sup>-1</sup> de solução)		Material de base (ml/100ml)
	ACR%*	AL%*	H <sub>2</sub> O ml
5ACR5AL	5	5	90
5ACR10AL	5	10	85
10ACR5AL	10	5	85
10ACR10AL	10	10	80

\*ACR: amido de cará-roxo; \*AL: açaí liofilizado. **Fonte:** Dados da pesquisa 2020.

### 3.3.1 Avaliação do comportamento reológico do hidrogel

As medidas reológicas das formulações do hidrogel, foram realizadas usando um reômetro controlado por tensão, modelo Modular Compacto: MCR 72 (Anton Paar Brasil LTDA.). Foram utilizadas placas com 40 mm de diâmetro e 0,5 mm de lacuna ranhuradas para evitar o deslizamento da amostra com um gap fixo de 800  $\mu\text{m}$ , que permitiu medir torques de 0,1  $\mu\text{Nm}$  a 200  $\mu\text{Nm}$  segundo metodologia de Liu et al. (2019). Primeiramente, o comportamento da solução do hidrogel foi estudado na faixa de deformação  $\gamma$  ( $\text{s}^{-1}$ ) entre a faixa de varredura logarítmica com uma faixa de frequência de  $10^{-3}$ - $10^1$  Hz, variando a tensão de cisalhamento para obter uma taxa de cisalhamento entre aproximadamente 0,01 e 300  $\text{s}^{-1}$ . O tempo de corrida, para cada ensaio, foi programado para dois minutos para a corrida ascendente e dois minutos para a corrida descendente, obtendo-se 21 pontos de taxa de deformação versus taxa de cisalhamento constante. A temperatura de análise foi mantida em 25°C através de um sistema de geometria que utilizou um cilindro peltier estacionário instalado na placa inferior. O *software* TRIOS foi conectado a um microcomputador para controlar o equipamento e adquirir parâmetros reológicos. As curvas de escoamento e a viscosidade aparente foram determinadas através de regime estacionário conduzido sob tração de cisalhamento constante, para verificar o comportamento viscoelástico do hidrogel em relação à resistência. Os dados de tensão de cisalhamento foram ajustados ao modelo reológico de Ostwald-de-Waele (Lei de Potência) segundo a Equação:  $\tau = K \cdot \dot{\gamma}^n$ , onde  $\tau$  representa a tensão de cisalhamento (Pa);  $K$  é o índice de consistência ( $\text{Pa}\cdot\text{s}^n$ ),  $\dot{\gamma}$  é a taxa de cisalhamento ( $\text{s}^{-1}$ ) e  $n$  é o índice de comportamento de fluxo adimensional. A partir do método empregado foi possível avaliar os parâmetros com as seguintes características: temperatura inicial de pasta, viscosidade mínima, temperatura no pico de viscosidade máxima, viscosidade final no ciclo de resfriamento, tendência a retrogradação (*set back*) e quebra do grânulo intumescido.

### 3.4 Análise físico-química do amido de cará-roxo, polpa do açaí e hidrogel

As matérias-primas selecionadas e o hidrogel foram submetidos às análises de caracterização físico-química realizadas em triplicata, seguindo os métodos analíticos preconizados pelo Instituto Adolfo Lutz - IAL - (2008). O teor de lipídios foi determinado seguindo o protocolo 032 / IV, com amostras obtidas por meio de um extrator Soxhlet com éter de petróleo. O teor de carboidratos foi determinado segundo IAL (2008) para cereais, amidos e extratos de soja, estimado pela diferença entre 100 e a soma dos percentuais de umidade, proteína, lipídios totais e cinzas.

As análises microbiológicas dos teores de umidade (AOAC, 2016 número 930,16) e cinzas (AOAC, 2016 número 942,05) foram determinados por método gravimétrico, no qual as

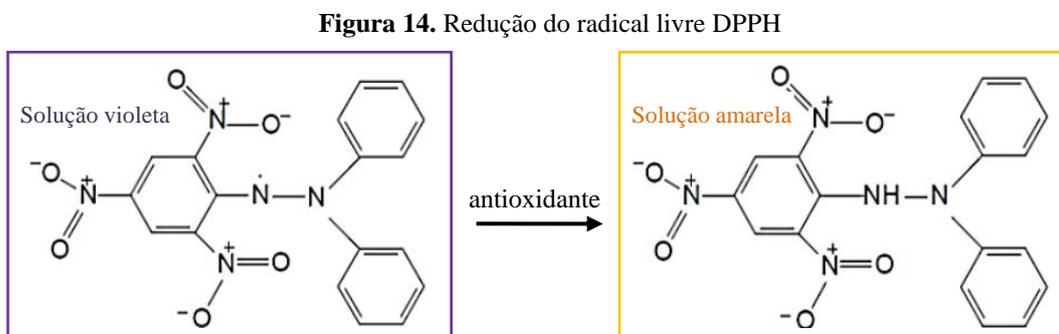
amostras foram submetidas ao aquecimento em estufa a 105 ° C e carbonizadas em placas elétricas, com posterior incineração em mufla a 550 ° C respectivamente. O teor de proteína foi determinado pelo método micro-Kjedhal, seguindo o protocolo da AOAC (2016, número 929,152), usando um fator de conversão de 6,25.

### 3.5 Determinação da Atividade Antioxidante

Para a caracterização de atividade varredora de radicais, utilizou-se os métodos de DPPH<sup>•</sup> e ABTS<sup>•+</sup> que são capazes de inibir ou retardar a oxidação por inativação de radicais livres graças à doação de átomos de hidrogênio ou de elétrons.

#### 3.5.1 Varredura do Radical 2,2-Difenil-1-Picrilhidrazil (DPPH<sup>•</sup>)

A capacidade total de eliminação de radicais livres do açaí liofilizado, hidrogel e do amido de cará roxo foi determinada pelo sequestro ou captura do radical 2,2-difenil-1-picrilhidrazil (DPPH<sup>•</sup>) segundo metodologia previamente descrita por Jing et al. (2015) com poucas modificações relacionadas ao volume alterado para microplaca. O método baseia-se na transferência de elétrons onde, o DPPH<sup>•</sup> que possui cor púrpura é reduzido formando difenil-picril-hidrazina, de coloração amarela, através desse decaimento a porcentagem de atividade antioxidante é calculada (Figura 14).



Fonte: Adaptado de Yamaguchi (2015).

Foram pesados 2 mg de DPPH (Diphenil-picryl-hidrazina) do laboratório Sigma Aldrich® e dissolvidos em 10 mL de etanol absoluto. Uma alíquota de 30 µL das amostras em concentração de 1 µg.mL<sup>-1</sup> foi adicionada num poço. Para conhecer a absorbância dos brancos específicos (Abs<sub>controle</sub>), em uma placa de 96 poços foram adicionados 30 µL das diluições dos derivados e 270 µL de álcool etílico e as absorbâncias foram mensuradas em espectrofotômetro UV-Vis no comprimento de onda 517 nm no leitor de Elisa DTX Beckman Coulter.

Para o ensaio, foram adicionados 30 µL das diluições dos derivados e 270 µL da solução de DPPH e a placa permaneceu incubada no escuro à temperatura ambiente por 30 minutos, decorridos os quais, realizou-se a segunda leitura (Abs<sub>amostra</sub>) e foi mensurada a redução do radical livre DPPH a 492 nm. Como controle negativo utilizou-se 30 µL de etanol e

270  $\mu\text{L}$  de solução de DPPH. Os ensaios foram feitos em triplicata os resultados foram expressos em porcentagem de inibição do DPPH, calculado segundo a equação 2.

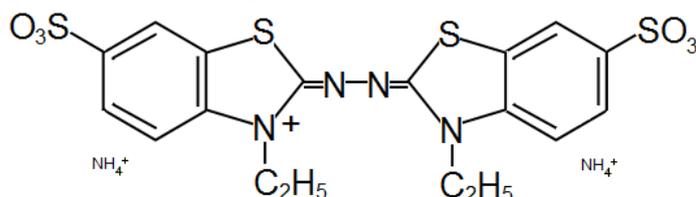
$$\% \text{ de AA} = 100 - \left\{ \frac{(\text{Abs}_{\text{amostra}} - \text{Abs}_{\text{branco}}) \times 100}{\text{Abs}_{\text{controle}}} \right\} \quad (2)$$

Onde:  $\text{Abs}_{\text{controle}}$  = absorvância do controle (da solução etanólica de DPPH)  
 $\text{Abs}_{\text{branco}}$  = absorvância do branco (solução de metanol)  
 $\text{Abs}_{\text{amostra}}$  = absorvância das amostras (açai, hidrogel e cará roxo)

### 3.5.2 Método de Captura do Radical $\text{ABTS}^{\bullet+}$ -TEAC (Trolox Equivalent Antioxidant Capacity)

A análise da atividade antioxidante das amostras de açai liofilizado, hidrogel e do amido de cará roxo foram determinadas pela metodologia de captura do radical ABTS 2,2'-azinobis (3-etilfenil-tiazolina-6-sulfonato) (Figura 15), que avaliam a transferência de átomo de hidrogênio conforme descreve Rufino et al. (2007).

**Figura 15.** Estrutura do cátion radical [2,2'-azinobis (3-etilfenil-tiazolina-6-sulfonato)] ou  $\text{ABTS}^{\bullet+}$



**Fonte:** Dados da pesquisa 2020.

Para o ensaio da atividade antioxidante adicionou-se 5 mL da solução aquosa de ABTS (7mM) e 88 $\mu\text{L}$  de persulfato de potássio (140mM) em tubos de ensaio. A mistura permaneceu em repouso entre 12-16h antes da análise, no escuro, para geração do cátion radical cromóforo  $\text{ABTS}^{\bullet+}$ . Em seguida, diluiu-se 1 mL desta mistura em etanol até obter uma absorvância de 0,70 nm ( $\pm 0,05$ ), que foi lida em Leitor de Elisa (DTX Beckman Coulter) a  $\lambda$  734 nm.

Para determinação da atividade antioxidante das amostras de açai liofilizado, hidrogel e do amido de cará roxo, adicionou-se 30 $\mu\text{L}$  de diferentes diluições (50; 25; 12,5; 6,25  $\mu\text{g}/\text{mL}$ ) em 3 mL da solução  $\text{ABTS}^{\bullet+}$  em cada leitura, e após 6 minutos foi realizada a leitura das absorvâncias. O etanol foi utilizado para calibrar o espectrofotômetro. A padronização dos resultados foi realizada utilizando o antioxidante trolox como padrão de referência, sendo expressos em  $\mu\text{mol TEAC}/\text{g}$  de amostra e a capacidade de reduzir o radical ABTS (% de atividade antioxidante) foi calculada utilizando a equação 3:

$$\% \text{ Atividade} = \left( \frac{\text{Abs}_{\text{amostra}}}{\text{Abs}_{\text{controle}}} \right) \times 100 \quad (3)$$

Onde:  $\text{Abs}_{\text{amostra}}$  = absorvância lida para a amostra  
 $\text{Abs}_{\text{controle}}$  = absorvância lida para o ABTS sem amostra (controle)

A curva de atividade antioxidante (ou de inibição do radical  $ABTS^{\bullet+}$ ) versus concentração para o Trolox (ácido 6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcromo-2-carboxílico 97%, Sigma-Aldrich), foi construída utilizando as mesmas quantidades de amostra e do reagente, porém, variando as concentrações de 0,625 a 9,375  $\mu\text{g/mL}$ , correspondentes a 0,0025 a 0,0375  $\mu\text{mol/mL}$ , além do controle sem a substância. A porcentagem de atividade antioxidante foi calculada conforme já descrito para o DPPH e as curvas atividade x concentração foram construídas, tanto para amostra quanto para o Trolox. A atividade da amostra foi calculada em relação à do Trolox, com os resultados sendo expressos em  $\mu\text{mol TEAC/g}$  de amostra. O valor de inclinação para o Trolox foi obtido pela média entre os obtidos para as três curvas. Cada valor de TEAC foi obtido a partir da razão da inclinação de uma curva da amostra com a média do Trolox. Por fim, o valor médio de TEAC foi obtido pela média do valor para as três curvas, de cada amostra.

### **3.6 Condições de CLAE do hidrogel de Cará-Roxo e Açaí**

A técnica de cromatografia líquida de alto desempenho (CLAE) é um processo pelo qual diferentes solutos são separados, identificados e quantificados por uma dinâmica diferencial do processo migratório em um sistema contendo uma ou mais fases, das quais uma desloca-se continuamente em uma dada direção e no qual as substâncias exibem mobilidades distintas devido a diferenças de adsorção, partição, solubilidade, pressão de vapor, tamanho da molécula ou densidade de carga iônica.

O Teor de antocianina foi quantificado num sistema de CLAE Waters® Alliance 2695 equipado com um detector de matriz de fotodiodo Waters® 2996 e o gerenciador de cromatografia Millennium versão 3.1 (Waters Corp., Milford, MA).

Os detectores de díodos e espectrômetro de massas (Shimadzu 2010A) em aparelho com duas bombas LC-10AD, desgaseificador DGU-12A, injetores SIL-10AD e coluna de forno. Foi utilizada a metodologia reportada por Chandra et al. (2001) com adaptações. Foram utilizados na análise a coluna C-18, a 35°C, com fluxo de 0,8 mL/min e volume de injeção de 50  $\mu\text{L}$ . Foi utilizado um sistema gradiente com duas fases móveis: eluente A, água com ácido fórmico 0,1%, enquanto o eluente B é metanol. As condições de eluição aplicadas incluíram o seguinte: o gradiente era % B, inicial, 20%; 26 min, 60%; 30 min, 20%; 35 min, 20% (tempo de execução 45 min). PDA 200-800 nm; comprimento de onda de 525 nm e uma válvula de seleção de seis canais Rheodyne®.

Após a combinação de amostra e solução tampão, foi utilizada membrana de 0,45  $\mu\text{m}$  para filtração e uma alíquota da solução filtrada foi utilizada para a injeção no cromatógrafo. A

taxa de fluxo foi 0,8 mL / min, a temperatura da coluna de 35°C a amostra ambiente, e o volume de injeção de 50 µL.

O padrão, cloreto de cianidina-3-rutinosídeo (0,40 mg) lote #BCCB7745 00052510 da marca Sigma Aldrich® foi dissolvido em solução de 2% de HCl / MeOH (v / v) (10 mL), e usado como padrão de solução de estoque para gerar a curva de calibração. O estoque soluções foram diluídas 1/5, 1/10, 1/25 e 1/100 vezes em 2% HCl / MeOH (v / v) para fornecer 0,08, 0,044, 0,018, 0,035 e 0,0044 mg / mL de soluções de cloreto de cianidina-3-rutinosídeo. Essa solução padrão e a solução estoque foi injetada para gerar uma calibração de cinco pontos curva, a curva padrão ficou linear com  $R^2$  0,9981, as áreas de pico dos compostos alvo estavam dentro da faixa linear da curva. Padrão relativo aos desvios para duas injeções por padrão (para um conjunto de cinco soluções padrão) eram inferiores a 2,0%.

### 3.7 Difração de Raios X (DRX)

A medida do grau de organização das moléculas de polímero das amostras foram obtidos através da Espectroscopia de difração de Raio-X (DRX) com um difratômetro Shimadzu, modelo XRD 7000 (máxima) do Laboratório de Alimentos e Nutrição do IFAM-Zona Leste, de acordo com a metodologia reportada por Alberton et al. (2014).

A amostra foi colocada em um porta-amostra de vidro próprio do equipamento e expostas a radiação UV/ionizante  $CuK\alpha$ , e monocromador ajustado para comprimento de onda de  $\lambda = 1,542 \text{ \AA}$ , operando a 35 kV e 15 mA, que contém um tubo de cobre gerador de raios X com filamento de tungstênio e monocromador de grafite no intervalo angular de 10° a 100° (ângulo de Bragg-2 $\theta$ ), passo angular de 0,02° e velocidade de 0,016°.seg<sup>-1</sup>. As informações foram coletadas durante 174s e o software PANanalytical X'Pert HighScore Plus foi usado para coletar dados e a análise de difração de pico. A técnica de difração de raios-X está baseada na difração de radiação eletromagnética de comprimentos de onda na ordem de 10<sup>-10</sup> a 10<sup>-12</sup> m, e fornece importantes informações sobre a estrutura cristalina de sólidos e é feita a partir da incidência de raios-X no material. Em todas as amostras foram feitas aplicações de "*smoothing*" para diminuir os ruídos instrumentais. O grau relativo de cristalinidade (Xc) é definido como a porcentagem de material cristalino na biomassa, e foi calculado baseando-se na relação entre a área dos picos (Ap) e área de base (Ab) do difratograma, de acordo com a equação 4.

$$Xc = \frac{Ap}{(Ap + Ab)} \times 100 \quad (4)$$

Onde: Xc = grau relativo de cristalinidade  
 Ap = área dos picos (cristalina)  
 Ab = área de base (amorfa)

### 3.8 Citotoxicidade

#### 3.8.1 Ensaio de viabilidade celular

A citotoxicidade do amido de cará-roxo, açaí liofilizado e do hidrogel foi determinada pelo método Alamar Blue, conforme descrito por Nakayama et al. (1997). As linhas celulares foram plaqueadas na concentração de  $0,5 \times 10^4$  células / poço em uma placa de microtitulação de 96 poços e incubadas durante a noite. Após 24 horas de incubação e aderência das células, as mesmas foram tratadas com o amido de cará-roxo, açaí liofilizado e o hidrogel nas concentrações de (50; 25; 12,5; 6,25; 3,125; 1,562; 0,781  $\mu\text{g/mL}$ ) em Eagle Modificado por Dulbecco (DMEM) contendo soro. Para controle negativo foi utilizado apenas o meio de cultura. O experimento foi realizado em triplicata no período de 72 h. Após o tempo de metabolização, foram adicionados 10 $\mu\text{L}$  da solução de uso de Alamar Blue e (solução estoque 0,4% 1:20 em meio de cultura), e após 3 horas de incubação a 37°C foi feita a leitura da absorbância em leitor de microplacas Elisa na faixa de 540 nm excitação e 585 nm de emissão (DTX800 Beckman e Coulter) e expressa como uma porcentagem das células no controle após a subtração da fluorescência de fundo. Ao controle negativo foi adicionado água no volume correspondente a maior concentração testada. Os valores obtidos foram então calculados e organizados em gráfico, onde os que estão acima de 50% indicam não haver citotoxicidade considerável. A viabilidade foi calculada conforme a equação 5.

$$\% \text{ viabilidade} = \frac{\text{MAA}}{\text{MAcn}} \times 100 \quad (5)$$

Onde: Ft = Média de Absorbância da Amostra  
Fb = Média de Absorbância do controle negativo

### 3.9 Análise Estatística

Todos os ensaios *in vitro* foram realizados pelo menos três vezes e em triplicata. Os ensaios biológicos também foram repetidos pelo menos três vezes. As análises estatísticas foram expressas como média  $\pm$  desvio padrão (DP), frequência e percentual utilizando o software estatístico *Statistical Package for the Social Sciences* (SPSS) versão 22.0 e o software Graphpad Prism for Windows, versão 6.01 (GraphPad Software, La Jolla, CA). Os resultados foram comparados por ANOVA a 5 % de significância estatística de uma via seguida pela correção de Bonferroni (post hoc).

## 4 RESULTADO E DISCUSSÃO

### 4.1 Rendimento do amido de Cará-Roxo

O cálculo do rendimento de amido obtido na extração foi realizado de acordo com a equação 1. Assim, para esta pesquisa foram utilizados 15,70 kg de tubérculos de cará-roxo *in natura*. Depois de descascados, o peso total desses tubérculos foi 14,197 kg e um rendimento do amido de 9,04% cará-roxo em protocolo de extração aquosa. Os resultados de nosso estudo foram comparados com o estudo de Tavares (2019) que, em extração aquosa do amido de inhame de *D. trifida* obteve 24,06 %, esse valor de rendimento é considerado alto em relação ao de nosso estudo. Também rendimento do nosso estudo foi inferior ao encontrado por Mollica (2013) e Perez (2012), quando extraíram amido de inhame variedade *D. trifida* com o protocolo de extração com água, 79,58% e 16,1%, respectivamente. Nas mesmas condições de extração Santos S. (2016) relatou rendimento inferior: 5,65% para o amido de cará-roxo *in natura* em extração aquosa. Esta discrepância nos valores de rendimento após a extração do amido dos tubérculos parece depender de fatores como estrutura, composição, teor de amido nos tubérculos, a época de colheita, as condições de conservação pós-colheita, característica sazonal da cultura, eficiência do método de isolamento dos tubérculos e tratos culturais.

### 4.2 Rendimento da polpa de Açaí liofilizado

O cálculo do rendimento para se obter a polpa do açaí foi realizado de acordo com a equação 6:

$$\text{Rendimento em polpa liofilizada\%} = \frac{\text{Mp}}{\text{Mf}} \times 100 \quad (6)$$

Onde: Mp = Kg de polpa obtido  
Mf = Kg de fruto usado

Para esta pesquisa, a cada Kg de fruto adicionou-se aproximadamente 0,334 Kg de água (30%) obtendo-se 0,417 Kg de polpa Tipo A. Assim, foram utilizados 10 litros de polpa de açaí *in natura* em extração com água. Depois de liofilizado, o peso total foi 1,760 kg em relação ao total de litros foi 17,6%. Esse rendimento foi superior ao encontrado por Cartonilho (2008), quando extraiu a polpa do açaí do Tipo A com 16,9 % de sólidos totais da espécie *E. Precatoria* com o protocolo de extração com água. Menores rendimentos ainda, foram encontrados no extrato do açaí *E. Precatoria* do estudo de Yamaguchi (2015), que variaram de 0,11 a 0,65%, em extração de solução hidroalcolica e etanólica respectivamente.

Considerando os resultados reportados na literatura, é possível que o rendimento das amostras dos estudos de Cartonilho (2008) e Yamaguchi (2015) tenham sofrido processo de degradação provavelmente relacionado à extração.

### 4.3 Teor de amilose

O teor de amilose do amido é importante para elucidar suas propriedades funcionais e usos potenciais, sendo correlacionados aos parâmetros de cristalinidade, propriedade térmicas e de pasta, susceptibilidade enzimática, e também propriedades de solubilização e inchamento (HORNUNG, 2018). É normalmente determinado pela reação clássica entre as ligações  $\alpha$  1-4 e iodo, formando um complexo azul, que é medido espectrofotometricamente. Portanto, é muito importante que o teor de amilose seja quantificado para processamento de alimentos e de qualidade.

A amostra de amido nativo de *D. trifida* utilizada neste estudo, e determinada pelo método iodo ressublimado foi composta por 11,7% do teor aparente de amilose. Em amidos regulares, o teor de amilose constitui cerca de 15 a 30 % de amido total (HOOVER, 2001). Em nosso estudo, verificou-se que o amido de *D. trifida* analisado desenvolveu uma coloração vermelho-violáceo quando interagiu com o iodo ressublimado e, portanto, devido à presença das ramificações da amilopectina a interação com o iodo foi menor, o que apoia a hipótese de que o amido de cará-roxo de nosso estudo é ceroso (PÉREZ, 2011). O amido de inhame normal desenvolve um padrão de coloração azul, isso porque o aprisionamento do iodo se dá no interior da hélice formada pela amilose.

Teores de amilose de 12,0 e 27,6% foram encontrados em dois estudos que investigaram amidos de *D. trifida*, conforme determinado pela capacidade de ligação de iodo (PÉREZ, 2011; HORNUNG, 2018).

A discrepância no conteúdo de amilose pode ser devido ao método analítico utilizado, diferença no cultivo que inclui estado fisiológico e ambiente de cultivo. Quando se determina a amilose por colorimetria com titulação por iodo ou pelo método de *Blue value*, o teor da mesma pode ser superestimado pois cadeias ramificadas longas de amilopectina podem formar complexo com o iodo, já os métodos por espectrofotometria apresentam muita variabilidade nos resultados.

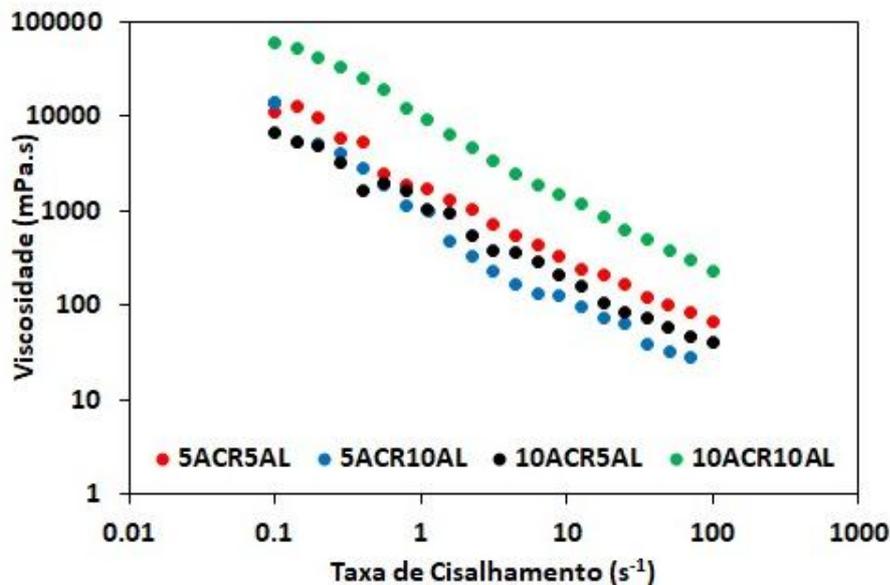
### 4.4 Comportamento reológico do hidrogel

Para estudar o comportamento reológico do hidrogel misto do amido de cará-roxo (ACR) e açaí liofilizado (AL), experimentos em duplicata foram realizados a 25°C. Na Figura 16 são mostradas as concentrações das amostras executadas a 5ACR5AL, 5ACR10AL, 10ACR5AL e 10ACR10AL. Além disso, o desempenho reológico referente à viscosidade aparente foi avaliado em função da taxa de cisalhamento fixada em  $100 \text{ s}^{-1}$  e o estresse de  $0,1 \text{ s}^{-1}$  foram escolhidos para os testes de varredura de frequência, o que é comumente associada às condições do processo alimentar.

Nos resultados obtidos dos dados reológicos temos a viscosidade aparente versus a taxa de cisalhamento em fluxo estacionário, com as curvas de escoamento para as quatro soluções do hidrogel, onde se verifica que nenhuma faixa viscoelástica linear entre  $0,1$  e  $10\text{s}^{-1}$  foi observada. Analisando-se as curvas de fluxo da viscosidade aparente, nota-se que para a temperatura estudada ( $25^\circ\text{C}$ ) a extensão do espessamento de todas as amostras dos hidrogéis não são constante e variam com as proporções dos agentes nas soluções. Foi observado ainda, que a adição do amido de cará-roxo provocou uma diminuição na viscosidade aparente da solução 10ACR5AL, porém, não alterou o comportamento reológico.

De um modo geral, pode-se observar que conforme o cisalhamento continua, em todas as formulações do hidrogel, ocorreram inclinações similares e suaves das curvas de fluxo que foram acompanhadas de um decréscimo na viscosidade característico de fluidos não-Newtonianos e independente do tempo. Este decréscimo significa que, para manter a resistência das soluções ao escoamento, a taxa de deformação é reduzida.

**Figura 16.** Curvas do fluxo de viscosidade aparente VS taxa de cisalhamento do hidrogel de amido de cará-roxo com a adição de açaí liofilizado.



Fonte: Dados da pesquisa 2020.

Além disso, as propriedades das suspensões gelatinizadas são caracterizadas pela extensão dos diferentes teores de amilose e amilopectina presentes, indicando um comportamento de natureza tipicamente pseudoplástico não-Newtoniano das soluções, ou seja, a pseudoplasticidade pode ser caracterizada através da inclinação das curvas de escoamento, que diminuem com o aumento da taxa de cisalhamento, o que se deve provavelmente às quebras de estrutura da rede de moléculas de polissacarídeos devido à aplicação de tensão.

Tal tendência reforçou ainda mais o caráter pseudoplástico das soluções de hidrogeis observados no presente trabalho. Esse comportamento de desgaste de cisalhamento também foi relatado para a polpa de açaí, géis de amido de milho nativo e de fécula de mandioca nativa obtidos sob diferentes condições e equipamentos (COSTA et al., 2018; HOOVER, 2001; SILVA, 2019).

A viscosidade aparente das polpas de açaí estudadas por Trevisan (2011) mediante o emprego dos reômetros rotacionais foram menores do que as observadas no presente trabalho, pois as taxas de cisalhamento estiveram nas temperaturas de 15°C, 25°C, 35°C, 45°C e 60°C, na faixa de até 25 Pa entre 0 e 50 s<sup>-1</sup>.

O açaí e o cará-roxo apresentam composições físico-químicas rica em proteínas, carboidratos, fibras e lipídios. Essa alta quantidade compostos associados ao elevado número de partículas insolúveis ocasionou um deslizamento entre a amostra e a superfície do reômetro. Assim, após o tratamento, foi possível verificar que a amostra 5ACR10AL teve o maior impacto na viscosidade aparente e conseqüentemente na consistência do hidrogel, apresentando os menores valores para esses parâmetros.

Estes resultados demonstram que a solução 5ACR10AL foi a mais promissora, por ter apresentado maior armazenamento de energia, melhor desempenho e boas propriedades de fluxo, comportamento mais forte, estruturado e compacto, com valor médio de viscosidade aparente, menor perda de carga e estrutura durante o escoamento, com baixa deformação na faixa de escoamento entre 1 e 100 s<sup>-1</sup> e a presença de tensão residual, caracterizando uma estrutura de hidrogel mais viscoso que elástico e melhor estruturado.

No entanto, é importante ressaltar que as diferenças entre esses relatórios e os achados do presente trabalho podem ser explicadas e estar relacionadas às diferenças na concentração das partículas agregadas, composição química da polpa do açaí, do amido do cará-roxo e às características da fase dispersa, que por sua vez podem variar devido a diversos problemas relacionados às condições de cultivo do açaí, como solo e clima, grau de maturação dos frutos e tubérculos, bem como a forma como a matéria-prima foi processada.

O uso de *D. trifida* e do *E. precatória* na formulação de hidrogel é uma alternativa inovadora que, além de valorizar essas plantas nativas da Amazônia, incentiva o desenvolvimento sustentável da agricultura familiar regional.

Além disso, do ponto de vista comercial, a diminuição da viscosidade aparente facilita o escoamento do hidrogel e a troca de calor durante o processamento da matéria-prima. Sabe-se que quanto menor a viscosidade de um fluido, menor será a perda de carga durante o escoamento.

#### 4.5 Composição centesimal do amido de Cará-Roxo, polpa do Açaí e do hidrogel

Na Tabela 2 são apresentados os dados com os valores da composição nutricional, umidade e sólidos totais em  $\text{mg}/100\text{g}^{-1}$  da matéria seca nas amostras do amido de cara-roxo, açaí liofilizado e hidrogel. Não existe classificação legal para o hidrogel de cará-roxo com o açaí, e não foram encontradas referências na literatura quanto às suas características de composição físicas e químicas. Consequentemente, os dados foram comparados apenas com estudos existentes sobre o cará-roxo e o açaí.

**Tabela 2** . Parâmetros da composição centesimal em  $\text{mg}/100\text{g}^{-1}$  de amostra (base seca %) do amido do cara-roxo, açaí liofilizado e do hidrogel de açaí e cará-roxo em triplicata.

Composição	Amido do cará-roxo		Açaí liofilizado		Hidrogel	
	Média	D. P.	Média	D. P.	Média	D. P.
Umidade (g/100g)	4,43 ± 0,84		3,85 ± 0,55		12,63 ± 0,22	
Cinza	2,74 ± 0,10		2,42 ± 0,29		1,40 ± 0,19	
Lipídios totais (g)	0,50 ± 0,08		41,02 ± 0,49		11,33 ± 0,33	
Proteínas (g)	2,57 ± 0,36		6,48 ± 0,31		5,09 ± 0,02	
Carboidratos (g)	89,50 ± 0,37		46,23 ± 1,00		69,17 ± 0,55	

Resultado expresso como média ± D. P. = Desvio padrão (n = 3).

Nossos resultados diferem do trabalho de Lobato et al. (2019) e de Silva et al. (2017) que encontraram 45,83% e 85,36% de umidade, respectivamente, em amido de cará-roxo e polpa de açaí, ambo seguiram os métodos do Instituto Adolfo Lutz- IAL e da Associação de Químicos Analíticos Oficiais - AOAC. Fernandes (2016) também encontrou porcentagens de umidade bem maiores (87,52) do que as citadas acima para o suco de açaí (*E. precatoria*). Os valores de composições químicas deste estudo encontram-se dentro dos limites estabelecidos pela Resolução (ANVISA RDC nº 263 de 22 de setembro de 2005). Sabe-se que um alto teor de umidade pode levar as amostras a um grande risco de deterioração por crescimento fúngico e bacteriano (BRASIL, 2005). Variações nos níveis de umidade estão relacionadas aos métodos artesanais usados para preparar o material de base, bem como ao tempo e às condições em que a secagem ocorreu.

Os níveis de cinzas do cará-roxo (2,74%) e do açaí liofilizado (3,85%) foram maiores do que aqueles relatados por Lobato *et al.* (2019), Fernandes (2016) e de Yuyama et al. (2011) para amido de cará-roxo e o suco de açaí (*E. precatoria*), oriundos de dez municípios da Amazônia, com valores de 0,31%, 0,31% e 0,30% respectivamente. Cinzas em geral, demonstra que o fruto e o tubérculo são fontes de minerais, podendo ser utilizado como uma alternativa complementar para a alimentação. É constituída de compostos como K, Na, Ca e Mg, pequenas quantidades de Al, Fe, Cu, Mn e Zn e outros elementos.

Os valores lipídicos do cará-roxo (Tabela 2) foram menores do que os relatados por Lobato et al. (2019) (0,55%), porém as proporções do açaí liofilizado aqui encontradas foram maiores que os do estudo de Yuyama et al. (2011) (4,80%). Repetidas lavagens na metodologia de preparo do cará-roxo podem explicar os baixos valores aqui relatados.

Os conteúdos de proteína bruta obtidos do cará-roxo (Tabela 2) foram maiores que os relatados por Lobato et al. (2019) (0,99%) e Yuyama et al. (2011) (0,82%). Fernandes (2016), avaliando o potencial antioxidante da polpa de açaí (*E. precatória*), encontrou teor de proteína de 7,66, valor este maior que os encontrados no nosso estudo.

Para a farinha de inhame doce (*Dioscorea* spp.), valores elevados de proteína bruta podem estar associados a resíduos de nitrogênio resultantes da quebra de mucopolissacarídeos (mucilagem). O conteúdo de proteínas da polpa de açaí e do hidrogel, apresentam capacidade de ser explorados no desenvolvimento de produtos pela indústria alimentícia

A quantidade média de carboidratos do cará-roxo (89,50) e do açaí liofilizado (46,23) foram maiores do que aqueles relatados por Lobato et al. (2019), Fernandes (2016) e de Cartonilho (2008) para amido de cará-roxo e a polpa de açaí (78,38%, 25,92 e 11,38%, respectivamente). Os resultados obtidos para os carboidratos em matéria seca da polpa do açaí liofilizado, estão em desacordo com a legislação vigente que estabelece  $51\text{g}.100\text{gms}^{-1}$  de carboidratos. Além disso, os teores de carboidratos podem ter sido mascarados pelo teor de fibras, que não foram analisados na composição centesimal e foi incluído no cálculo de açúcares totais.

Estes dados estão em conformidade com SANTOS S. (2016), estudando a variedade *D. trifida* e YUYAMA et al. (2011), estudando a espécie *E. precatória*. Porém é importante ressaltar que as diferenças de valores nos resultados das concentrações dos constituintes nutricionais do presente estudo podem estar relacionadas à diferenças nas amostras, método de extração, o estágio fisiológico, quando cessou a transferência de nutrientes para os tubérculos de cará-roxo e sementes do açaí.

Inserese também as diferentes características ambientais de cada ecossistema amazônicoe as condições de cultivo como tipo de solo, estágio de maturação dos frutos do açaí e tubérculos de cará-roxo, a dinamicidade climática, ciclos de produção agrícola, lugar e épocas em que foram realizadas as colheitas e às diferentes condições de análises utilizadas nos trabalhos citados.

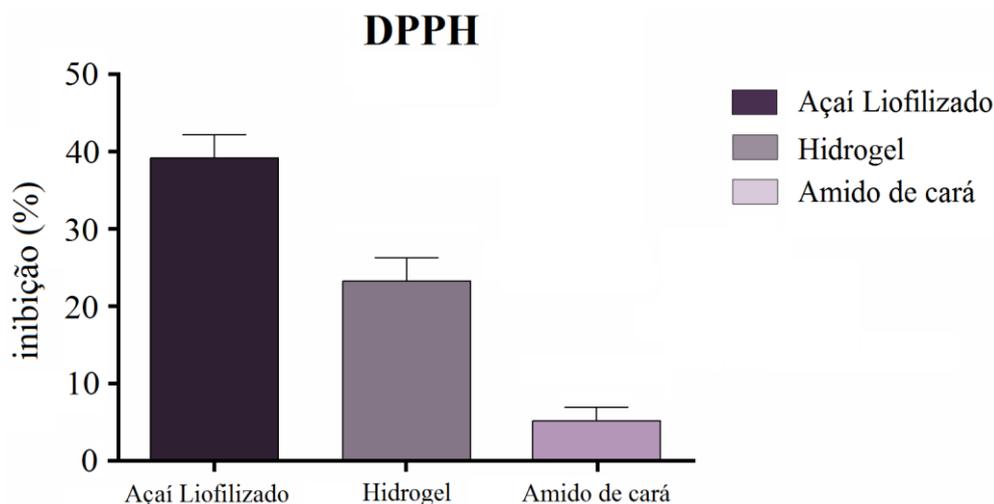
As condições de cultivo terão impacto direto na composição do açaí e tubérculos do cará-roxo, como quantidade de carboidratos, fibras, proteínas e lipídios. Esses compostos criam uma rede na fase dispersa, que também interage com a fase contínua.

#### 4.6 Ensaios do Potencial Antioxidante *in vitro*

Nas Figuras 17 e 18 podem ser visualizadas os resultados dos ensaios *in vitro*, dos ensaios do DPPH e do ABTS, respectivamente. De acordo com os resultados, há diferenças estatisticamente significativas entre os valores de atividade antioxidante obtidos em 100 mg/mL das concentrações, tanto no ensaio de captura do radical livre DPPH quanto no ensaio de captura do radical ABTS. Os resultados obtidos na determinação da capacidade sequestrante do radical DPPH são expressos em percentagem de inibição, mediante a curva de inibição na concentração em  $\mu\text{g/mL}$ .

Na literatura não há relatos de avaliação da atividade antioxidante frente ao radical livre DPPH e ABTS para o hidrogel de cará-roxo incorporado com o açaí. Conseqüentemente, os dados foram comparados apenas com estudos existentes sobre o cará-roxo e o açaí liofilizado.

**Figura17.** Capacidade antioxidante, pelo método DPPH do açaí liofilizado, hidrogel e amido de cará roxo.



Fonte: Dados da pesquisa 2020

No caso do radical DPPH, quanto menor o valor de  $CI_{50}$ , maior a atividade. Assim, todas as frações etanólicas apresentaram atividade antioxidante, sendo que a atividade antioxidante (% AA) da polpa de açaí liofilizada expressou a maior capacidade de captação do radical DPPH de  $39,8 \pm 0,87\%$ , seguido pelo hidrogel (24,51%) e por último o amido do cará-roxo (5,17%) podendo ter ação para proteger o tecido contra danos causados pelo estresse oxidativo.

Embora os resultados diferentes obtidos impeçam uma melhor avaliação sobre a diferença entre as atividades antioxidantes das frações da polpa de açaí liofilizada, do hidrogel e do amido do cará-roxo, constatou-se que o hidrogel e o amido do cará-roxo apresentam atividade antioxidante menor. Esse fato pode ser explicado por uma condição mais intensa utilizada no processo de extração e na metodologia para obtenção das frações. Entretanto, de

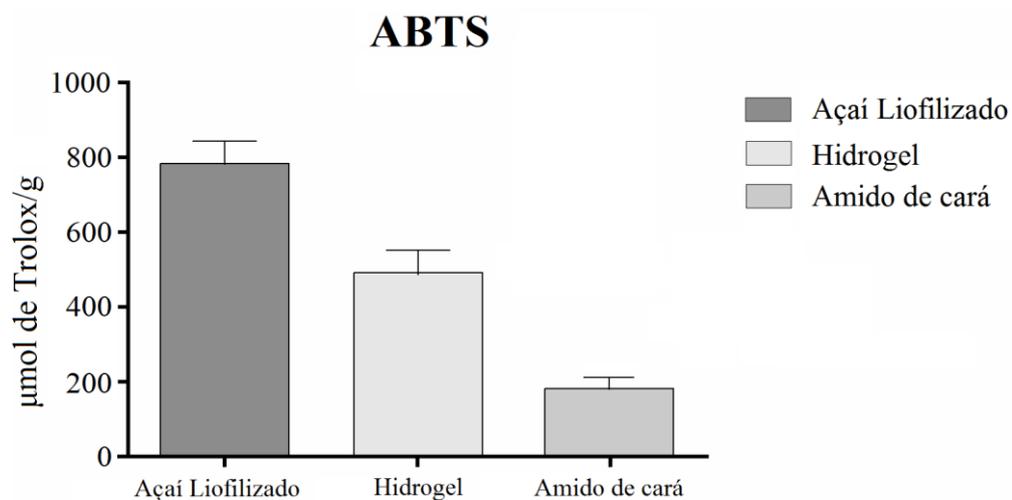
acordo com esse resultado, pode-se inferir que essa condição não favoreça a extração de compostos com atividade antioxidante, mas, provavelmente, acelera sua degradação.

O ensaio TEAC, foi mensurado pela capacidade dos compostos antioxidantes em captar o radical colorido  $ABTS^{*+}$ , em meio aquoso, que acarretou na diminuição da intensidade da cor em relação a concentração do radical  $ABTS^{*+}$ . Assim, o potencial antioxidante das mostras da polpa de açaí liofilizada, do hidrogel e do amido de cará roxo (Figura 18) variou de 178,8 a 783,5  $\mu\text{mol}$  de trolox/ $\text{g}^{-1}$ .

O açaí liofilizado apresentou maior expressão de sequestrar radicais livres pelo método ABTS, com média de  $783,5 \pm 59,3$   $\mu\text{mol}$  de trolox/ $\text{g}^{-1}$  cujo valor foi significativamente maior, em comparação com hidrogel que apresentou valor médio de  $493,2 \pm 52,4$   $\mu\text{mol}$  de trolox/ $\text{g}^{-1}$  e o amido de cará roxo que mostrou menor capacidade de sequestrar radicais livres pelo método ABTS com valor de  $178,8 \pm 44,2$   $\mu\text{mol}$  de trolox/ $\text{g}^{-1}$ .

A capacidade antioxidante da polpa de açaí liofilizada, do hidrogel e do amido de cará roxo detectada pelo ensaio com  $ABTS^{*+}$  foi significativamente superior ao ensaio do DPPH•- (\* $p < 0,05$ ). Tal resultado poderia ser justificado pelo fato de que o ensaio com  $ABTS^{*+}$  é baseado na geração de um radical azul ou verde, que é aplicável a sistemas antioxidantes hidrofílicos e lipofílicos, enquanto que o ensaio do DPPH usa um radical dissolvido em meio orgânico, que é mais aplicável aos antioxidantes hidrofóbicos. Como a polpa de açaí liofilizada, o hidrogel e o amido de cará roxo são hidrofílicos, a maior atividade sequestradora para o radical  $ABTS^{*+}$  pode ser esperada.

**Figura 18.** Atividade antioxidante pelo método ABTS ( $\mu\text{mol}$  de Trolox/g de amostra) do açaí liofilizado, hidrogel e amido de cará roxo.



**Fonte:** Dados da pesquisa 2020.

Outros estudos também mostraram resultados divergentes com relação a esse tema: o estudo de Yamaguchi (2015), por exemplo, relata valores mais elevados na capacidade de

sequestro do radical DPPH no extrato hidroalcoólico do açaí (*E. precatória*) com  $46,55 \pm 3,99\%$ . Também a atividade antioxidante dos extratos seco do açaí (*E. oleracea*) do estudo de Garzon et al. (2017), mostraram maior atividade de eliminação do DPPH ( $21.049 \pm 3071,0$   $\mu\text{mol TE} / 100$  g). Este valor também é maior do que o informado para a fruta brasileira para DPPH obtido em solução metanólica por Kang et al. (2010) ( $13.340 \pm 1120,0$   $\mu\text{mol TE} / 100$  g DW). Porém a pesquisa de Barbosa et al. (2016), mostrou que a polpa de açaí (*E. oleracea*) tem resultado significativo para a atividade total antioxidante, com o fruto apresentando 37,0% de inibição do radical DPPH, em comparação com o nosso estudo este valor foi menor.

Em relação a atividade antioxidante do extrato etanólico da amostra de amido do cará-roxo determinadas pelo método DPPH ( $5.17 \pm 1.68\%$ ) foi significativamente menor que o valor ( $88,13 \pm 0,12\%$ ) apresentado por Teixeira (2011).

A cerveja adicionada com o extrato hidroalcoólico de açaí (*E. precatória*) do estudo de Peixoto et al. (2016) obteve valor de  $3,83 \pm 0,04\%$  equivalentes de Trolox no ensaio DPPH. Verifica-se que o potencial antioxidante e o maior teor de fenólicos totais obtidos nas nossas amostras, podem ser explicados pela presença de compostos bioativos e de acordo com a variação do ensaio realizado.

Entretanto, no estudo de Carvalho et al. (2015), em que foi avaliada a atividade antioxidante por várias metodologias em solução aquosa, inclusive ABTS, o autor encontrou maior atividade antioxidante ( $923,11 \mu\text{mol Trolox/g}^{-1}$ ) em extrato de *E. oleracea*, do que no presente estudo.

Em contraste, o estudo anterior de Rufino et al. (2010) também avaliou os polifenóis e a capacidade antioxidante em matéria seca de 18 frutas tropicais brasileiras utilizando várias metodologias em solução aquosa. Os autores encontraram valor menor em relação à amostra do açaí de nosso estudo ( $64.5 \pm 19.2 \mu\text{mol Trolox/g}^{-1}$ ). Pode-se afirmar que, há uma relação direta entre o conteúdo de fenólicos totais e a capacidade antioxidante das amostras analisadas. Também, as amostras que apresentaram os maiores conteúdos de fenólicos totais foram as que apresentaram a maior atividade antioxidante, tanto utilizando os radicais DPPH, como os radicais ABTS.

#### **4.7 Análise de Difractometria de Raio X (DRX)**

A análise de difratometria de raios X possibilita a identificação dos padrões que podem ser relacionados com a natureza botânica dos amidos, pois revela a presença e as características da estrutura cristalina dos grânulos. Assim, a radiação de raios X é gerada através do bombardeamento do ânodo por elétrons do cátodo. Trata-se de radiações eletromagnéticas com comprimentos de onda ( $\lambda$ ) entre  $0,02 \text{ \AA}$  e  $100 \text{ \AA}$ .

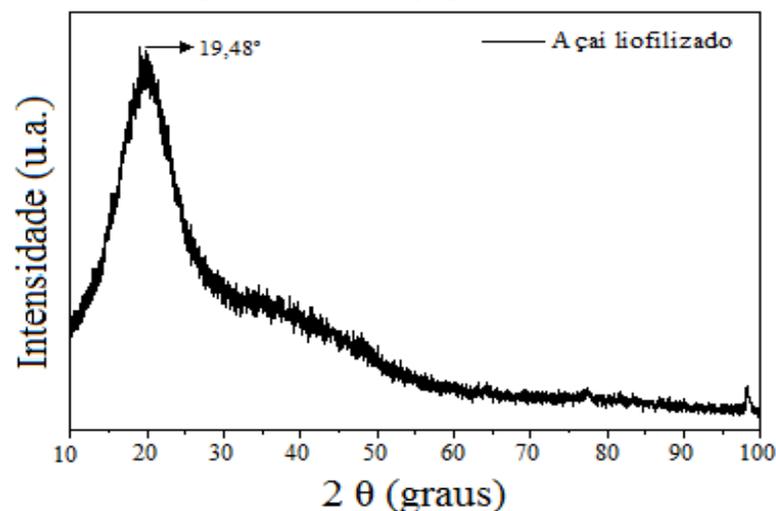
#### 4.7.1 Padrão de difração de Raio X da polpa de Açaí liofilizado

O resultado da análise de DRX da polpa do açaí liofilizado apresentou boa parte de sua estrutura na condição amorfa, que no difratograma é representado por um pico de maior intensidade no ângulo em  $2\theta = 19,48^\circ$  (Figura 19). Esse ângulo foi próximo ao encontrado comumente em difratogramas de glicose e frutose cristalizada, e indica região cristalina relativo à presença de celulose obtida a partir das fibras filamentosas da polpa (mesocarpo), isto sugere que o processo de liofilização atingiu as condições necessárias para a formação desse cristal.

O mesmo padrão foi observado por Oliveira (2016), que também avaliando o comportamento da polpa de açaí da espécie *E. olerácia*, encontrou um pico de cristalinidade a  $21,01^\circ$  em ângulos  $2\theta$ , semelhantes aos obtidos no presente estudo.

Em contraste, a amostra de Tavares (2020) demonstrou um padrão em  $2\theta$ , picos de cristalinidade a  $15^\circ$  e  $22^\circ$  característicos da celulose.

**Figura19.** Difratograma de raio-X da polpa de açaí liofilizado a  $25^\circ\text{C}$ .



Fonte: Dados da pesquisa 2020.

O valor relativo ao grau de cristalinidade ( $X_c$ ) da polpa do açaí liofilizado foi plotado por computador usando *OriginPro 2018*® e calculado como a razão entre a área superior de intensidade do pico de difração superior correspondente à região cristalina e a área total de difração (Figura 22A). A seção amorfa foi tomada como a área inferior entre uma curva suave abaixo da porção cristalina e uma linha de base que conecta o ponto de intensidade, no intervalo de varredura limitado entre  $10^\circ$  e  $56^\circ$  ( $2\theta$ ) pois as fases de celulose cristalina possuem picos de difração típicos neste intervalo. O grau de cristalinidade relativa da polpa liofilizada de açaí usando a Equação 1 foi 23,25%. Tavares (2020) encontrou grau de cristalinidade (31,3%) para a amostra de *E. olerácia*.

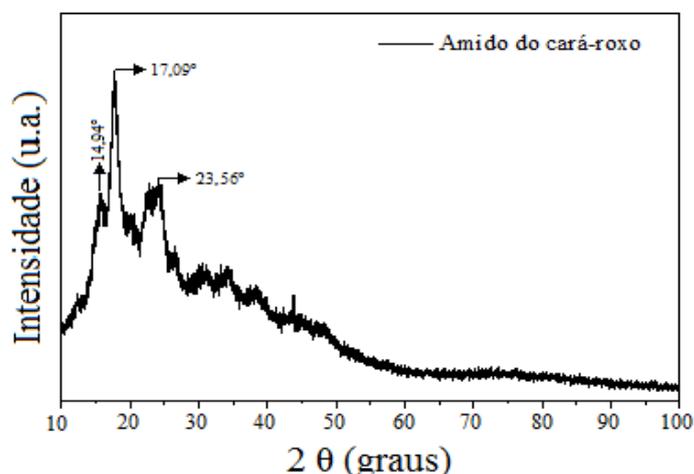
#### 4.7.2 Padrão de difração de Raio X do amido de Cará-roxo

O difratograma de raio X na Figura 20, apresenta picos mais fortes de difração registrados na região cristalina em 14,94°; 17,09° e 23,56° em ângulos  $2\theta$ , indicando que o tratamento por extração aquosa não afetou a cristalinidade da farinha do cará-roxo, que pode ser classificado como do Tipo A, que geralmente em rizomas e tubérculos tropicais apresentam um polimorfismo do Tipo B ou C. Amidos com padrões de difração do Tipo B correlaciona-se negativamente com o grau de cristalinidade dos amidos, ou seja, quanto maior o teor de amilose do amido, maior sua cristalinidade.

O padrão cristalográfico denominado tipo A, têm em média uma proporção maior de moléculas com cadeias curtas do que as amilopectinas dos amidos tipo B. Padrões de cristalinidade semelhantes foram observados por Santos S. (2016) para o amido de *D. trifida* com picos a 15, 17 e 24° em ângulos  $2\theta$  característicos do tipo A, o padrão esperado para amidos de tubérculos é do Tipo B. O mesmo foi observado para a amostra de *D. trifida* do estudo de Hornung (2018b) (15,17,23, 25°) em ângulos  $2\theta$ , e padrão tipo A.

Nos resultados do difratograma de raios-X de *D. trifida* obtidos por Pérez (2011) foram observados picos a 15, 17, 22 e 24° em ângulos  $2\theta$  e polimorfismo do Tipo A.

**Figura 20.** Difratograma de raio-X de amido de cará-roxo por extração aquosa a 25°C.



**Fonte:** Dados da pesquisa 2020.

O valor relativo de cristalinidade da amostra de amido do cará-roxo foi calculado utilizando o software *OriginPro 2018*®, calculando a razão entre a área superior de intensidade do pico de difração superior correspondente à região cristalina e a área total de difração (Figura 22B). A seção amorfa foi tomada como a área inferior entre uma curva suave abaixo da porção cristalina e uma linha de base que conecta o ponto de intensidade, no intervalo de varredura limitado entre 10° e 55° ( $2\theta$ ), pois as fases de cristalinidade para os amidos possuem picos típicos aos padrões Tipo A e B, neste intervalo.

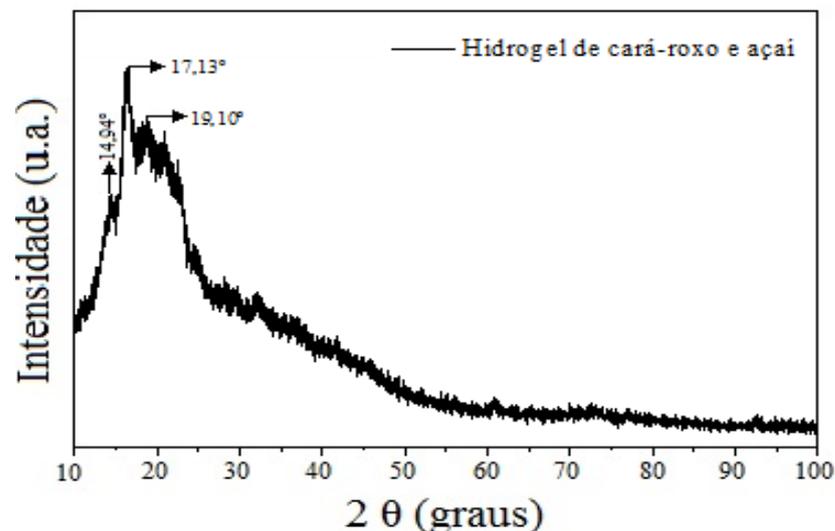
O grau de cristalinidade relativa da farinha do amido de cará-roxo foi 28,78%. Para amidos nativos a cristalinidade relativa varia de 15 a 45%. A alta região de cristalinidade e a baixa região amorfa podem ser explicadas pelo baixo teor de amilose presente no amido de cará-roxo que, correlaciona-se positivamente com o grau de cristalinidade da matéria-prima. Em contraste, as amostras de *D. trifida* do estudo de Hornung (2018) demonstrou grau de cristalinidade de 15,4%. Tais variações podem ter acontecido devido à relação com a fonte botânica do amido, sua composição, os níveis de umidade e as mudanças no amido (HORNUNG, 2017).

#### 4.7.3 Padrão de difração de Raio X do hidrogel de Cará-roxo e Açaí

O difratograma de raio X do hidrogel, na Figura 21, apresenta picos de difração correspondentes a  $2\theta$  localizados em  $14,94^\circ$ ,  $17,13^\circ$  e  $19,10^\circ$  mostrando que os principais picos indicam regiões cristalinas característicos do amido do cará-roxo e da constituição de celulose da polpa liofilizada de açaí.

A seção amorfa foi tomada como a área inferior entre uma curva suave abaixo da porção cristalina e uma linha de base que conecta o ponto de intensidade, no intervalo de varredura limitado entre  $10^\circ$  e  $52^\circ$  ( $2\theta$ ) (Figura 22C). O grau de cristalinidade do hidrogel de cará-roxo e açaí foi de 20,88%.

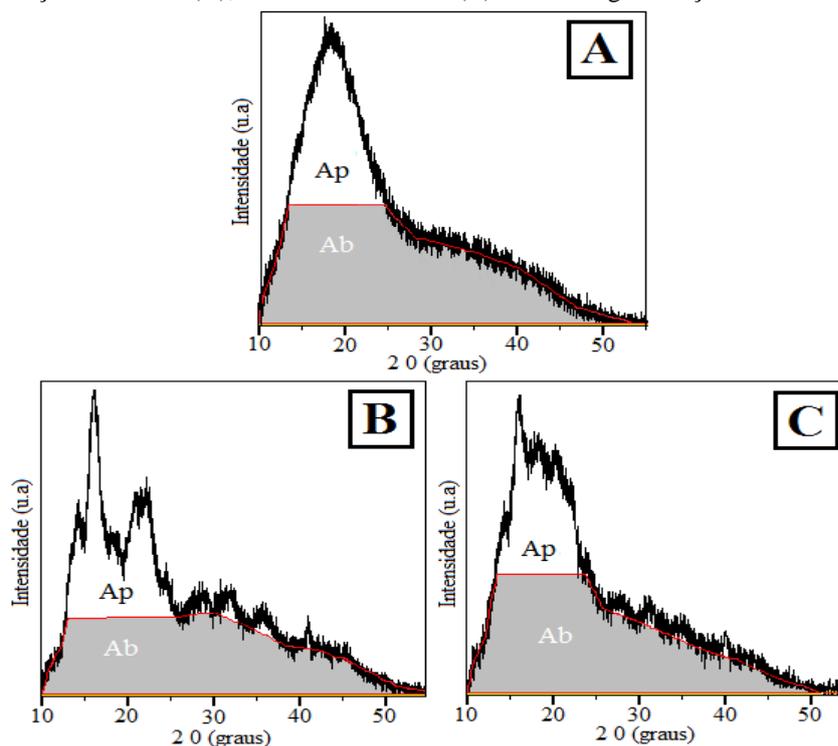
**Figura 21.** Difratograma de raio-X do hidrogel de cará-roxo e açaí a  $25^\circ\text{C}$ .



Fonte: Dados da pesquisa 2020.

O Xc do hidrogel de cará-roxo e açaí foi plotado por computador usando *OriginPro 2018*® e calculado como a razão entre a área de intensidade do pico de difração superior correspondente à região cristalina e a área total de difração.

**Figura 22.** Difratograma de raio-X açáí para calcular o grau de cristalinidade relativa da amostra do açáí liofilizado (A), amido de cará-roxo (B) e do hidrogel de açáí e cará-roxo (C).



Fonte: Dados da pesquisa 2020.

#### 4.8 Condições de CLAE do hidrogel de Cará-Roxo e Açáí

Neste trabalho, são apresentados os valores obtidos por meio da avaliação do conteúdo de antocianina na formulação do hidrogel de cará-roxo com o açáí. Como não há na literatura científica trabalhos que reportem a um padrão sobre o nível aceitável quanto às características de composição de antocianinas proveniente da matéria-prima adquirida (hidrogel de açáí e cará-roxo), utilizou-se como critério de comparação os dados dos estudos existentes sobre o açáí. Desse modo, a partir do cromatograma obtido pela técnica de CLAE e, utilizando o padrão de uma antocianina descrita em literatura, cianidina-3-O-rutinosídeo, confirmou-se qualitativamente a presença desta na fração do hidrogel de açáí e cará-roxo com boa resolução e magnitude. Em seguida quantificou-se esta antocianina (Tabela 3).

**Tabela 3** - Teor de antocianina identificada e quantificada ( $\text{mg}/100\text{g}^{-1}$  de amostra) pelo método de CLAE na fração de hidrogel de açáí (*E. precatória*) e cará-roxo (*D. trifida*) em triplicata.

Amostra		Quantificação		
Composto Fenólico	Curva de Calibração	$R^2$	$\mu\text{g}/\text{mL}$	$\text{mg}/100\text{g}^{-1}$ *
Cianidina-3-O-rutinosídeo	$y = 411,33x$	0,9981	$974,29 \pm 15,1$	$0,974 \pm 0,15$

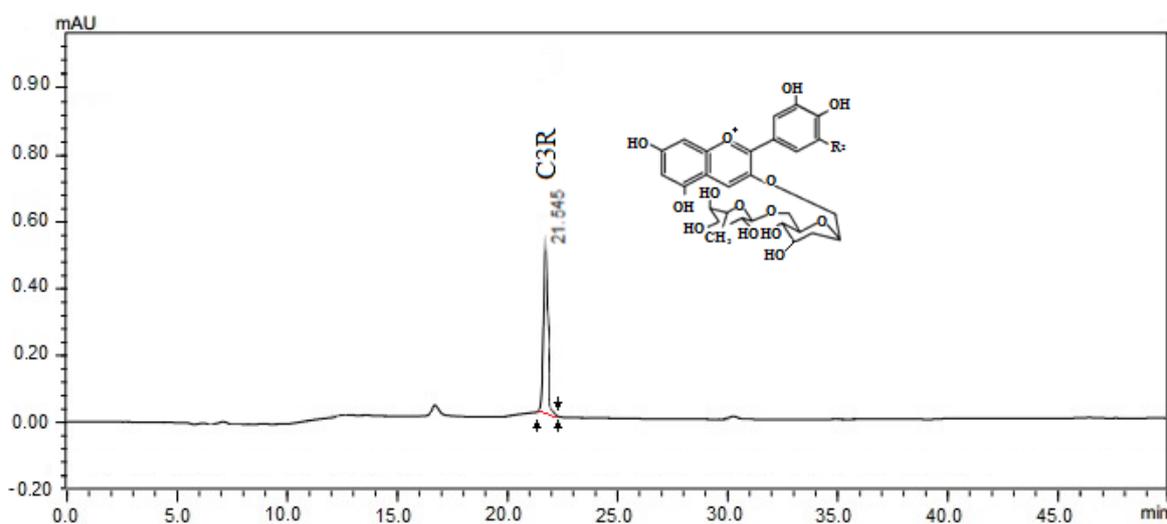
\*Resultado expresso como média  $\pm$  desvio padrão de base úmida.

O procedimento adotado durante a coleta padrão, após eluição parcial, apresentou apenas um pico cromatográfico sem interferência e referente ao padrão de antocianina. Na

Figura 23 é mostrado o cromatograma 525 nm com um sinal significativo que corresponde à antocianina encontrada na fração do hidrogel, onde C3R representa a cianidina-3-O-rutinosídeo.

O pico do cromatograma indica que a cianidina-3-O-rutinosídeo foi retida com um tempo de vinte e um minutos e meio, quantificada no hidrogel com teor de  $974,29 \pm 15,1 \mu\text{g/mL}$  (ou  $0,974 \text{ mg/100g}$ ). A quantificação foi realizada usando a curva de calibração do padrão, cuja equação de regressão é  $y = 411,33x$  com a curva analítica apresentando excelente coeficiente de correlação quadrada (expresso em  $R^2$ ), na faixa de concentração analisada: cianidina-3-rutinosídeo = 0,9981.

**Figura 23.** Cromatograma de CLAE de cianidina-3-O-rutinosídeo isolado.



Fonte: Dados da pesquisa 2020.

Na Tabela 4 são apresentados estudos com determinação do teor de antocianinas presentes na polpa do açaí, na qual diferenças na quantidade desses flavonoides foram encontrados em menor ou maior quantidade.

Na amostra de açaí estudada por Rufino et al. (2010) o conteúdo total de antocianina da polpa liofilizada ( $1,11 \text{ mg/100g}$  cianidina-3-rutinosídeo e cianidina-3-glicosídeo) foi maior do que o observado no presente trabalho. Da mesma forma, as amostras de açaí estudadas por Peixoto (2014) indicaram níveis de antocianinas totais entre  $71$  a  $99 \text{ mg/g}$  em matéria seca. Pacheco-Palencia et al. (2009) encontraram concentração médias de  $2,06 \text{ mg/100g}$  da cianidina-3-rutinosídeo como principal componente da antocianina nos frutos de *E. precatória*. Em análise por HPLC-UV/VIS, Peixoto et al. (2016) identificaram concentração média de  $3,83 \mu\text{g/ml}$  de cianidina-3-rutinosídeo seguido de cianidina-3-glicosídeo e peonidina-3-rutinosídeo. No entanto, os níveis das amostras de açaí estudadas por Kang (2012) variaram nas proporções médias de  $0,018 \text{ mg/g}$  a  $0,963 \text{ mg/g}$  em carotenoides para a polpa do açaí *E. precatória*.

**Tabela 4** - Teor de antocianinas encontrado por CLAE na polpa de açaí em diversos estudos.

Amostra	Teor de antocianinas	Referências
<i>Euterpe oleracea</i> Mart.	1,11 mg/100 g	Rufino et al. (2010)
<i>Euterpe oleracea</i> Mart.	71 a 99 mg/100 g	Peixoto (2014)
<i>Euterpe precatoria</i> Mart.	3,83 µg/ml	Peixoto et al. (2016)
<i>Euterpe precatoria</i> Mart.	2,06 mg/100 g	Pacheco-Palencia et al. (2009)
<i>Euterpe precatoria</i> Mart.	0,018 a 0,963 mg/100 g	Kang (2012)
<i>Euterpe oleracea</i> Mart.	0,57 mg/100g	Garzón et al. (2017)
<i>Euterpe oleracea</i> Mart.	0,06 a 19,24 mg/100 g	Earling et al. (2019)
<i>Euterpe precatoria</i> Mart.	0,98 a 336,70 mg/100 g	Lee (2019)
<i>Euterpe oleracea</i> Mart.		
<i>Euterpe edulis</i> Mart.		

O conteúdo monomérico total de antocianinas na polpa de açaí colombiano do estudo de Garzon et al. (2017) foi 0,57 mg/100g da cianidina-3-glicosídeo. Earling et al. (2019) encontraram nos suplementos dietéticos de açaí em cápsulas, valores entre 0,06 mg/g a 19,24 mg/g em cianidina-3-glucosídeo e cianidina-3-rutinosídeo.

Descobertas semelhantes foram relatadas no estudo de Lee (2019) onde as concentrações de antocianinas dos suplementos dietéticos e produtos alimentícios analisados variaram de 0,98 a 336,70 em mg/100 g ou 100 mL (média de 42,58) e 0,004 a 1,23 em porção (média de 0,75).

Pacheco-Palencia et al. (2009) relataram extensa degradação de antocianinas em suco de açaí (5% a 34% de perdas) após tratamentos térmicos. Isso indica que, para o nosso estudo, a atividade da água adicionada durante o procedimento, provavelmente exerceu influência sobre a degradação e perda de mais de 95% das antocianinas no hidrogel, ou ainda, pode estar relacionada com a degradação de compostos fitoquímicos na polpa que possuem elevada atividade antioxidante. Fatores extrínsecos dentre os quais destacamos o efeito do aumento da temperatura, a luz e o oxigênio, também podem ter contribuído para a degradação e perda destes pigmentos antociânicos nesta técnica. Mesmo assim, os resultados dos componentes antioxidante deste teste *in vitro*, tem potencial capacidade de inibir ou diminuir os processos de oxidação gerada pelos radicais livres no organismo.

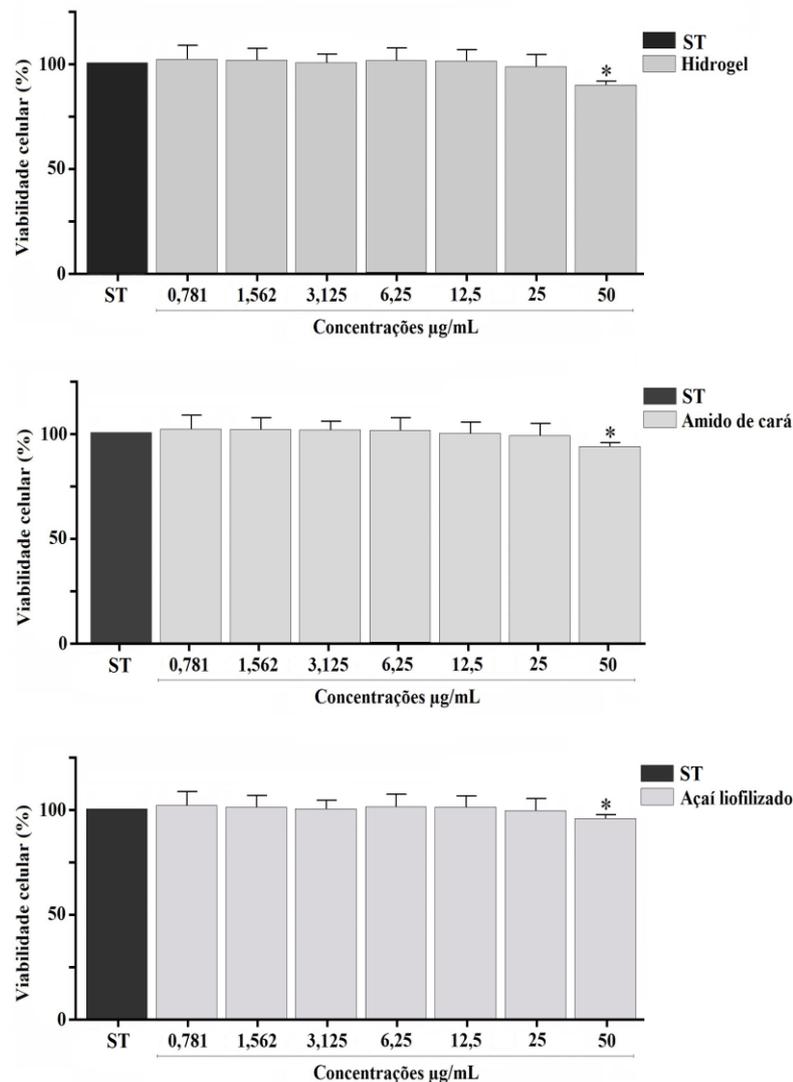
#### 4.9 Ensaio de viabilidade celular

A fim de investigar a citotoxicidade do amido de cará-roxo, açaí liofilizado e do hidrogel na linhagem de fibroblastos humanos MRC-5, as células foram plaqueadas na concentração de  $0,5 \times 10^4$  células/poço. A influência do amido de cará-roxo, açaí liofilizado e do hidrogel em várias concentrações em diferente toxicidade celular foram analisadas usando o ensaio Alamar Blue®.

A resazurina, conhecida comercialmente por Alamar Blue, é um teste de oxidação-redução utilizado para indicar crescimento ou viabilidade celular no monitoramento da proliferação celular em cultura. A forma oxidada do Alamar Blue é azul e não fluorescente, indicando célula não viável. Em células em proliferação, esse composto é reduzido a resofurina (composto de cor rosa e fluorescente) por flavinas ligadas a enzimas relacionadas com o transporte durante a atividade metabólica celular. Dessa forma, é possível avaliar a viabilidade celular na presença de compostos-teste, ou a citotoxicidade desses compostos, por um método rápido e sensível.

Conforme o tempo de incubação, observamos que o hidrogel de cará-roxo e açai, o amido de cará-roxo e o açai liofilizado não apresentaram efeito citotóxico em MRC-5 nas concentrações testadas (0,781 µg/mL e 50µg/mL) (Figura 24).

**Figura 24.** Ensaio de viabilidade celular *in vitro* não tratadas (ST) e tratadas com fibroblastos humanos (MRC-5) do Hidrogel, Amido de cará-roxo e Açai liofilizado em uma faixa de concentração de 0,78 - 50 µg / mL em DMEM por 72 h. Cada barra representa a média ± D.P. de determinações em triplicata de três experiências independentes. \* p < 0,05 quando comparado com o grupo não tratado por ANOVA one way seguido de teste Bonferroni.



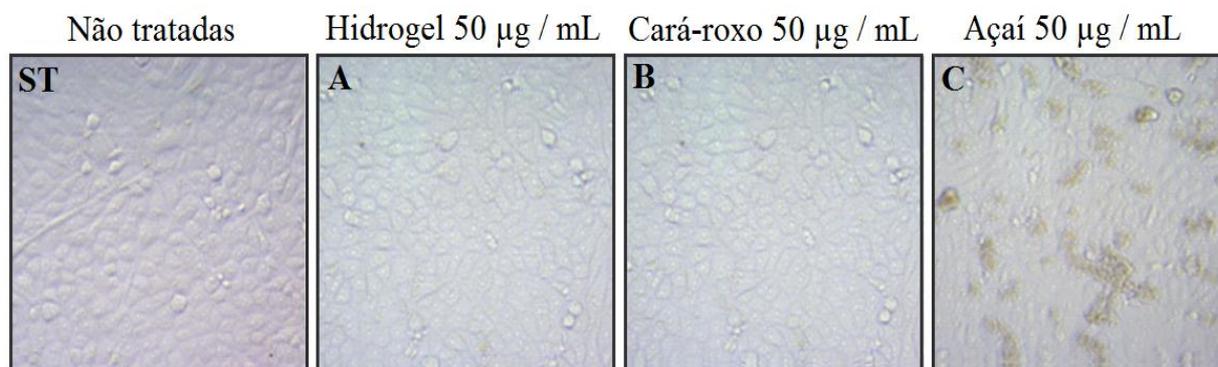
Fonte: Dados da pesquisa 2020.

Após o período crônico de 72 h de exposição das células MRC-5 ao hidrogel de cará-roxo e açaí ( $82,67 \pm 1,52\%$ ), amido de cará-roxo ( $94,90 \pm 1,15\%$ ) e o açaí liofilizado ( $95,97 \pm 0,58\%$ ) observou-se células viáveis a uma concentração de  $50 \mu\text{g/mL}$  com valores sempre maior que 50%. Abaixo desta concentração, o hidrogel de cará-roxo e açaí, o amido de cará-roxo e o açaí liofilizado a 25; 12,5; 6,25; 3,125; 1,562;  $0,781 \mu\text{g/mL}$  não mostraram nenhum dano, quando comparada com as células de controle negativo (não tratado).

Assim, foi possível observar mudanças discretas na morfologia celular de cerca de 4-17%, foram detectadas microscopicamente após 72 horas de incubação na concentração máxima de  $50 \mu\text{g} / \text{mL}$  e valor de  $\text{CI}_{50}$  durante a exposição ao hidrogel, amido de cará-roxo e açaí liofilizado quando comparada com as células controle (Figura 25 ST, A, B e C).

Por outro lado, abaixo desta concentração, as células foram 100% viáveis, assim como as células controle (não tratado), ou seja, não foi observada qualquer citotoxicidade conforme o tempo de exposição ao hidrogel de cará-roxo e açaí, amido de cará-roxo e o açaí liofilizado nas concentrações estabelecidas.

**Figura 25.** Fotografia representativa da morfologia do fibroblasto humano. As células MRC-5 foram incubadas com as concentrações de hidrogel (A), amido de cará-roxo (B) e açaí liofilizado (C) em meio DMEM durante 72 h. Alterações morfológicas foram observadas e comparadas com células não tratadas (ST). A cultura de células foi examinada e fotografada usando um microscópio invertido (40X).



Fonte: Dados da pesquisa 2020.

Neste sentido, importante ressaltar que alguns estudos já foram realizados em relação a citotoxicidade de extratos de açaí. Souza (2014) relata em seu experimento, que o extrato de resíduos do açaí reduziu a viabilidade das células da linhagem MRC-5 na concentração de  $100 \mu\text{g/mL}$ , mas esta concentração é considerada elevada para um ensaio celular de viabilidade devido a vários compostos antioxidantes, como flavonoides, que são assinalados como responsáveis pela citotoxicidade em células neoplásicas, por meio da oxidação da hemoglobina, formando metemoglobulina. Assim, é importante reforçar que, em concentração elevadas alguns extratos podem ser citotóxicos (KANG, 2012; PACHECO-PALENCIA et al., 2009).

Apesar do teste de viabilidade celular ter sido realizado com linhagem celular MRC-5 neste presente estudo, não houve toxicidade em concentrações consideradas altas. Cada resíduo

aqui utilizado, tem uma classe de fenólicos majoritário responsável pela maior parte do efeito antioxidante, o açaí e o cará-roxo têm como os seus majoritários: as antocianinas, os tocoferóis e o ácido ascórbico, respectivamente. Mas, eles não são responsáveis pela totalidade da atividade citotóxica. Esses resultados indicam que o uso dessa substância pode ser administrado com segurança em esportistas, no entanto, outros estudos com outras linhagens celulares, além de outros estudos *in vivo* precisam ser feitos para ter certeza da inocuidade das amostras.

## 5 CONCLUSÕES

A polpa liofilizada do açaí apresentou rendimento como esperado. O amido de cará-roxo resultante da extração aquosa também apresentou rendimento satisfatório, além de boa viscosidade para uso na área de alimentos, nos quais o objetivo é o poder espessante. O método iodo-colorimétrico desenvolveu uma coloração vermelho-violáceo sugerindo que o amido de *D. trifida* é ceroso. Os dados de DRX do amido de cará-roxo e do hidrogel apresentaram padrão de cristalinidade de DRX do tipo A. Além disso, os padrões de DRX do hidrogel foram semelhantes aos do amido de cará-roxo, indicando que a adição da polpa liofilizada do açaí não alterou sua estrutura cristalina.

O hidrogel 5ACR10AL foi a formulação mais promissora se comparada às outras, sendo a que apresentou o melhor perfil reológico e comportamento não-Newtoniano, pseudoplástico, modelado pela equação da Lei da Potência conforme as características morfológicas das amostras avaliadas. Além de necessitar menor energia para gelatinizar.

A técnica de CLAE-DAD permitiu a detecção e a confirmação da presença da antocianina, na fração do hidrogel de açaí e cará-roxo. Ainda, as condições da polpa do açaí e do amido de cará-roxo foram adequadas com relação às propriedades físico-químicas, pois ficou evidente que a fração amido de cará-roxo possui altas concentrações de hidratos de carbono, que consistem principalmente de amido resistente, a fração açaí liofilizado é fonte de proteínas, lipídeos e têm alto valor energético e poder antioxidante das antocianinas como a cianidina-3-O-rutinósideo, que justifica a utilização como matéria-prima para a produção do hidrogel.

Na avaliação da atividade antioxidante *in vitro*, a polpa de açaí de origem industrial e o hidrogel apresentaram maior capacidade antioxidante predominantemente contra o radical DPPH e o radical ABTS, o que pode indicar que esse método favorece a extração. Além disso, nas concentrações testadas, a fração do hidrogel, da polpa liofilizada do açaí e o amido de cará-roxo não apresentaram potencial de citotoxicidade em linhagem de células MRC-5. Estudos futuros ainda serão realizados para avaliar e elucidar outros aspectos e propriedades físicas do hidrogel.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AHN, Bumsoo et al. Mitochondrial oxidative stress impairs contractile function but paradoxically increases muscle mass via fibre branching. **Journal of Cachexia, Sarcopenia and Muscle**, [s. l.], v. 10, n. 2, p. 411–428, 2019.
- AKIMOTO, A. K. et al. Evaluation of gene polymorphisms in exercise-induced oxidative stress and damage. **Free radical research**, Brasília, v. 44, n. 3, p. 322-331, mar, 2010.
- ALBERTON C. et al. Thermal analysis, rheology, X-ray diffractometry and Atomic Force microscopy in the evaluation of binary mixtures of “starches hydrocolloids”. **J Microbiol Biotechnol Food Sci.**v.3, n. 4, p.305-309, 2014.
- ALVES, Vânia Maria. **Caracterização física, química, antinutricional e tecnológica de coprodutos de frutos da Amazônia Legal**. 2020. 181f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal do Tocantins, Palmas, 2020.
- AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. ANVISA. Resolução da Diretoria Colegiada nº 243, de 26 de julho de 2018. Dispõe sobre os requisitos sanitários dos uplementos alimentáres, 2018.
- AOAC. Association of official analytical chemists (United States of America). **Official Methods of 468 Analysis**, Washington, District of Columbia: USA, (18th ed.), 2016.
- AOKI, Marcelo Saldanha et al. 4-Carboidratos. In AOKI, Marcelo Saldanha; BACURAU Reury Frank Pereira. **Nutrição no Esporte**. Casa da Palavra, 2012. 160p. ISBN: 8577342050, 9788577342051, p.53-67.
- ARAGHINIKNAM, Mohsen et al. Antioxidant activity of dioscorea and dehydroepiandrosterone (DHEA) in older humans. **Life sciences**, v. 59, nº 11, p. PL147-PL157, 1996.
- ARAÚJO, O. R. P. **Análise de marcadores de estresse oxidativo em amostras biológicas de ratos wistar submetidos a diferentes modelos dietéticos indutores da doença do fígado gorduroso não alcoólica**. 2014. 85 f. Dissertação (Mestrado em Química e Biotecnologia) - Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2014.
- ASTURIZAGA AVILEZ, Yajaira. Evaluación de los rendimientos en el proceso de obtención de alcohol a partir de harina de ñame (Dioscória Bulbifera, Trífida) por vía enzimática. 2010.
- BARBOSA, K. B. F. et al. Oxidative stress; concept, implications and modulating factors. **Revista de nutrição**, v. 23, n. 4, p. 629-643, jul/ago. 2010.
- BARBOSA, P. O. et al. Açaí (Euterpe oleracea Mart.) pulp dietary intake improves cellular antioxidant enzymes and biomarkers of serum in healthy women. **Nutrition**, v. 32, n. 6, p. 674-680, Jun., 2016.
- BASIAK, E.; LENART, A.; DEBEAUFORT, F. Effect of starch type on the physico-chemical properties of edible films. **International Journal of Biological Macromolecules**, v.98, p. 348-356, 2017.
- BATTELLI, M. G. et al. Metabolic syndrome and cancer risk: The role of xanthine oxidoreductase. **Redox biology**, v. 21, n. 101070, p. 1-6, 2019.
- BAUR, Daniel A. et al. Carbohydrate hydrogel beverage provides no additional cycling performance benefit versus carbohydrate alone. **European journal of applied physiology**, v. 119, n. 11, p. 2599-2608, 2019.
- BELDA-GALBIS, Clara Miracle et al. Antimicrobial activity of açaí against *Listeria innocua*. **Food Control**, v. 53, p. 212-216, Jul., 2015.

- BELLO-PEREZ, Luis A. et al. Starch digestibility: Past, present, and future. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, 2018.
- BERGSTRÖM, Jonas; HULTMAN, Eric. Síntese de glicogênio muscular após o exercício: um fator de reforço localizado nas células musculares no homem. **Nature**, v. 210, n. 5033, pág. 309-310, 1966.
- BEYERLEIN, P.; PEREIRA, H. S. Morphological diversity and identification key for landraces of the Amerindian yam in central Amazon. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, [s. l.], v. 53, n. 4, p. 405–418, 2018.
- BIESKI, Isanete Geraldini Costa et al. Ethnobotanical study of medicinal plants by population of Valley of Juruena Region, Legal Amazon, Mato Grosso, Brazil. **Journal of Ethnopharmacology**, [s. l.], v. 173, p. 383–423, 2015.
- BHATTACHARYA, Susinjan. Reactive oxygen species and cellular defense system. In: **Free radicals in human health and disease**. Springer, New Delhi, oct, 2015. p. 17-29.
- BIESEK, Simone; ALVES, Letícia Azen; GUERRA, Isabela (Ed.). **Estratégias de nutrição e suplementação no esporte**. Editora Manole, 3ª Edição, 2015.
- BONOMO, F. L. et al. Açai (Euterpe oleracea Mart.) modulates oxidative stress resistance in *Caenorhabditis elegans* by direct and indirect mechanisms. **PloS one**, v. 9, n. 3, p. e89933-e89933, 2014.
- BOUSALEM, Mustapha, et al. Microsatellite segregation analysis and cytogenetic evidence for tetrasomic inheritance in the American yam *Dioscorea trifida* and a new basic chromosome number in the Dioscoreae. **Theoretical and Applied Genetics**, v.113, n.3, p. 439-451, 2006.
- BRASIL. **Resolução RE nº 12/78 da Comissão Nacional de Normas e Padrões para Alimentos**. DOU 24.07.78. Poder Executivo, Brasília, 1978.
- BRASIL. **Regulamento técnico para produtos de cereais, amidos, farinhas e farelos (Resolução RDC nº 263, de 22 de setembro de 2005)**. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, 2005.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução n.18, de 28 de abril de 2010**. Dispões sobre alimentos destinados a atletas. Brasília, 2010. Disponível em: <<http://portal.anvisa.gov.br/wps/wcm/connect/.../RDC+dos+Atletas+-+Dicol.pdf>>. Acesso em 22/02/2021.
- BRASIL. Ministério da Saúde. **Plano de ações estratégicas para o enfrentamento das doenças crônicas não transmissíveis (DCNT) no Brasil 2011-2022**. Brasília: Ministério da Saúde. 2011. Disponível em: <<http://portalms.saude.gov.br/boletins-epidemiologicos>>. Acesso em: 10 mai. 2020.
- BURKILL, I. H. (1960). The organography and the evolution of Dioscoreaceae, the family of the yams. **Journal of the Linnean Society**, 56, 319-412.
- CACCIAPUOTI, F. Oxidative stress as “mother” of many human diseases at strong clinical impact. **J Cardiovasc Med Cardiol**. v.3 (1): p.001-006, 2016.
- CARTONILHO, Miriam de Medeiros. **Utilização de polpa de açai ( Euterpe precatoria Mart.) para elaboração de Licor**. 2008. 98 f. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2008.
- CARVALHO, L. M. J. et al. Total phenolics and antioxidant activity of a functional gel based on açai (Euterpe oleracea Martius) pulp. **Journal of Advances in Agriculture**, v. 3, n. 3, p. 254-261, 2015.

CARVALHO-PEIXOTO, Jacqueline et al. Consumption of açai (*Euterpe oleracea* Mart.) functional beverage reduces muscle stress and improves effort tolerance in elite athletes: a randomized controlled intervention study. **Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism**, v. 40, n. 7, p. 725-733, Jul. 2015.

CASTRO, A.P. **Agrodiversidade a Cadeia Produtiva do Cará (*Dioscorea* Spp.) na Agricultura Familiar: Um Estudo Etnográfico no Município De Caapiranga-Am.** 2011. 220 f. Tese (Doutorado em Agronomia Tropical) Universidade Federal do Amazonas, Manaus. 2011.

CASTRO, A.P. et al. Etnobotânica das variedades locais do cará (*Dioscorea* spp.) cultivados em comunidades no município de Caapiranga, estado do Amazonas. **Acta Botanica Brasilica**, v. 26, n. 3, p. 658-667, Jul/Set., 2012.

CAÚPER, G. B. **Biodiversidade amazônica: flora Amazônica**, vol. 3. Centro Cultural dos Povos da Amazônia-CCPA, Manaus/AM. 2006. 113p.

CERETTA, Luciane B. et al. Increased oxidative stress and imbalance in antioxidant enzymes in the brains of alloxan-induced diabetic rats. **Experimental diabetes research**, v. 2012, 2012.

CHANDRA, A.; RANA, J.; LI, Y. Separation, identification, quantification, and method validation of anthocyanins in botanical supplement raw materials by HPLC and HPLC-MS. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 49, n. 8, p. 3515-3521, 2001.

COELHO, Diego Bonaldo, et al. Cadeia Global de Valor Açai. 33p. 2017.

CORTON, J. C.; PETERS, J. M.; KLAUNIG, J. E. The PPAR $\alpha$ -dependent rodent liver tumor response is not relevant to humans: addressing misconceptions. **Archives of toxicology**, v. 92, n. 1, p. 83-119, 2018.

COSTA, Henrique CB, et al. Study of rheological properties of açai berry pulp: an analysis of its time-dependent behavior and the effect of temperature. **Journal of Biological Physics**, v. 44, n.4, p.557-577, 2018.

COTINGUIBA, George Gomes et al. Método de avaliação da defesa antioxidante: uma revisão de literatura. **Journal of Health Sciences**, v. 15, n. 3, 2015.

DA SILVA, W. J. M.; FERRARI, C. K. B. Metabolismo mitocondrial, radicais livres e envelhecimento. **Revista Brasileira de Geriatria e Gerontologia**, v. 14, n. 3, p. 441-451, 2011.

DANTAS, Érica Mara. **Caracterização e avaliação das atividades antioxidante e antiproliferativa e do efeito citotóxico de bebidas funcionais liofilizadas compostas por frutas e hortaliças (green smoothies).** 2014. 204 f. Tese (Doutorado em Medicina), Universidade estadual de Campinas, Campinas. 2014.

DA COSTA, J. C. M. et al.. Development of biodegradable films based on purple yam starch/chitosan for food application. **Heliyon**, v. 6, n. 4, e03718. p. 1-10, (2020).

DAS ABHISHEK, et al. Phytochemical analysis, antioxidant and anticancer potential of leaf extracts from edible greater yam, *Dioscorea alata* L., from north-east India. **Int J Phytopharmacol**, v. 5, n.2, p. 109-119, 2014.

DE ARAÚJO, Michel Barbosa et al. Treinamento em diferentes intensidades e biomarcadores de estresse oxidativo e do metabolismo glicídico musculoesquelético de ratos. **Journal of Physical Education**, v. 21, n. 4, p. 695-707, 2010.

DE MELO NETO, Bianco Alves et al. Chemical composition and functional properties of starch extracted from the pejobaye fruit (*Bactris gaspaes* Kunt.). **Acta Scientiarum. Technology**, v. 37, n. 1, p. 105-110, 2015.

- DE OLIVEIRA PEDROSO, C. et al. Efeitos do estresse oxidativo e o uso de suplementação entre atletas. **Revista Brasileira de Nutrição Esportiva**, v. 9, n. 53, p. 480-490, 2015.
- DE SOUZA SILVA, Gabriela Muricy et al. Extraction and characterization of native starch obtained from the inhambu tuber. **Journal of Food Science and Technology**, p. 1-10, 2019.
- DEY, P.; RAY, S.; CHAUDHURI, T. K. Immunomodulatory activities and phytochemical characterisation of the methanolic extract of *Dioscorea alata* aerial tuber. **Journal of functional foods**, v. 23, p. 315-328, Fev. 2016.
- DIAS-SOUZA, Marcus Vinícius et al. Euterpe oleracea pulp extract: Chemical analyses, antibiofilm activity against *Staphylococcus aureus*, cytotoxicity and interference on the activity of antimicrobial drugs. **Microbial pathogenesis**, v. 114, p. 29-35, 2018.
- DILLARD, C. J. et al. Effects of exercise, vitamin E, and ozone on pulmonary function and lipid peroxidation. **Journal of Applied Physiology**, v. 45, n. 6, p. 927-932, 1978.
- EARLING, M.; BEADLE, T.; NIEMEYER, E. D. Açai Berry (*Euterpe oleracea*) dietary supplements: Variations in anthocyanin and flavonoid concentrations, phenolic contents, and antioxidant properties. **Plant Foods for Human Nutrition**, v. 74, n. 3, p. 421-429, 2019.
- EISMANN Priscila. **Nanoemulsões Contendo Diosgenina: Produção e Estudo de Estabilidade**. 2019. 59f. Universidade Franciscana de Santa Maria, RS.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Soluções tecnológicas e inovação. Anuário Brasileiro da Agricultura Familiar 2018/100**. Brasília, DF. 2018.
- EVANS, L.; OMAYE, S. Use of saliva biomarkers to monitor efficacy of vitamin C in exercise-induced oxidative stress. **Antioxidants**, v. 6, n. 1, p.1-21. 2017.
- FAOSTAT (Statistics Division of Food and Agriculture Organization of the United Nations). Disponível em <http://faostat3.fao.org/browse/Q/QC/E>. Acesso em maio de 2021.
- FEIJÓ, J. C. et al. Farinha de cará ("*Dioscorea trifida*" L.) sobre o desempenho, qualidade do ovo e bioquímica sérica de poedeiras comerciais leves. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 17, n. 3, 2016.
- FELZENSZWALB, I. et al. Toxicological evaluation of *Euterpe edulis*: a potential superfruit to be considered. **Food and Chemical Toxicology**. v.58, p.536-44, 2013.
- FERNANDES, E. T. M. B. Caracterização de polpas de açaí do acre e processamento de néctar misto parcialmente desengordurado. **Embrapa Rondônia-Tese/dissertação (ALICE)**, 2016.
- FERNANDES, Renan S. et al. Otimização da síntese de hidrogéis nanocompósitos intercalados para possível aplicação na área médica. **Química Nova**, v. 40, p. 60-67, 2017.
- FLORA DO BRASIL 2020. 2018. **Dioscoreaceae in Flora do Brasil 2020 under construction**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/reflora/floradobrasil/FB7372>>. Acesso em abril de 2020.
- FONTAN, Jeniffer dos Santos; AMADIO, Marselle Bevilacqua. O uso do carboidrato antes da atividade física como recurso ergogênico: revisão sistemática. **Revista Brasileira de Medicina do Esporte**, v. 21, n. 2, p. 153-157, 2015.
- FRANÇA, B. K. et al. Peroxidação lipídica e obesidade: Métodos para aferição do estresse oxidativo em obesos. **GE jornal português de gastroenterologia**, v. 20, n. 5, p. 199-206, 2013.
- FREITAS, F.P. **Investigação de Potenciais Biomarcadores Redox- Um enfoque em aldeídos e seus produtos**. 2014. 273f. Tese (Doutorado em Química). Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

FUSTER-MUÑOZ, Encarnación, et al. Effects of pomegranate juice in circulating parameters, cytokines, and oxidative stress markers in endurance-based athletes: A randomized controlled trial. **Nutrition**, v.32, n.5 p.539-545, 2016.

GARZÓN, G. Astrid et al. Polyphenolic composition and antioxidant activity of açai (*Euterpe oleracea* Mart.) from Colombia. **Food chemistry**, v. 217, p. 364-372, 2017.

GONG, Xue et al. Hypoglycemic effects of bioactive ingredients from medicine food homology and medicinal health food species used in China. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, [s. l.], v. 0, n. 0, p. 1–24, 2019.

GOURINENI, Vishnupriya et al. Glycemic index of slowly digestible carbohydrate alone and in powdered drink-mix. **Nutrients**, [s. l.], v. 11, n. 6, p. 1–9, 2019.

GRACE, Ng CF; JEYAKUMAR HENRY, Christiani. The physicochemical characterization of unconventional starches and flours used in Asia. **Foods**, v. 9, n. 2, p. 182, 2020.

GUTIÉRREZ, Tomy J. et al. Physicochemical and functional properties of native and modified by crosslinking, dark-cush-cush yam (*Dioscorea Trifida*) and cassava (*Manihot Esculenta*) starch. **Journal of Polymer and Biopolymer Physics Chemistry**, v. 2, n. 1, p. 1-5, 2014.

GUTIÉRREZ, Tomy J. et al. Physico-chemical properties of edible films derived from native and phosphated cush-cush yam and cassava starches. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 3, p. 1-8, 2015.

HABER, Fritz; WILLSTÄTTER, Richard. Unpaarigkeit und Radikalketten im Reaktionsmechanismus organischer und enzymatischer Vorgänge. *Berichte der deutschen chemischen Gesellschaft (A and B Series)*, v. 64, n. 11, p. 2844-2856, 1931.

HABER, Fritz; WEISS, Joseph. The catalytic decomposition of hydrogen peroxide by iron salts. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A-Mathematical and Physical Sciences*, v. 147, n. 861, p. 332-351, 1934.

HAN, Chuan-Hsiao et al. Effects of yam tuber protein, dioscorin, on attenuating oxidative status and learning dysfunction in D-galactose-induced BALB/c mice. **Food and chemical toxicology**, v. 65, p. 356-363, Mar., 2014.

HE, W.; WEI, C. Progress in C-type starches from different plant sources. **Food Hydrocolloids**, v. 73, p. 162-175, 2017.

HENDERSON, Andrew et al. **The palms of the Amazon**. Oxford University Press, 1995.

HENSLEY, K.; FLOYD, R. A. Reactive oxygen species and protein oxidation in aging: a look back, a look ahead. **Archives of Biochemistry and Biophysics**, v. 397, n. 2, p. 377-383, 2002.

HOCHU, I.; SANTONI, S.; BOUSALEM, M. Isolation, characterization and cross-species amplification of microsatellite DNA loci in the tropical American yam *Dioscorea trifida*. **Molecular Ecology Notes**, v.6, n.1, p.137-140, 2006.

HORNUNG, P. S. et al. Enhancement of the functional properties of Dioscoreaceas native starches: Mixture as a green modification process. **Thermochimica acta**, v. 649, p. 31-40, 2017.

HORNUNG, P. S. et al. Green development of biodegradable films based on native yam (*Dioscoreaceae*) starch mixtures. **Starch-Stärke**, v.70, n.5-6, p.1700234, p.1-12, Mai., 2018.

HOOVER, R.; VASANTHAN, T. Effect of heat-moisture treatment on the structure and physicochemical properties of cereal, legume, and tuber starches. **Carbohydrate Research**, v. 252, p. 33-53, 1994.

HOOVER, Ratnajothi. Composition, molecular structure, and physicochemical properties of tuber and root starches: a review. **Carbohydrate polymers**, v. 45, n. 3, p. 253-267, 2001.

HUANG, Rong et al. Recent progress in the research of yam mucilage polysaccharides: Isolation, structure and bioactivities. **International journal of biological macromolecules**, 2019.

IAL. Instituto Adolfo Lutz. **Normas Analíticas: Métodos físico-químicos para Análise de Alimentos**. 4ª edição digital, São Paulo, 2008.

IBGE-Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Produção Agrícola Municipal, 2019a. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/pam/2018/default.shtm>>. Acesso em novembro de 2020.

IBGE-Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Manacapuru, População estimada, 2019b. Disponível em <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/am/manacapuru/panorama>>. Acesso em novembro de 2020.

INBIOVERITAS PROJECT. **Euterpe edulis Martius**. Disponível em: <<http://www.inbioveritas.net/index.php?Auswahl=http://www.palmito-info.net>,>. Acesso em abril de 2020.

JENSEN, J. F.; KVIST, L. P.; CHRISTENSEN, S. B. An Antiplasmodial Lignan from Euterpe precatoria. **Journal of natural products**, v. 65, n. 12, p. 1915-1917, Oct., 2002.

JIANG, Qianqian et al. Physicochemical properties and in vitro digestion of starches from different Dioscorea plants. **Food Hydrocolloids**, v. 32, n. 2, p. 432-439, 2013.

JING, L. et al. Antioxidant potential, total phenolic and total flavonoid contents of Rhododendron anthopogonoides and its protective effect on 103 hypoxia-induced injury in PC12 cells. **BMC Complementary and Alternative Medicine**, v. 15, p. 287, 2015.

KANG, J. et al. Bioactivities of açai (Euterpe precatoria Mart.) fruit pulp, superior antioxidant and anti-inflammatory properties to Euterpe oleracea Mart. **Food Chemistry**, v. 133, n. 3, p. 671-677, 2012.

KAWAMURA, T.; MURAOKA, I. Exercise-induced oxidative stress and the effects of antioxidant intake from a physiological viewpoint. **Antioxidants**, v. 7, n. 9, p. 119, 2018.

KAYACAN, Yildirim et al. A new oxidative stress indicator: Effect of 5-hydroxytryptophan on thiol disulfide homeostasis in exercise. **Nutrition**, v.63-64, p.114-119, Jul/Aug. 2019.

KROGH, A.; LINDHARD, J. The relative value of fat and carbohydrate as sources of muscular energy: with appendices on the correlation between standard metabolism and the respiratory quotient during rest and work. **Biochemical Journal**, v. 14, n. 3-4, p. 290-363, 1920.

LEE, Jungmin. Anthocyanins of açai products in the United States. **NFS journal**, v. 14, p. 14-21, 2019.

LI, Qian et al. Hypoglycemic Effect of Chinese Yam (Dioscorea opposita rhizoma) Polysaccharide in Different Structure and Molecular Weight. **Journal of Food Science**, [s. l.], v. 82, n. 10, p. 2487-2494, 2017.

LICHTENBERG, D.; PINCHUK, I. Oxidative stress, the term and the concept. **Biochemical and biophysical research communications**, v. 461, n. 3, p. 441-444, Jun, 2015.

LIU, Yanqiong et al. Association between catalase gene polymorphisms and risk of chronic hepatitis B, hepatitis B virus-related liver cirrhosis and hepatocellular carcinoma in Guangxi population: a case-control study. **Medicine**, v. 94, n. 13, 2015.

LIU, Xiane et al. Effects of soluble dietary fiber on the crystallinity, pasting, rheological, and morphological properties of corn resistant starch. **LWT**, v. 111, p. 632-639, 2019.

LOBATO, A. C. N. **Desenvolvimento e caracterização de filmes biodegradáveis a partir da fécula do cará (Dioscorea trifida L. f.) em diferentes períodos de fermentação**. 2017. [s. l.],

2017.

LOBATO, A. C. N. et al. Development and characterization of biodegradable films from fermented yam (*Dioscorea trifida* L. f.). **African Journal of Food Science**, v. 13, n. 10, p. 235-247, 2019.

LORENZETI, Fábio Medici; JÚNIOR, Luiz Carlos Carnevali; ZANUTO, Ricardo. **Nutrição e suplementação esportiva: aspectos metabólicos, fitoterápicos e da nutrigenômica**. Phorte Editora LTDA, 2015.

LOVERA, M.; PÉREZ, E.; LAURENTIN, A. Digestibility of starches isolated from stem and root tubers of arracacha, cassava, cush-cush yam, potato and taro. **Carbohydrate polymers**, v. 176, p.50-55, 2017.

LUDWIG, David S. et al. Dietary carbohydrates: Role of quality and quantity in chronic disease. **Bmj**, v.361, p.k2340, 2018.

LUO, Jiao et al. Ageing, Age-related Diseases and Oxidative Stress: What to Do Next?. **Ageing research reviews**, v. 57, p. 1-15, jan. 2020.

LUSHCHAK, Volodymyr I. Free radicals, reactive oxygen species, oxidative stress and its classification. **Chemico-biological interactions**, v. 224, p. 164-175, 2014.

MACÊDO, I.Y.L. et al. Electroanalytical tools for antioxidant evaluation of red fruits dry extracts. **Food Chemistry** v.217, p. 326–331, 2017.

MAGALLANES-CRUZ, Perla A.; FLORES-SILVA, Pamela C.; BELLO-PEREZ, Luis A. Starch Structure Influences Its Digestibility: A Review. **Journal of Food Science**, [s. l.], v. 82, n. 9, p. 2016–2023, 2017.

MALI, S.; GROSSMANN, M. V. E.; YAMASHITA, F. Filmes de amido: produção, propriedades e potencial de utilização. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 31, n. 1, p. 137-156, 2010.

MARTELLI, F.; NUNES, F. M. F. Radicais livres: em busca do equilíbrio. **Ciência e Cultura**, v. 66, n. 3, p. 54-57, Set., 2014.

MARTIN, Franklin W. et al. Tropical yams and their potential. Part 5. *Dioscorea trifida*. **Tropical yams and their potential. Part 5. Dioscorea trifida**. 1978.

MARTINEZ, C.; CUEVAS, F. Evaluación de la calidad culinaria y molinera del arroz. Guia de estudo, **CIAT**, 1989.

MARTINOT, J. F.; PEREIRA, H. S.; SILVA, S. C. P. Coletar ou Cultivar: as escolhas dos produtores de açaí-da-mata (*Euterpe precatoria*) do Amazonas. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v.55, n.4, p.751-766, 2017.

MARTOS, G. et al. Egg White Ovalbumin Digestion Mimicking Physiological Conditions. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 58, n. 9, p. 5640-5648, 2010.

MASINA, N. et al. A review of the chemical modification techniques of starch. **Carbohydrate polymers**. v.157, p.1226-1236, 2017.

MATIGNON, Anne; TECANTE, Alberto. Starch retrogradation: From starch components to cereal products. **Food Hydrocolloids**, v. 68, p. 43-52, 2017.

McLEAY, Yanita et al. Dietary thiols in exercise: oxidative stress defence, exercise performance, and adaptation. **Journal of the international society of sports nutrition**, v. 14, n. 1, p. 12, Abr., 2017.

MEDEIROS, R. L.; PIMENTA, N. L.; KUWAHARA, N. Potencial inovador sustentável de uma pesquisa científica para obtenção da fécula do cará-roxo (*Dioscorea trifida* L. f.) aplicada na produção de alimentos. **Scientia Amazonia**, [s. l.], v. 7, n. 2, p. 37–44, 2018.

- MELO, R. D. et al. Digestibility of Diets Containing Cara Flour (*Dioscorea trifida* L.) For Laying Hens. **International Journal of Poultry Science**, v. 14, n. 3, p.156-160, 2015.
- MELO, R. D. et al. Viabilidade econômica da farinha de cará na alimentação de poedeiras comerciais leves. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 18, p. 221-230, 2017.
- MINAKAWA, A. F. K.; FARIA-TISCHER, P. C. S.; MALI, S. Simple ultrasound method to obtain starch micro- and nanoparticles from cassava, corn and yam starches. **Food Chemistry**, [s. l.], v. 283, n. October 2018, p. 11–18, 2019.
- MIYOSHI, Noriyuki et al. Chemoprevention of azoxymethane/dextran sodium sulfate–induced mouse colon carcinogenesis by Freeze-Dried Yam Sanyaku and its constituent diosgenin. **Cancer prevention research**, v. 4, n. 6, p. 924-934, Jun., 2011.
- MOLLICA, J. Q. et al. Atividade anti-inflamatória do inhame americano *Dioscorea trifida* Lf na alergia alimentar induzida pela ovalbumina em camundongos. **Journal of Functional Foods** , v. 5, n. 4, p. 1975-1984, 2013.
- MORELLI, L. L. L. et al. Avaliação de compostos fenólicos em geléia de uva produzida com a variedade IAC-138-22 (máximo). 2011.
- MOURA, E. M. **Alimentos funcionais como estratégia de inovação na indústria de alimentos processados: o caso da Nestlé**. 87f. Dissertação (Mestrado em Ciências Sociais) - Faculdade de Ciências e Letras, Universidade Estadual Paulista, São Paulo 2016.
- NASCIMENTO, W. F. et al. Spatially structured genetic diversity of the Amerindian yam (*Dioscorea trifida* L.) assessed by SSR and ISSR markers in Southern Brazil. **Genetic resources and crop evolution**, v. 60, n. 8, p. 2405-2420, 2013.
- NAKAYAMA, Grace R. et al. Assessment of the Alamar Blue assay for cellular growth and viability in vitro. **Journal of immunological methods**, v. 204, n. 2, p. 205-208, 1997.
- NASCIMENTO, W. F. et al. Distribution, management and diversity of the endangered Amerindian yam (*Dioscorea trifida* L.). **Brazilian Journal of Biology**, v. 75, n. 1, p. 104-113, 2015.
- NAZARE, R.F.R. Obtenção e aplicação de corantes naturais. In DE ARAÚJO, Vanessa Fernandes et al. **Plantas da Amazônia para produção Cosmética**. 2007.
- NOGUEIRA, O. L.; FIGUEIRÊDO, F. J. C.; MÜLLER, A. A. (2005). Açai. Belém: **Embrapa Amazônia Oriental**, 137p.
- OLIVEIRA, M. S. P. de; CARVALHO, J. E. U. de; NASCIMENTO, W. M. O. Açai (*Euterpe oleracea* Mart.). Jaboticabal: **Funep**, 2000. 52 p. (Série Frutas Nativas, 7).
- OLIVEIRA, P. V.; POLACOW, V. O. Carboidratos e exercício. In: LANCHETA JR., A. H.; CAMPOS-FERRAZ, P. L.; ROGERI, P. S. **Suplementação nutricional no esporte**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2014.
- OTEGBAYO, Bolanle; OGUNIYAN, Dotun; AKINWUMI, Olubunmi. Physicochemical and functional characterization of yam starch for potential industrial applications. **Starch-Stärke**, v. 66, n. 3-4, p. 235-250, 2014.
- PACHECO-PALENCIA, L. A.; DUNCAN, C. E.; TALCOTT, S. T. Phytochemical composition and thermal stability of two commercial açai species, *Euterpe oleracea* and *Euterpe precatoria*. **Food chemistry**, v. 115, n. 4, p. 1199-1205, 2009.
- PAIXÃO, Mirian Patrícia Castro Pereira. **Impacto da dieta dissociada no índice internacional de qualidade da dieta e nos biomarcadores de estresse oxidativo**. 2011. 118 f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de alimentos) - Faculdade de Ciência e Tecnologia de alimentos, Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 2011.

- PARENTE, V. M. et al. Projeto potencialidades regionais estudo de viabilidade econômica- açaí. Manaus/AM: **Superintendência da Zona Franca de Manaus (SUFRAMA) e Instituto Superior de Administração e Economia ISAE/Fundação Getúlio Vargas (FGV)**, v.1, 58p. 2003.
- PARK, Jong-Min et al. Anti-inflammatory and carbonic anhydrase restoring actions of yam powder (*Dioscorea spp*) contribute to the prevention of cysteamine-induced duodenal ulcer in a rat model. **Nutrition research**, v. 33, n. 8, p. 677-685, Ago., 2013.
- PAULA, R. C. M.; PAULA, H. C. B.; FEITOSA, J. P. A. **Polissacarídeos da biodiversidade brasileira**. 2018.
- PAYLING, L., et al. The effects of carbohydrate structure on the composition and functionality of the human gut microbiota. **Trends in Food Science & Technology**, v.97, p. 233-248. 2020.
- PEIXOTO, J. C. **Desenvolvimento de bebida funcional à base de açaí liofilizado para o controle do estresse muscular e oxidativo e atenuação de indicadores cardiorrespiratórios e de percepção de esforço em atletas**. 2014. 214f. Tese (Doutorado em Ciências Farmacêuticas), Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2014.
- PEIXOTO, H. et al. Anthocyanin-rich extract of Acai (*Euterpe precatoria* Mart.) mediates neuroprotective activities in *Caenorhabditis elegans*. **Journal of Functional Foods**, v.26: p.385-393, 2016.
- PELUSO, I. et al. Antioxidant, Anti-Inflammatory, and Microbial-Modulating Activities of Nutraceuticals and Functional Foods. **Oxidative medicine and cellular longevity**, v. 2018, p.1-2, 2018.
- PEREIRA, Carlos Victor Lamarão. **Extratos bioativos de frutos amazônicos por química verde: Extração Por Líquido Pressurizado (PLE) e Fluido Supercrítico (SFE)**. 2015. 95 f. Tese (Doutorado em Biotecnologia) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2015.
- PÉREZ, E. et al. Physicochemical, functional, and macromolecular properties of waxy yam starches discovered from “Mapuey”(Dioscorea trifida) genotypes in the Venezuelan Amazon. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 59, n. 1, p. 263-273, Dez., 2011.
- PÉREZ, E. et al. Native and cross-linked modified Dioscorea trifida (cush-cush yam) starches as bio-matrices for edible films. **Journal of Cellular Plastics**, v. 48, n. 6, p. 545-556, Nov., 2012.
- PINTO, F. R. **Análise produtiva de sistemas agroextrativistas de Açaí-da-mata (Euterpe precatoria Mart.) na Amazônia central**. 2018. 152 f. Tese (Doutorado em Agronomia Tropical) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2018.
- PIZZINO, G. et al. Oxidative stress: harms and benefits for human health. **Oxidative Medicine and Cellular Longevity**, v. 3, p.1-13, 2017.
- PODLOGAR, Tim; WALLIS, Gareth A. Impact of post-exercise fructose-maltodextrin ingestion on subsequent endurance performance. **Frontiers in Nutrition**, v. 7, n. 82, p. 1-9, 2020.
- POPRAC, P. et al. Targeting free radicals in oxidative stress-related human diseases. **Trends in pharmacological sciences**, v. 38, n. 7, p. 592-607, 2017.
- POWERS, Scott K.; RADAK, Zsolt; JI, Li Li. Exercise-induced oxidative stress: past, present and future. **The Journal of physiology**, v. 594, n. 18, p. 5081-5092, 2016.
- PRADA, Francisco JA et al. Condicionamento aeróbio e estresse oxidativo em ratos treinados por natação em intensidade equivalente ao limiar anaeróbio. **Revista Brasileira de Ciência e Movimento**, v. 12, n. 2, p. 29-34, 2004.

- RAMOS, A. S. et al. Avaliação da brotação para obtenção de mudas de diferentes partes do tubérculo de cará roxo (*Dioscorea trifida* Lf). **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 9, n. 1, p. 170-175, 2014.
- RAMOS-ESCUADERO, Fernando et al. HPLC-DAD-ESI/MS identification of anthocyanins in *Dioscorea trifida* L. yam tubers (purple sachapapa). **European Food Research and Technology**, v. 230, n. 5, p. 745-752, Jan., 2010.
- RAŠPER, V.; COURSEY, D. G. Properties of starches of some West African yams. **Journal of the Science of Food and Agriculture**. v.18, nº 6, p.240-244,1967.
- RUFINO, M. D. S. M. et al. Metodologia científica: determinação da atividade antioxidante total em frutas pela captura do radical livre DPPH. **Embrapa Agroindústria Tropical- Comunicado Técnico (INFOTECA-E)**, 2007.
- RUFINO, M.S.M., et al. Bioactive compounds and antioxidant capacities of 18 non-traditional tropical fruits from Brazil. **Food chemistry**, v. 121, n. 4, p. 996-1002, 2010.
- SADOWSKA-KREPA, E. et al. Effects of supplementation with acai (*Euterpe oleracea* Mart.) berry-based juice blend on the blood antioxidant defence capacity and lipid profile in junior hurdlers. A pilot study. **Biology of sport**, v. 32, n. 2, p. 161, 2015.
- SANTANA, M. F. S.; LIMA, A. K. V. O.; MOURÃO, Moises. Avaliação Prospectiva do Açaí: Análise através dos pedidos de patentes e referências bibliográficas. **Revista Geintec-Gestao Inovacao e Tecnologias**, v. 4, n. 1, p. 437-452, 2014.
- SANTOS, Quesia de Oliveira Deleón. Extração e propriedades físico-químicas de amido de frutos nativos da Região Amazônica. [s. l.], p. 48f., 2016.
- SANTOS, Samiria de Jesus Lopes. **Caracterização das Propriedades do Amido de Cará-Roxo (*Dioscorea Trifida*) Obtido por Diferentes Métodos de Extração**. 2016. Universidade Federal do Pará, Pará, [s. l.], 2016.
- SASAKI, H. et al. Effect of sucrose and caffeine ingestion on performance of prolonged strenuous running. **International journal of sports medicine**, v. 8, n. 04, p. 261-265, 1987.
- SAWKA, Michael N. et al. American College of Sports Medicine position stand. Exercise and fluid replacement. **Medicine and science in sports and exercise**, v. 39, n. 2, p. 377-390, 2007.
- SCHIRMANN, Gabriela da Silva et al. Composição em ácidos graxos do açaí (*Euterpe edulis*) de diversas regiões de Santa Catarina. 2012.
- SENTURK, Umit Kemal et al. Exercise-induced oxidative stress leads hemolysis in sedentary but not trained humans. **Journal of Applied Physiology**, v. 99, n. 4, p. 1434-1441, 2005.
- SIES, H. Hydroperoxides and thiol oxidants in the study of oxidative stress in intact cells and organs. *Oxidative stress*, p. 73-90, 1985.
- SIES, H.; JONES, D. *Oxidative stress*, 2nd ed. Amsterdam: **Elsevier**, 2007.
- SILVA, S. E. L.; SOUZA, A.; BERNI, R. F. O cultivo do açaizeiro. **Embrapa Amazônia Ocidental-Comunicado Técnico (INFOTECA-E)**, 2005.
- SILVA, Maira Oliveira. **Atividade antioxidante e composição de oligossacarídeos em subproduto obtido do processamento industrial da goiaba (*Psidium guajava*)**. 2015. 130f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Universidade estadual de Campinas, Campinas, 2015.
- SILVA, A. K. N. et al. Avaliação da composição nutricional e capacidade antioxidante de compostos bioativos da polpa de açaí. **Revista brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, v. 11, n. 1, p. 2205-2216, 2017.

SIQUEIRA, M.V.B.M. et al. Distribution, management and diversity of yam local varieties in Brazil: a study on *Dioscorea alata*L. **Brazilian Journal of Biology**, [s. l.], v. 74, n. 1, p. 52–61, 2014.

SIQUEIRA, J. A. S. **A cadeia de valor do açaí: uma estratégia sistêmica na conservação dos agroecossistemas amazônicos no município de Carauari-AM**. 2018. 251 f. Tese (Doutorado em Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2018.

SHITAN, Nobukazu. Secondary metabolites in plants: transport and self-tolerance mechanisms. **Bioscience, biotechnology, and biochemistry**, v. 80, n. 7, p. 1283-1293, Mar., 2016.

SOARES, J. P. et al. Effects of combined physical exercise training on DNA damage and repair capacity: role of oxidative stress changes. **Age**. v. 37, n. 3, p. 9799-4, 2015.

SOUZA, Maria Assunção da Costa et al. Açai juice (*Euterpe oleracea* Mart.): microbiological evaluation thermal treatment and shelf life. **Acta Amazonica**, v. 36, n. 4, p. 497-502, 2006.

SOUZA, R. O. S. **Potencial antioxidante extratos obtidos a partir de resíduos de frutos amazônicos**. 2014. 93 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Farmacêuticas) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2014.

STIES, Sabrina Weiss et al. Influence of exercise on oxidative stress in patients with heart failure. **Heart failure reviews**, v. 23, n. 2, p. 225-235, mar. 2018.

SUCUPIRA, Natália Rocha et al. Métodos para determinação da atividade antioxidante de frutos. **Journal of Health Sciences**, v. 14, n. 4, Mai. 2015.

SUTEHALL, Shaun et al. Sports drinks on the edge of a new era. **Current sports medicine reports**, v. 17, n. 4, p. 112-116, 2018.

TACO. Tabela Brasileira de Composição de Alimentos. **NEPA-UNICAMP**. Quarta Edição Revisada e Ampliada, Campinas, SP, 2011.

TANG, M. Q. et al. Solubility and emulsifying activity of yam soluble protein. **Journal of Food Science and Technology**, p.1-9, 2019.

TAVARES, Wallace Lopes da Silva. **Farinha de Cará-roxo (*Dioscorea trifida*, L.) na alimentação de suínos na fase de terminação**. 2019. 61 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus (AM), 2019.

TAVARES, Felipe Fernando da Costa et al. Thermal treatment of açaí (*Euterpe oleracea*) fiber for composite reinforcement. **Polímeros**, v. 30, 2020.

TEIXEIRA, Antonia Paiva. **O cará-roxo (*dioscorea trifida*) como ingrediente funcional na indústria de panificação**. 2011. 25 f. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2011.

TEIXEIRA, B. S.; MASTRO, N. L. D. **Características de amidos processados pela radiação ionizante**. 2016. 107f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Nuclear-Aplicações) - Universidade de São Paulo (SP), 2016.

TURKCU, Ummuhani Ozel, et al. The association of FOXO3A gene polymorphisms with serum FOXO3A levels and oxidative stress markers in vitiligo patients. **Gene**, 2013.

UCHÔA, José Evilazio. **Biotransformações empregando *Dioscorea Trifida* L.(Inhambu) e *Opuntia ficus-indica* L. (Palma) em reduções enantiosseletivas de  $\beta$ -cetoésteres**. 2016. 128 f. Dissertação (Mestrado em Química). Universidade Federal da Bahia, Bahia, 2016.

URDAMPILLETA, Aritz et al. Effects of 120 vs. 60 and 90 g/h Carbohydrate Intake during a Trail Marathon on Neuromuscular Function and High Intensity Run Capacity Recovery. **Nutrients**, v. 12, n. 7, p. 2094, 2020.

VASCONCELOS, Sandra Mary Lima et al. Espécies reativas de oxigênio e de nitrogênio, antioxidantes e marcadores de dano oxidativo em sangue humano: principais métodos analíticos para sua determinação. **Química nova**, v. 30, n. 5, p. 1323-1338, 2007.

VAZQUEZ, C. et al. The metabolically unhealthy obese phenotype is mainly associated with hypoadiponectinemia, hyperuricemia and high OPG/RANKL ratio. **e-SPEN Journal**, v. 9, n. 5, p. e167-e172, 2014.

VIANA, Daniela Soares et al. Biochemical assessment of oxidative stress by the use of açai (*Euterpe oleracea* Martius) gel in physically active individuals. **Food Science and Technology**, v. 37, n. 1, p. 90-96, 2017.

VICTOR, M. M.; UCHÔA, J. E.; RIATTO, V. B. First use of cactus and cushcush as biocatalysts in the enantioselective reduction of  $\beta$ -keto esters. **Industrial crops and products**, v.96, p.126-131, 2017.

WORLD HEALTH ORGANIZATION 2015 Report. Disponível em:<[http://www.who.int/gho/publications/world\\_health\\_statistics/2015/en/](http://www.who.int/gho/publications/world_health_statistics/2015/en/)>. Acesso em: 25 abr. 2019.

WORLD HEALTH ORGANIZATION 2018 Report. Disponível em:<[http://www.who.int/gho/publications/world\\_health\\_statistics/2018/en/](http://www.who.int/gho/publications/world_health_statistics/2018/en/)>. Acesso em: 25 abr. 2019.

YAMAGUCHI, K. K. L. et al. Amazon acai: chemistry and biological activities: a review. **Food chemistry**, v. 179, p. 137-151, 2015.

YAMAGUCHI, K. K. L.; DE OLIVEIRA SOUZA, A. Antioxidant, Hypoglycemic and Neuroprotective Activities of Extracts from Fruits Native to the Amazon Region: A Review. **Biotechnology Journal International**, p. 9-31, 2020.

YAVARI, Abbas et al. Exercise-induced oxidative stress and dietary antioxidants. **Asian journal of sports medicine**, v. 6, n. 1, mar, 2015.

ZIECH, Dominique et al. The role of reactive oxygen species and oxidative stress in environmental carcinogenesis and biomarker development. **Chemico-biological interactions**, v. 188, n. 2, p. 334-339, Jun. 2010.

ZOCCHI, D. M. et al. **A arca do gosto** - Brasil - alimentos, conhecimentos e histórias do patrimônio gastronômico, capítulo 3, [e book] / São Paulo, SP: Slow Food Editore srl, 439p, 2017

## 7 CAPÍTULO II

### **CARA BIOPRODUCTS (*Dioscorea spp*): a review study on the composition and applications<sup>1</sup>**

---

<sup>1</sup>Este capítulo está formatado na forma de artigo e foi submetido para publicação na revista “European Academic Research” (ISSN 2286-4822).

## CARA BIOPRODUCTS (*Dioscorea* spp): a review study on the composition and applications

DAURIMAR PINHEIRO LEÃO <sup>1</sup> 

IVAN DE JESUS FERREIRA <sup>2</sup> 

VINICIUS CAVALCANTI <sup>3</sup> 

CÍNTIA MARA COSTA DE OLIVEIRA <sup>4</sup> 

PEDRO HENRIQUE CAMPELO <sup>5</sup> 

Submetido 21/07/2020 – Aceito 14/08/2020 – Publicado on-line 24/08/2020

### Abstract

*There are many articles discussing the properties, structures, modifications and applications of the starches from species of *Dioscorea* spp., due to the wide approach as a natural excipient, not just as innovation product in food and non-food industry, but also in laboratory. In this review, we found that several methods for isolation and modification of the *Dioscorea* spp. starches were and are in development by using modern implements. However, each technique has its own deficiency, and just a few have a substantial perform without modify starch at molecular level. The structure-application relationships of *Dioscorea* spp. starch have been better comprehended in the studies within pharmaceutical area as adjuvant agents for formulating pills and capsules. It's worth noting that, although has been a great advance on knowledge, functionality and utilization of *Dioscorea* spp. starch in industries, new approaches and innovations on how to apply its structural components will continue to emerge, based on recent techniques from primary research and experiments in animals or humans. From this perspective, sophisticated scientific inputs still need to be designed.*

**Keywords:** Dioscorea; Yam; Composition; Application; Products

<sup>1</sup>Professor da Universidade Federal do Amazonas e doutorando na Rede de Biodiversidade e Biotecnologia da Amazônia Legal. É especialista em ensino de Educação Física à distância, Treinamento físico e aptidão física, Atletismo escolar, avaliação física. Pesquisador em crescimento humano e estágio curricular. E-mail: daurimar@bol.com.br

<sup>2</sup> Professor da Universidade Federal do Amazonas e doutorando na Rede de Biodiversidade e Biotecnologia da Amazônia Legal. É especialista em ensino de Educação Física à distância, com ênfase em Treinamento físico, Atletismo, Avaliação Física. Ele é pesquisador nas áreas de treinamento esportivo, aptidão física e avaliação escolar. E-mail: ijf@usp.br

<sup>3</sup>Professor da Universidade Federal do Amazonas e doutorando na Rede de Biodiversidade e Biotecnologia da Amazônia Legal. Ele trabalha como pesquisador na área de Performance Humana de corredores e ciclistas, ele também tem uma vasta experiência no ensino e prática de natação e nos aspectos nutricionais dos atletas. Suas principais publicações envolvem avaliação por ciclistas e triatletas. E-mail: viniciuscavalcanti@ufam.edu.br

<sup>4</sup>Doutora em Biotecnologia e Professora do Programa de Pós-Graduação em Rede de Biodiversidade e Biotecnologia da Amazônia Legal e do Programa Multidisciplinar em Biotecnologia. Pesquisa e publica na área de desenvolvimento de métodos para detecção molecular e filogenia de vírus humanos e na área de desenvolvimento de produtos naturais da Biodiversidade Amazônica com potencial energético. E-mail: cmaraoliveira.cmc@gmail.com

<sup>5</sup>Doutor em Engenharia de Alimentos e trabalha como professor na Universidade Federal do Amazonas. Ele tem várias publicações em Ciência e Engenharia de Alimentos e Materiais. Ele é um pesquisador na área de emulsões, microencapsulação de compostos bioativos e novos biopolímeros extraídos de vegetais da Amazônia. E-mail: pedrocampelo@ufam.edu.br.

Daurimar Pinheiro Leão, Ivan de Jesus Ferreira, Vinicius Cavalcanti, Cíntia Mara Costa de Oliveira, Pedro Henrique Campelo- **CARA BIOPRODUCTS (*Dioscorea* spp): a review study on the composition and applications**

---

## 1. INTRODUCTION

Yam or Cará, as it's called in Amazonia, are generic names for a vast number of monocotyledon climbing plants species of the genus *Dioscorea*, considered the largest, most distributed and important pantropical family Dioscoreaceae in the order Dioscoreales, richly distributed in countries of South America, Africa, Asia, Caribbean islands and South Pacific (Mehrotra & Shukla, 2019).

The edible yam (*Dioscorea* spp.) cultivation, known as “li” or “yam”, called “yampi” in Jamaica, “aja” in Cuba, “mapuey” in Puerto Rico, “cushcush” in western India, “ñames” or “igname”, apparently owes its names to African origins (Mehrotra; Shukla, 2019). The word yam was designated in Tupi as “ká rá” by the South American Indians, from where the term “Cará” comes from (Siqueira et al., 2011). Although the many popular names have variations from one location to another, the starchy tubers are traditionally called “yam” (Romero-Hernández et al., 2019).

The species of *Dioscorea* genus had a wide spread throughout the world at the end of the Cretaceous period, after an evolution with different courses from the past to the present, giving rise to distinct species distributed into several sections (Ferreira et al., 2009). Due to the similarity between the species, the scientific knowledge about those that coexisting on Earth is still very incipient in terms of its diversification and evolutionary process, as there are different views and theories. Given this scenario and, based on combined phylogenetic analyzes of morphological, molecular and sequence data, Mehrotra & Shukla (2019) estimate that *Dioscorea* consist in nearly 600 species around the world as the closest to reality (Dutta, 2015; Romero-Hernández et al., 2019).

Few species of yam generate edible tubers, which compose sources of cultural, economic and food security importance, as a primary diet for millions of people in the countries of South America, Africa, Asia and the Pacific. By the year 2018, world production of yams reached 72,580,851.00 tons in an area of 8,690,716.00 hectares (FAOSTAT, 2020).

Daurimar Pinheiro Leão, Ivan de Jesus Ferreira, Vinicius Cavalcanti, Cíntia Mara Costa de Oliveira, Pedro Henrique Campelo- **CARA BIOPRODUCTS (*Dioscorea spp*): a review study on the composition and applications**

---

Yam is currently one of the most important tuber crops in the world, preceded by potatoes (*Solanum tuberosum* L.) with 368,168,914.00 tons and cassava (*Manihot esculenta* C.) with 277,808,759.00 tons. The biggest yam producers are African tropical countries, especially the West Africa, also known as "yam zone", comprising Ivory Coast, Sierra Leone, Ghana, Benin, Nigeria and Ethiopia. According to FAOSTAT (2020), this area holds more than 96.4% of the yam world production, being Nigeria the largest producer with 33,025,893.20 tons. The South America, with 1,262,241.44 tons, is responsible 2.5% of the world production. Haiti, Brazil and Colombia are the main producers. In 2018 alone, Brazil produced 238,783.04 tonnes of yam.

In Africa (Tortoe et al., 2019), Asia (Andres et al., 2017), India (Ikiriza et al., 2019) and America (Da Costa et al., 2020) many studies have been conducted concerning starches of *Dioscorea spp.* functional potential, not just in the food industry, but also in film and drug productions.

The purpose of this study is to present a condition appraisal of the science in several species of yams (*Dioscorea spp.*), mainly the functional potential that were identified in their granules. The focus is provide a wide-ranging and up-to-date view on the investigations progress, as well as subsequent research challenges on the different applications of *Dioscorea* starch, based on information documented in the literature.

## **2. METHODOLOGY**

Several research digital platforms, such as Google Scholar, popular global digital databases, including Science Direct, Springer, PubMed, Web of science, Scielo and Scopus were instruments in the search for relevant data. "Starch and dioscorea and applications" were chosen as the keywords to obtain relevant informations. After careful screening, data related to the current topic were extracted from 98 articles published from 1894 to 2020. The keywords for obtaining the information were also collected from published articles, master's and doctoral theses.

### **3. BOTANICAL PROFILE OF YAM (*Dioscorea spp.*)**

The *Dioscorea* yams are identified as vegetables, allogamies and interlaced climbers (Beyerlein & Pereira, 2018), almost all herbaceous or shrubby. They belong to the Dioscoreales under the division Magnoliophyta (Kumar, 2017), semi-perennial or perennial whose life cycle varies between different cultivars, with a growth time of 8 to 36 months (Zhu, 2015), but ripen between 7 to 9 months after planting (Andres et al., 2017).

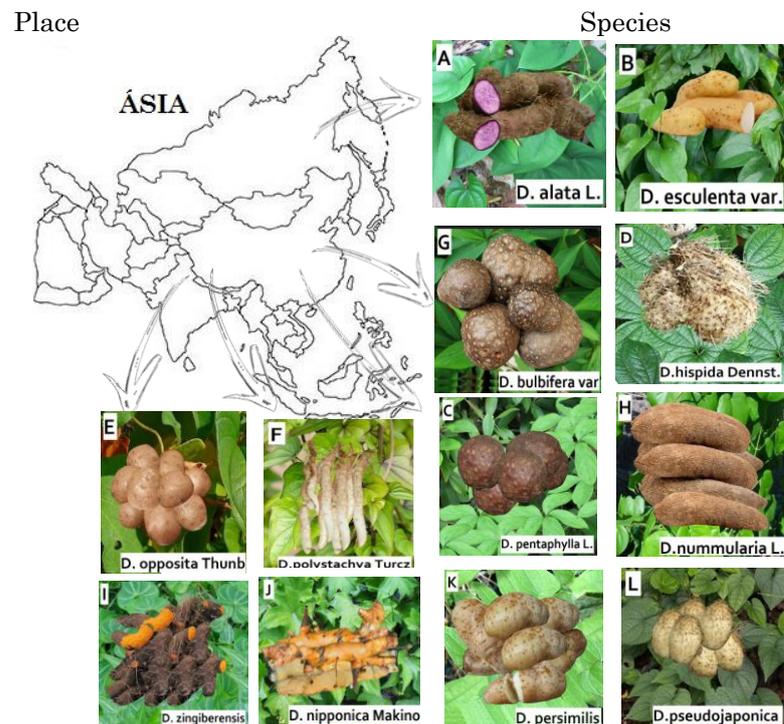
The species produce rhizomes or underground tubercles, but some species produce aerial tubers (Moorthy et al., 2018). The propagation occurs vegetatively using healthy tubers, or by seeds, as the plants are dioecious (Beyerlein, 2017; Castro et al., 2012), although there are fewer female plants than male plants, born separately or in separate plants. The tubers length can vary, as well as differ in shapes and colors of marrow (edible part) from white, yellow, dark brown, light purple, dark purple and mixed.

They are sorted into: a) white yam (*D. rotundata* and *D. cayenensis*); b) water yam (*D. alata*); c) aerial potato (*D. bulbifera*) and d) bitter yam (*D. dumetorum*) (Andres et al., 2017). Usually the aerial stems are slender, cylindrical, glabrous and prickly. Some species has bulbils in the axillary buds adapted for vegetative propagation (Coursey, 1967).

The leaves are green and simple, alternating ovate, corded or acuminate, some are lobed or webbed. The yams grow mostly in humid regions of warm tropical and subtropical forests, with few species in temperate areas around the world (Mehrotra & Shukla, 2019).

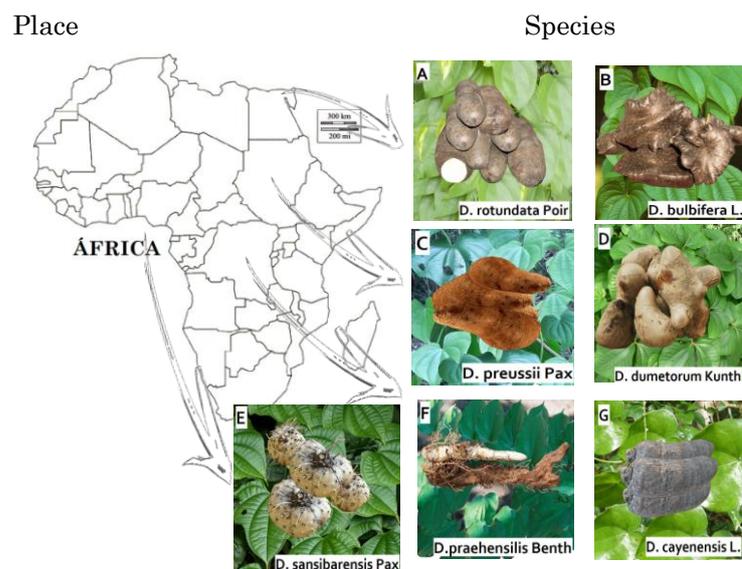
It has been suggested that yam is a primary crop grown in more than 50 countries, for example, the morphological differences between the varieties of species "A", "B", "C", "D", "F", "G", "H" visible in figure 1 are from the Asian continent and are distributed in the Americas, India and Africa. The species "E", "I", "J", "K", "L" are native and cultivated in the northeast, north, east and central regions of China (Zhu, 2015).

Daurimar Pinheiro Leão, Ivan de Jesus Ferreira, Vinicius Cavalcanti, Cíntia Mara Costa de Oliveira, Pedro Henrique Campelo- **CARA BIOPRODUCTS (Dioscorea spp): a review study on the composition and applications**



**Figure 1.** Photos of different *Dioscorea* plants distributed in Asia. source: Daurimar Pinheiro Leão; Asia Map: <https://www.pinterest.ph/pin/789537378398804280/>

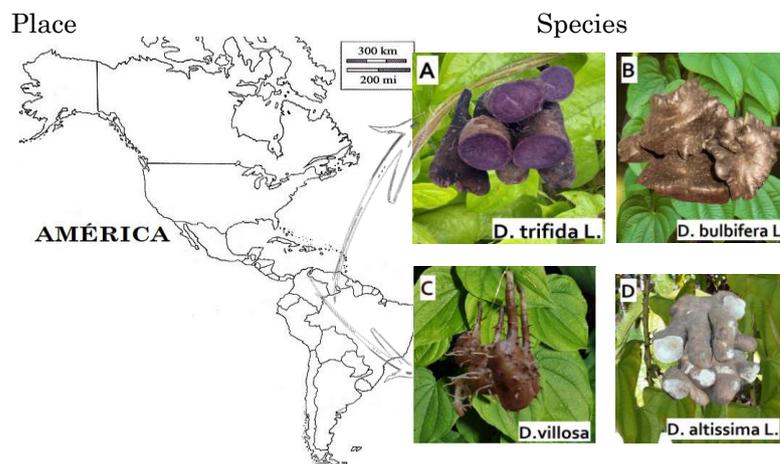
The species "A", "B", "C", "F", "G" visible in figure 2, are cultivated and of West African origin (Ayensu & Coursey, 1972). The "D" and "E" species are grown in China (Zhu, 2015).



**Figure 2.** Photos of different *Dioscorea* plants distributed in Africa. source: Daurimar Pinheiro Leão; Africa Map: <https://www.google.com/search?q=mapa+da+Africa>

Daurimar Pinheiro Leão, Ivan de Jesus Ferreira, Vinicius Cavalcanti, Cíntia Mara Costa de Oliveira, Pedro Henrique Campelo- **CARA BIOPRODUCTS (*Dioscorea* spp): a review study on the composition and applications**

The species "B", "C" and "D" visible in figure 3, are described as original from the Americas. However, Caúper et al. (2006) argue that the origin and geographical distribution of "A" is the Amazon.



**Figure 3.** Photos of different *Dioscorea* plants distributed in America. source: Daurimar Pinheiro America Map: <https://www.google.com/search?q=mapa+da+America>

In Brazil, 140 species are accepted (Flora do Brasil 2020, 2020), linked to several regional names such as “cará” and “yam”, among others (Victor et al., 2017). The species *D. trifida*, *D. alata*, *D. cayenensis*, *D. rotundata*, *D. esculenta* and *D. bulbifera* are distributed in the North, Northeast, Midwest, South and Southeast (Nascimento et al., 2013).

### 3.1. Composition of yam starch (*Dioscorea* spp.)

In Brazilian legislation, starch and farina are synonymous. Starch is denominated the fraction or starch product extracted from the edible aerial parts of vegetables. Farina is, therefore, the starch product extracted from the edible underground parts of vegetables. Starch and/or farina is an important vegetable structural homopolysaccharide, constitutes by repeated units of D-glucopyranosyl with general formula is  $(C_6H_{10}O_5)_n$ . It is a photosynthetic product of the cellular activity on plant green organs, including cereals, tubers, roots, fruits and seeds. It serves as a temporary food reserve of carbohydrates, providing them with energy for germination and photosynthesis in times of dormancy (Hornung et al., 2018; Shitan, 2016). Starch is the predominant fraction in *Dioscorea* tubers, but there are also useful bioactive compounds or secondary metabolites, which are categorized into alkaloids (Kanu et al., 2018).

Daurimar Pinheiro Leão, Ivan de Jesus Ferreira, Vinicius Cavalcanti, Cíntia Mara Costa de Oliveira, Pedro Henrique Campelo- **CARA BIOPRODUCTS (*Dioscorea spp*): a review study on the composition and applications**

---

Structurally, the starches polysaccharides of the *Dioscorea* species are polymorphs, presented in granules with a crystallinity of nearly 45- 50%, classified as standard type A, B or C, maintained in different proportions of amylose and amylopectin ( Zhu, 2015). Amylose is an important linear chain component of starch, formed by glucose units joined by glycosidic bonds. Amylopectin is a branched structure, formed by glucose units joined in  $\alpha(1 \rightarrow 4)$  and  $\alpha(1 \rightarrow 6)$ . According to Hornung et al. (2017), the starch nature and function are influenced by the amylose/amylopectin ratio. However, Magallanes-Cruz et al. (2017), Moorthy et al. (2018) claim that the shape of yam starch granules (regular, triangular, round, ellipsoid, ovoid), the average size of the granules diameters between 13 to 18  $\mu\text{m}$  and the components arrangement in the amorphous and crystalline regions, also influence (González Vega, 2012). For this aspect, they are named “normal” starches, starches composed of 10 to 30% amylose and 70 to 90% amylopectin.

Therefore, in order to know the biochemical constituents of *Dioscorea* tropical tubers, several studies have been reported to focus on the levels of amylose in starch from different species of yam that, in general, presented an average value of 23.65% (González Vega, 2012), with high tendency to expansion, crystallinity, gelatinization parameters, bonding behavior (Hornung et al., 2017). In all those studies, smaller components such as proteins, lipids and ash were also found, with considerable discrepancies between the different reports.

In the literature, other biochemical constituents of the *Dioscorea* roots and the nutritional values potential began with the bioactive compounds tracking such as steroidal sapogenins, followed by qualitative tests on the genus species, to identify the alkaloids. In 1894, Boorsma first isolated the alkaline toxin dioscorin ( $\text{C}_{13}\text{H}_{19}\text{O}_2\text{N}$ ) from the species *D. hirsuta*. Although some chemical constituents of *Dioscorea* yam have already been elucidated, it was Schutte (1897) who finally obtained the alkaloid dioscorin crystalline form. However, based on studies in degradation experiments, Gorter (1911) suggested that the alkaloid belonged to the tropane group. For Henry (1924), the alkaloid dioscorin identified in the species *D. hirsuta* and *D. hispida* showed high toxicity and a behavior similar to picrotoxin ( $\text{C}_{30}\text{H}_{34}\text{O}_{13}$ ).

Daurimar Pinheiro Leão, Ivan de Jesus Ferreira, Vinicius Cavalcanti, Cíntia Mara Costa de Oliveira, Pedro Henrique Campelo- **CARA BIOPRODUCTS (*Dioscorea spp*): a review study on the composition and applications**

---

It is important to emphasize that many yam species, rich in bioactive compounds, have greater prominence for terpenoids which are formed by several units of monosaccharides (Eismann, 2019). In addition to biological activities, these properties function mainly as defense substances protecting them against microorganisms and fungi.

Due the great attempt to identify the *Dioscorea* chemical constituents, Coursey & Aidoo (1966) affirmed the presence of ascorbic acid in the chemical composition on the *Dioscorea spp.* species. However, it was the Ketiku and Oyenuga (1970) approaches that determined the total components of sugar, starch, amylose and amylopectin in the species *D. rotundata*.

In the *Dioscorea* roots, the main bioactive compounds are steroidal saponins. The above-ground part of the plant contains compounds based on phenanthrene, phenols and organic acids, coumarins, flavonoids, glycosides and polyols. In research by Harvey and Boulter (1983), the authors for the first time isolated *D. rotundata* dioscorin, with a molecular weight of about 31 kDa, responsible for 85% of the soluble proteins total content by alkaline tuber plugs. This discovery set a precedent for the adhesion of 31 kDa, as a monomeric molecular weight reference for the purified dioscorins of yam different species. In a later study, Kouassi et al. (1984) identified the glucose, fructose and sucrose rate in the *D. rotundata* and *D. alata* species and found the presence of maltose and hexose in the *D. esculenta* species.

Nowadays, several researches are conducted on the functional properties and the molecular structure of commercial starches obtained from seeds, tubers and roots, due to their ready availability. Although potatoes, wheat, cassava, rice and sorghum are starches sources, these are obtained from corn in national and international markets. This is because, generally, cereal grains contain from 40% to 90% of starch based on dry weight, immature fruits from 40% to 80% of dry weight, legumes from 30% to 50% and tubers, containing 65% to 85% (Santos Quesia, 2016). In yam tubers, as in other roots, the starch yield (on a dry basis) can vary, but in general, they are considerably higher than cassava and corn (Ramos et al., 2014). Guided by this approach, Akinoso & Abiodun (2013) detected a variation of 40.7% to 63.3% in the content of starch in the flour of *D. dumetorum*. Santos Samiria (2016) elucidated 75.6 to 84.3% of starch, mucilage and sugars as the main components of the *D. trifida* "cará" tuber.

Daurimar Pinheiro Leão, Ivan de Jesus Ferreira, Vinicius Cavalcanti, Cíntia Mara Costa de Oliveira, Pedro Henrique Campelo- **CARA BIOPRODUCTS (*Dioscorea* spp): a review study on the composition and applications**

---

The study by De Souza Silva (2020) with *D. trifida*, revealed 84.56% in the starch levels and 36.82% of amylose. Similarly, Silva et al. (2019) extracted and characterized the *D. altissima* and *D. alata* starch grown in Amazon. Were identified 84.63% of *D. alata* starch and 80.02% of *D. altissima*. The values ratify the important physical-chemical, technological, functional, morphological and thermal properties of yam starch in various industrial processes (Lovera et al., 2017). In the native starch granule, the amylose molecule can be complexed with lipids and influence the rheological properties of starch as greater tendency to retrograde and produce hard gels and strong films (Teixeira, 2016).

### **3.2. Chemical aspects of yam (*Dioscorea* spp.)**

In the *Dioscorea* spp. tubers (on a dry basis), starch represents about 75 to 84%, 6 to 8% crude protein (dioscorin) and 1.2 to 1.8% crude fiber (Tang et al., 2019). In addition, most *Dioscorea* tubers are composed of several mineral phytochemicals such as magnesium, calcium, potassium, phosphorus, aluminum, copper, zinc, selenium, silicon, sodium, thiamine, tin, manganese, niacin, potassium, iron, cobalt, chromium, carbohydrates and soluble fibers (Pérez et al., 2012), B vitamins (thiamine, riboflavin, niacin, admin), provitamins A and D, vitamins C that can vary from 13.0 to 24.7 mg / 100 g (Ramos-Escudero et al., 2010), essential amino acids and fat levels (Feijó et al., 2016).

Several authors, (Jahan et al., 2019; Xue et al., 2019) have identified in *Dioscorea* spp. species the secondary metabolites divided into alkaloids, flavonoids (polyphenols), saponins, catechins, steroids, phenols and phenolic compounds, proanthocyanidin, anthocyanins, leucoanthocyanidin play an active role associated with plant defense strategies. Alkaloids are the largest group of secondary metabolites, categorized into cyclic organic glycoside substances with an alkaline character. Phenolic compounds are responsible for generating the flavor, odor and color of the roots and rhizomes of *Dioscorea*. They have a great diversity of flavonoids and phenols, with antioxidant activity.

In the *Dioscorea* roots and rhizomes, an important class of substances are the steroids glycosides or polycyclic terpenes, with a sternutatory and irritating to mucous membranes structural characteristic, recognized by the detergent and emulsifying actions, in the formation of foam in *Dioscorea* extracts, because it has a hydrophilic or soluble part (glucose) and another lipophilic or fat soluble (triterpene or steroid) generically called sapogenin (furostanol or spirostanol).

Daurimar Pinheiro Leão, Ivan de Jesus Ferreira, Vinicius Cavalcanti, Cíntia Mara Costa de Oliveira, Pedro Henrique Campelo- **CARA BIOPRODUCTS (*Dioscorea spp*): a review study on the composition and applications**

---

They are classified according to the aglycone number, and by their acidic, basic or neutral character. Neutral steroidal saponins are the main physiologically active constituents found in the *Dioscorea* family, whose aglycone unit is sapogenin linked to the oligosaccharide at the C-3 position, but can also be linked at positions C-27 (in steroidal saponins) or C30 (in triterpenoid saponins) (Eismann, 2019).

In China, other substances were found in different *Dioscorea* species such as phytic acid, glycoprotein, amino acids, ergosterol, choline, mucins (Qian, et al., 2019), polysaccharide, which includes hemicelluloses, grouped in mannose, arabinose, glucose, galactose, xylose and rhamnose, prosapogenin, epiafzelecin glucopyranoside, phytoestrogen, furanoid-norditerpene, oxalate and tannins (Kumar et al., 2017).

The non-enzymatic antioxidant effects, in particular of the *D. trifida* tuber led Ramos-Escudero et al. (2010) to a study for the anthocyanins composition. The levels of anthocyanidin pigments allowed to detect 12 derivative compositions. Among the compounds, peonidine, cyanidin and pelargonidin were identified, but peonidine 3- O-p-coumaroylglucoside-5-O-glucoside was the main flavonoid found.

#### 4. YAM APPLICATIONS

(*Dioscorea spp.*) The properties of *Dioscorea* are primary sources of food for many populations in different parts of the world, associated with the great spectrum of biological activities and the long-term pharmacological potential, they are used for medical treatment in Asia. However, the functional properties application of *Dioscorea* was claimed for the first time focusing on the *D. zingiberensis* rhizome potential, which were traditionally used as food and medicine by the Chinese people 2000 years ago (Zhang et al., 2018). In addition, several Chinese historical books have described the medicinal use of the plant.

The first written descriptions about the functional use of *Dioscorea* starch physicochemical components provide the foundation for multiple phytochemical and pharmacological explorations since the 1950s. In Malaysia, the natives discovered that mucilage of *D. piscatorum* tubers is useful for poison fish (Burkill, 1951).

Daurimar Pinheiro Leão, Ivan de Jesus Ferreira, Vinicius Cavalcanti, Cíntia Mara Costa de Oliveira, Pedro Henrique Campelo- **CARA BIOPRODUCTS (*Dioscorea* spp): a review study on the composition and applications**

---

In 1952, Irvine tested the dihydrodioscorine alkaloid toxic effect on the wild species *D. dumetorum* and *D. dregeana* mixed with bait and used as poisons to capture monkeys. Similarly, *D. hispida* dioscorin was used as a tiger poison by some tribes in Himalayas. Extracts of *D. sylvatica* species tubers have been used to treat uterine and breast disorders in animal models from Africa (Coursey, 1967). This author reports the pharmacological importance that employs several species of *Dioscorea* as a source of biologically active compounds.

In Rašper's study (1969), the gel-forming power was tested with starches from various *Dioscorea* species. It was observed that most yam starches produced very viscous pastes giving rise to very strong and short cooling gels, some of them with a retrograde high tendency. In another report, Martin (1969), identified the diosgenin alkaloid as the most important active ingredient in *Dioscorea* species, used in steroid drugs synthesis, such as progesterone, cortisol and estrogen.

#### **4.1. Therapeutic properties and applications of yam (*Dioscorea* spp.)**

Internationally, yam is a staple food easily digestible, widely used as a functional food in West Africa, Southeast Asia, the Caribbean and Taiwan as a medicine that guarantees its use in the synthesis of cortisone and other steroid hormones (Liu et al., 2007)

Aderiye et al. (1996) found a strong correlation between antifungal activity and protogracillin from the extract of the species *D. alata*. In an experimental phytochemical screening study of *Dioscorea* spp., Sumastuti and Sonlimar (2002) identified that several secondary metabolites had biological effects, with antimicrobial, antiinflammatory, anti-cancer and antioxidant activity to eliminate free radicals, lower cholesterol and glucose in the blood, antibiotic effect and immune improvement.

Other authors have associated such activities with the expression of diosgenin alkaloids, terpenoids and essential oils against *E. coli*, *S. aureus*, *A. fumigatus*, *A. niger*, *A. flavus*, *P. aeruginosa*, *P. vulgaris* and *P. nigricans* (Roy et al., 2012). Lima et al. (2013)

Daurimar Pinheiro Leão, Ivan de Jesus Ferreira, Vinicius Cavalcanti, Cíntia Mara Costa de Oliveira, Pedro Henrique Campelo- **CARA BIOPRODUCTS (*Dioscorea spp*): a review study on the composition and applications**

---

documented the use of *D. opposita* diosgenin in menopause hormone replacement therapy, dysmenorrhea, premenstrual tension, antiinflammatory activities in testicular disorders, impotence, benign prostatic hyperplasia and psychosexual alterations. Kumar et al. (2017) identified correlations between immunomodulatory, antioxidant, antitumor, antimutagenic, hypoglycemic, antifungal, estrogenic, contraceptive and androgenic activities, gastric protector, immunostimulant and the high amounts of allantoin and dioscin extracted from *Dioscorea* species.

In Africa, the bioactive compounds common to some parts of the various *Dioscorea* species, are used for synthesis of steroid, antiinflammatory, androgenic, estrogenic and contraceptive drugs (Asha; Nair, 2005). Saponins extracted by decoctions are used as component for shampoo, soap and insecticide (Sharma; Bastakoti, 2009).

In Nepal, *D.hamiltonii* tubers are macerated and administered for body cooling during the summer and for diarrhea. Also, formulations of the *D.bulbifera* species have clinical applications in the treatment of thyroid gland and as ophthalmic, anthelmintic, purgative, anti-inflammatory and hypoglycemic drugs in Diabetes (Ghosh et al., 2015).

In India and Africa, ethnomedical practices with properties of *D. bulbifera* have been associated with intestinal colic reduction, dysmenorrhea relief, acute phase severe inflammation, rheumatoid arthritis, spasmodic asthma and combating menopause problems, prevention of early abortion (Nayak et al., 2004). Furthermore, they are used as contraceptive, for sexual vigor, treatment of ulcers, hemorrhoids, tuberculosis, leprosy, syphilis, dysentery, cough, diabetes, and the powder used to kill lice (Ikiriza et al., 2019).

In *D. trifida* "cará" tubers, diosgenin and allantoin demonstrate antioxidant action, capable of eliminating radicals in vitro and in vivo (Mollica et al., 2013). Polysaccharides, resistant starch and dietary fiber, are used as antidiarrheal and antitussive (Park et al., 2013). In addition, maintain the skin, nerves and kidneys health, improve digestive process and delay aging (Dantas, 2014), because of its high redox potential and its ability to chelate metals.

Recent studies have reported the use of *D. nipponica* alkaloids in anti-inflammatory, analgesic and antitumor activity, on the

Daurimar Pinheiro Leão, Ivan de Jesus Ferreira, Vinicius Cavalcanti, Cíntia Mara Costa de Oliveira, Pedro Henrique Campelo- **CARA BIOPRODUCTS (*Dioscorea spp*): a review study on the composition and applications**

---

cardiovascular system, respiratory tract, anti-aging, immune function regulation, thyroid regulation and antiplatelet aggregation. Also relate clinical applications in treatment of rheumatoid arthritis, low back and leg pains, traumatic injuries, chronic bronchial asthma and tumors (Ou-Yang et al., 2018). In the Chinese industry, the *Dioscorea spp.* yam polysaccharides have applications as functional and nutraceutical food, with effect on the respiratory tract, antibacterial, antioxidant, antimutagenic, hypoglycemic and analgesic, commonly used in the treatment of Kashin-Beck disease, heart disease and in steroid hormones synthesis (Huang et al., 2019). In addition, the polysaccharides and dioscorin of *Dioscorea spp.* are effective in lowering blood glucose, have physiological activities, such as carbonic anhydrase, dehydroascorbate reductase, anti-inflammatory, cytotoxic, antihypertensive and antifungal activities attributed to the aglycone portion of steroidal saponins (Lebot et al., 2019).

Considering the phytochemical effects, it is estimated that the *Dioscorea* species exhibit extensive effects with hypoglycemic and restorative body mass action, as it has anabolic, hormonal and antiallergic potential in the treatment of respiratory, heart and digestive diseases, reduces cholesterol, improves immunity, pancreatic function and lipid profile (Gong et al., 2019).

#### **4.2. Food applications of yam starch (*Dioscorea spp.*)**

In some countries in South and North America, Africa and Asia, yam species stand out as food due to their nutritional value. However, some species are consumed fresh or cooked, as a puree or soup ingredient, as well as flour in breads, cakes, pies, porridges, among others. In the food industry, the functional properties of *Dioscorea* yam starches are used as an excipient for a wide range of applications. However, the physical-chemical and physical-mechanical properties of some species can not be used directly in applications, the starch needs to be modified using chemical, physical, enzymatic and biotechnological innovations to obtain more appropriate properties (Masina et al., 2017). In this context, the study by Ciacco and D'appolonia (1978) compared the structural and physico-chemical properties of yam (*D. alata*) with cassava flour (*Manihot utilissima*), which allowed the use of starch to produce food products. In this scope, Zaidul et al. (2008) analyzed the thermal and gluing properties of flour mixtures of *D. opposita* starch, wheat and other starches.

Daurimar Pinheiro Leão, Ivan de Jesus Ferreira, Vinicius Cavalcanti, Cíntia Mara Costa de Oliveira, Pedro Henrique Campelo- **CARA BIOPRODUCTS (*Dioscorea spp*): a review study on the composition and applications**

---

It has been suggested that tuber starches may replace wheat flour in some food products preparation. Similarly, Nindjin et al. (2011) used flour composed of *D. cayenensis* and *D. alata* tubers, vegetables and cereals as an alternative source to produce breads and replace wheat flour.

Teixeira et al. (2013) examined the *D. trifida* starch properties in natura (in different concentrations) as an alternative to replace wheat flour in the bakery industry.

Recent studies show that *Dioscorea* starches are used as an excipient for the formulation of biodegradable films and compound flour (Zhu, 2015). Because of this, Reddy et al. (2014) suggested developing extruded made from *Dioscorea* tuber flours, with corn flours and black grass (*Ophiopogon japonicus*) to obtain snacks with sensory, physicalchemical and nutritional characteristics.

In Africa, the yam Bulbils of *D. bulbifera* species are boiled and used in ethnomedicine as food to treat HIV patients (Nabatanzi & Nakalembe, 2016). Fresh *D. hispida* yams are blanched, processed into chips and spread out to dry in the sunlight (Andres et al., 2017), then fried and served as a popular snack. Tortoe et al. (2019) used *D. alata* (Akaba and Matches) yam starches as a freezing source to thicken yoghurts. De Souza Silva (2020) extracted the *D. trifida* starch from the white cultivar and observed that the high amylose content could have a place in industry for food processes, film production and biodegradable packaging.

#### **4.3. Yam starch film formation (*Dioscorea spp.*)**

Several studies of yam starch have focused on formulations of extruded single screw gels to identify the extrusion variables effect. The extruded starch pastes formed opaque and firm gels, under specific conditions of food applications (Alves et al., 1999). In another study, Gomes (2008) extracted starch from *D. alata*, jalapa (*Operculina tuberosa*), taro (*Colocasia esculenta*) and green beans (*Vigna unguiculata*), prepared polymeric blends with chitosan and PVC, and obtained results in product packaging, agricultural mulchings, packaging for fruits, vegetables, compost bags, molded parts and dressings. Silva (2010) reported the preparation and characterization of *D. esculenta* starch blends modified by oxidation and phosphorylation containing chitosan and PVA. The films showed potential as mulchings for membranes and / or hydrogels elaboration with antimicrobial activity.

Daurimar Pinheiro Leão, Ivan de Jesus Ferreira, Vinicius Cavalcanti, Cíntia Mara Costa de Oliveira, Pedro Henrique Campelo- **CARA BIOPRODUCTS (*Dioscorea* spp): a review study on the composition and applications**

---

Pérez et al. (2012) found that the *D. trifida* native starch film of the white cultivar obtained by the cross-linking process had good width, opalescence and water permeability. According to the authors, with high potential to be used in the formulation of edible coatings or to obtain foams.

Gutiérrez et al. (2014) produced edible films based on phosphate-crosslinked native *D. trifida* yam starches, plasticized with glycerol and developed by smelting. It was analyzed and suggested that the characteristics of this culture films, are more promising for coating and packaging slightly acidic food products. Azman et al. (2016) produced polyacrylamide hydrogels grafted with *D. hispida* starch. It was observed that the polyacrylamide hydrogel extracts, grafted with starch, inhibited *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella typhimurium* and *Saccharomyces cerevisiae*.

Ashri et al. (2018) manufactured green hydrogel by reacting the chemically crosslinked *D. hispida* starch powder with sodium polyacrylate in the presence of potassium persulfate and studied the characteristics, swelling behavior and in vitro cytotoxicity. In one study, Lins (2018) obtained satisfactory viable results by producing films derived from yam starch (*D. alata* L.), purple sweet potatoes (*Ipomoea potatoes* L.) cassava starch (*Manihot esculenta* Crantz) as alternative packaging, for post-harvest conservation of tomatoes (*Lycopersicon esculentum* Mill).

Recently, the study by Silva et al. (2019) found that the *D. altissima* and *D. alata* starch have technological properties for the food industry and for the packaging production. In a study by Da Costa et al. (2020), the *D. trifida* starch flour associated with chitosan and glycerol were mixed to obtain biodegradable films in edible toppings, and to increase the shelf life of fresh fruits.

#### 4.4. Pharmacological formulation of yam starch (*Dioscorea* spp.)

In addition to the starch films mentioned above, several studies in the biomedical field using appropriate isolation techniques reveal the application of *Dioscorea* spp. tubers starch as precursors in pharmaceutical field for controlled release of drugs that work as adjuvant agents in the tablets and capsules formulation. They can be

Daurimar Pinheiro Leão, Ivan de Jesus Ferreira, Vinicius Cavalcanti, Cíntia Mara Costa de Oliveira, Pedro Henrique Campelo- **CARA BIOPRODUCTS (*Dioscorea spp*): a review study on the composition and applications**

---

used as thickeners, disintegrants, glidants or lubricants in powder form or as binders in mucilaginous form.

On this basis, the *D. villosa* yam was used as an adaptogen due to the effect similar to testosterone (anabolic), that is, because it helps in the normalization of the body system functions altered by stress (Bucci, 2000). Riley et al. (2006) reported the use of *Dioscorea spp.* yams starches as a precursor to pills production. In Nigeria, Oladebeye (2007) reported the use of *D. dumetorum* and *D. alata* starches as a binder in capsules and the paper industry.

Mollica et al. (2013) used starch from tubers of the genus *D. zingiberensis* and *D. trifida* as raw material to produce diosgenin, starting material for oral contraceptives, sex hormones and other steroids.

A similar observation was detected by Okunlola et al. (2015) when suggesting Pre-gelatinization, acetylation and characterization of *D. dumetorum* and *D. oppositifolia* starches, to be used as binders in pills formulations.

In the research by Chauhan et al. (2018) the diosgenin produced from *D. zingiberensis*, was administered as steroid hormones, for sexual dysfunction and contraceptives.

Other studies have demonstrated improvement and physical, chemical, enzymatic or genetic modification to produce starch with higher levels. Among them, Okunlola and Akingbala (2013), who used acid hydrolysis to modify the starch of *D. oppositifolia*, *D. rotundata* and *D. alata* in order to be used as a binder in pills formulation and disintegrant. Dauda et al. (2019) speculated the thermal modification of *D. cayenensis* starch in the binding and disintegration of tablets, using paracetamol as a drug.

#### **4.5. Material for non-food applications**

The waste starch from the good and rotten parts of the yam tuber was tested as a source of raw material for the production of bioethanol. This produced bioethanol with yields of 533 and 528 liters of alcohol per ton (LA / t), based on dry weight (Okolo & Agu, 2013). In the study by Okunlola et al. (2017) the starches of *D. dumetorum* and *D. oppositifolia* were acetylated with acetic anhydride in the middle of pyridine, and used as polymers for the delivery of repaglinide in microsphere formulations.

Daurimar Pinheiro Leão, Ivan de Jesus Ferreira, Vinicius Cavalcanti, Cíntia Mara Costa de Oliveira, Pedro Henrique Campelo- **CARA BIOPRODUCTS (Dioscorea spp): a review study on the composition and applications**

---

Victor et al. (2017) revealed that D. Trífida starch can be a promising biocatalyst for enzymatic systems, capable of reducing the fraction of pro-viral  $\beta$ -keto esters in chiral  $\beta$ -hydroxy-esters with moderate to good conversions and selectivities. In order to improve the cogeneration of cellulosic ethanol and methane from sugarcane and molasses with a combinatorial approach of ternary residues, Fan et al. (2019) explore, for the first time, the fermentation of mixed raw material from cellulose residues, D. composita starch and sugar. It was found that the production of biofuels from various raw materials, improved the efficiency of bioethanol generation with increased concentration of ethanol.

## 5. CONCLUSIONS

There are many articles discussing the properties, structures, modifications and applications of Dioscorea spp. Starches, due to the wide alternative approach as a natural excipient, both for innovations in commercial food and non-food production and in the laboratory. In this review, we found that several methods for isolating and modifying the starches of Dioscorea spp. were and are being developed using modern tools. However, each technique has unique deficiencies, and only a few play a considerable role, without generating major changes in morphology, such as attempts to modify starch at the molecular level. The structure-application relationships of Dioscorea spp. have been better understood in the pharmaceutical field as adjuvant agents for formulating pills and capsules. It therefore seems worthy to note that, although there has been a great advance in the understanding, functionality and application of Dioscorea spp. in industries. New approaches and innovations on the application of the structural components of Dioscorea spp. Starches will continue to emerge, with new techniques from basic research, experiments with animals and humans. From this perspective, instruments with sophisticated configurations still need to be designed.

Daurimar Pinheiro Leão, Ivan de Jesus Ferreira, Vinicius Cavalcanti, Cíntia Mara Costa de Oliveira, Pedro Henrique Campelo- **CARA BIOPRODUCTS (*Dioscorea* spp): a review study on the composition and applications**

---

## REFERENCES

1. Aderiye, B. I., Ogundana, S. K., Adesanya, S. A., & Roberts, M. F. (1996). Antifungal properties of yam (*Dioscorea alata*) peel extract. *Folia microbiologica*, 41(5), 407.
2. Akinoso, R. & Abiodun, O. A. (2016). Yam: technological interventions. *Tropical roots and Tubers: Production, Processing and technology*, 558-590.
3. Alves, R. M. L., Grossmann, M. V. E., & Silva, R. S. S. F. (1999). Gelling properties of extruded yam (*Dioscorea alata*) starch. *Food Chemistry*, 67(2), 123-127.
4. Andres, C., AdeOluwa, O. O., & Bhullar, G. S. (2017). Yam (*Dioscorea* spp.)-A rich staple crop neglected by research. In *Encyclopedia of Applied Plant Sciences* (Vol. 2, pp. 435-441). Academic Press.
5. Asha, K. I., & Nair, G. M. (2005). Screening of *Dioscorea* species for diosgenin from southern western Ghats of India. *Indian Journal of Plant Genetic Resources*, 18(2), 227-230.
6. Ashri, A.,... Nazar, M. F., & Lazim, A. M. (2018). Modified *Dioscorea hispida* starch-based hydrogels and their in-vitro cytotoxicity study on small intestine cell line (FHS-74 Int). *International journal of biological macromolecules*, 107, 2412-2421.
7. Ayensu, E. S., & Coursey, D. G. (1972). Guinea yams: the botany, ethnobotany, use and possible future of yams in West Africa. *Economic botany*, 26(4), 301- 318.
8. Azman, I., Mutalib, S. A., Fazry, S., Noordin, A., Kumaran, M., & Mat Lazim, A. (2016). Novel *Dioscorea hispida* starch-based hydrogels and their beneficial use as disinfectants. *Journal of Bioactive and Compatible Polymers*, 31(1), 42- 59.
9. Beyerlein, P. (2017). Agrobiodiversidade do cará (*Dioscorea trifida* L.) e sua conservação in-situ em Caapiranga, Amazonas.
10. Beyerlein, P., & Pereira, H. D. S. (2018). Morphological diversity and identification key for landraces of the Amerindian yam in central Amazon. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 53(4), 405-418.
11. Boorsma, Meded. vits Lands Plant , 13, 1894.
12. Bucci, L. R. (2000). Selected herbals and human exercise performance. *The American journal of clinical nutrition*, 72(2), 624S-636S.
13. Burkill, I. H. (1951). Dioscoreaceae. In: *Flora Malesiana*, ed. CGGJ Van Steenis. Noordhoff- Kolff N.V. and Djakarta. Series I. 4, 293-335.
14. Castro, A. P. D., Pereira, H. D. S., & Kinupp, V. F. (2012). Etnobotânica das variedades locais do cará (*Dioscorea* spp.) cultivados em comunidades no município de Caapiranga, estado do Amazonas. *Acta Botanica Brasilica*, 26(3), 658-667.
15. Cáuper, G. C. B., Cáuper, F. R. M., & Brito, L. L. (2006). Biodiversidade Amazônica–Flora Amazônica. Centro Cultural dos Povos da Amazônia, Manaus. 162p.
16. Chauhan, R., Keshavkant, S., & Quraishi, A. (2018). Enhanced production of diosgenin through elicitation in micro-tubers of *Chlorophytum borivillianum* Sant et Fernand. *Industrial Crops and Products*, 113, 234-239.

Daurimar Pinheiro Leão, Ivan de Jesus Ferreira, Vinicius Cavalcanti, Cíntia Mara Costa de Oliveira, Pedro Henrique Campelo- **CARA BIOPRODUCTS (*Dioscorea spp*): a review study on the composition and applications**

---

17. Ciacco, C. F., & D'Appolonia, B. L. (1978). Baking studies with cassava and yam flour. I. Biochemical composition of cassava and yam flour. *Cereal chemistry*, 55(3), 402-411.
18. Coursey, D. G. (1967). Yams. An account of the nature, origins, cultivation and utilisation of the useful members of the Dioscoreaceae. *Yams. An account of the nature, origins, cultivation and utilisation of the useful members of the Dioscoreaceae*.
19. Coursey, D. G., & Aidoo, A. (1966). Ascorbic acid levels in Ghanaian yams. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 17(10), 446-449.
20. da Costa, J. C. M., Miki, K. S. L., & Teixeira-Costa, B. E. (2020). Development of biodegradable films based on purple yam starch/chitosan for food application. *Heliyon*, 6(4), e03718.
21. Dantas, É. M. (2014). Caracterização e avaliação das atividades antioxidante e antiproliferativa e do efeito citotóxico de bebidas funcionais liofilizadas compostas por frutas e hortaliças (green smoothies).
22. Dauda, U.,... & Ilyasu, Salim. (2019). Binder and Disintegrant Performance of Native and Thermally Modified *Dioscorea cayenensis* Starches in Paracetamol Tablet Formulations. *Tropical Journal of Natural Product Research*, 3, 155- 161.
23. de Souza Silva, G. M., Veloso, C. M., Santos, L. S., Fontan, R. D. C. I., & Bonomo, R. C. F. (2020). Extraction and characterization of native starch obtained from the inhambu tuber. *Journal of Food Science and Technology*, 57(5), 1830-1839.
24. Dutta, B. (2015). Food and medicinal values of certain species of *Dioscorea* with special reference to Assam. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 3(5).
25. EISMANN, P. (2019) Nanoemulsões Contendo Diosgenina: Produção e Estudo de Estabilidade. Santa Maria, RGS.
26. Fan, M., Li, J., Bi, G., Ye, G., Zhang, H., & Xie, J. (2019). Enhanced cogeneration of cellulosic ethanol and methane with the starch/sugar-rich waste mixtures and Tween 80 in fed-batch mode. *Biotechnology for biofuels*, 12(1), 227.
27. FAOSTAT (Statistics Division of Food and Agriculture Organization of the United Nations). Available in <http://faostat3.fao.org/browse/Q/QC/E>. Accessed in March 2020
28. Feijó, J. D. C., Rufino, J. P. F.,... Costa, A. P. G. C., & Negreiros, T. D. J. N. (2016). Farinha de cará (*Dioscorea trifida* L.) sobre o desempenho, qualidade do ovo e bioquímica sérica de poedeiras comerciais leves. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, 17(3), 413-423.
29. Ferreira, F. A. B., Mali, S., Yamashita, F., & Cardoso, L. P. (2009). Effect of relative humidities on microstructural, barrier and mechanical properties of yam starch-monoglyceride films. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 52(6), 1505-1512.
30. FLORA DO BRASIL 2020. 2020. Dioscoreaceae in Flora do Brasil 2020 under construction. Available in: <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/reflora/floradobrasil/FB7372>. Accessed in April 2020.

Daurimar Pinheiro Leão, Ivan de Jesus Ferreira, Vinicius Cavalcanti, Cíntia Mara Costa de Oliveira, Pedro Henrique Campelo- **CARA BIOPRODUCTS (*Dioscorea spp*): a review study on the composition and applications**

---

31. Ghosh, S.,... & Chopade, B. A. (2015). Phytochemistry and therapeutic potential of medicinal plant: *Dioscorea bulbifera*. *Medicinal Chemistry*, 5(4), 160-172.
32. Gomes, A. M. M. (2008). Preparação, caracterização e avaliação da biodegradabilidade de blendas de amido/quitosana/PVA.
33. Gong, X., Ji, M., Xu, J., Zhang, C., & Li, M. (2019). Hypoglycemic effects of bioactive ingredients from medicine food homology and medicinal health food species used in China. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 1-24.
34. González Vega, M. E. (2012). El ñame (*Dioscorea spp.*). Características, usos y valor medicinal. Aspectos de importancia en el desarrollo de su cultivo. *Cultivos tropicales*, 33(4), 05-15.
35. Gorter, (1911). *Ann. Jard. Robô. Buit., Série 2, Sup. 3, 385; Gravando. trav. chim. Pays-Bas*, 30, 161.
36. Gutiérrez, T. J., Pérez, E., Guzmán, R., Tapia, M. S., & Famá, L. (2014). Physicochemical and functional properties of native and modified by crosslinking, dark-cush-cush yam (*Dioscorea Trifida*) and cassava (*Manihot Esculenta*) starch. *Journal of Polymer and Biopolymer Physics Chemistry*, 2(1), 1-5.
37. Harvey, P. J., & Boulter, D. (1983). Isolation and characterization of the storage protein of yam tubers (*Dioscorea rotundata*). *Phytochemistry*, 22(8), 1687-1693.
39. Hornung, P. S., Ávila, S., Lazzarotto, M., Schnitzler, E., & Ribani, R. H. (2017). Enhancement of the functional properties of Dioscoreaceas native starches: Mixture as a green modification process. *Thermochimica acta*, 649, 31-40.
40. Hornung, P. S., Ávila, S., Masisi, K., Malunga, L. N.,... & Beta, T. (2018). Green development of biodegradable films based on native yam (*Dioscoreaceae*) starch mixtures. *Starch-Stärke*, 70(5-6), 1700234.
41. Huang, R., Xie, J., Yu, Y., & Shen, M. (2019). Recent progress in the research of yam mucilage polysaccharides: Isolation, structure and bioactivities. *International journal of biological macromolecules*.
42. Ikiriza, H., Ogwang, P. E., & Abdalla, A. A. M. (2019). *Dioscorea bulbifera*, a highly threatened African medicinal plant, a review. *Cogent Biology*, 5(1), 1631561.
43. Irvine, F. R. (1952). Supplementary and emergency food plants of West Africa. *Economic Botany*, 6(1), 23-40.
44. Jahan, F. N., Rahim, M. A., Bokhtiar, S. M., & Samanta, A. K. (2019). Potentiality of Underutilized Crop *Dioscorea Spp.*: A Source of Nutraceutical. *SAARC Journal of Agriculture*, 17(2), 1-13.
45. Kanu, A. N., & Ogunka, N. P. (2018). A review on bioactive compounds of yam varieties for human disease management. *Asian Food Science Journal*, 1-10.
46. Ketiku, A. O., & Oyenuga, V. A. (1970). Preliminary report on the carbohydrate constituents of cassava root and yam tuber. *Nigerian Journal of Science*, 4(1), 25-30.
47. Kouassi, B. et al. (1984). Activités invertasiques de cultures de de tissues de *Dioscorea*, *Rev. Cytol. Biol. Veget-bot.* 7, 97-108.

Daurimar Pinheiro Leão, Ivan de Jesus Ferreira, Vinicius Cavalcanti, Cíntia Mara Costa de Oliveira, Pedro Henrique Campelo- **CARA BIOPRODUCTS (*Dioscorea spp*): a review study on the composition and applications**

---

48. Kumar, S., Das, G., & Patra, J. K. (2017). *Dioscorea spp.*(a wild edible tuber): a study on its ethnopharmacological potential and traditional use by the local people of Similipal Biosphere Reserve, India. *Frontiers in pharmacology*, 8, 52.
49. Lebot, V., Faloye, B., Okon, E., & Gueye, B. (2019). Simultaneous quantification of allantoin and steroidal saponins in yam (*Dioscorea spp.*) powders. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, 13, 100200.
50. Lima, C. M.,... & de Albuquerque Jr, R. L. C. (2013). Bioassay-guided evaluation of *Dioscorea villosa*—an acute and subchronic toxicity, antinociceptive and antiinflammatory approach. *BMC complementary and alternative medicine*, 13(1), 195.
51. LINS, M. S. G. (2018). Revestimento a base de amido de inhame, batata doce roxa e mandioca na conservação de tomates (*lycopersicon esculentum* mil).
52. Liu, Y. W., Hsu, F. L., & Hou, W. C. (2007). Immunomodulatory activity of dioscorin, the storage protein of yam (*Dioscorea alata* cv. Tainong No. 1) tuber. *Food and Chemical Toxicology*, 45(11), 2312-2318.
53. Lovera, M., Pérez, E., & Laurentin, A. (2017). Digestibility of starches isolated from stem and root tubers of arracacha, cassava, cush–cush yam, potato and taro. *Carbohydrate polymers*, 176, 50-55.
54. Magallanes-Cruz, P. A., & Bello-Perez, L. A. (2017). Starch structure influences its digestibility: a review. *Journal of food science*, 82(9), 2016-2023.
55. Martin, F. W. (1969). The species of *Dioscorea* containing sapogenin. *Economic Botany*, 23(4), 373-379.
56. Masina, N., Govender, M.,...Indermun, S., & Pillay, V. (2017). A review of the chemical modification techniques of starch. *Carbohydrate polymers*, 157, 1226- 1236.
57. Mehrotra, R. C., & Shukla, A. (2019). First record of *Dioscorea* from the early Eocene of northwestern India: Its evolutionary and palaeoecological importance. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 261, 11-17.
58. Mollica, J. Q. (2013). Atividade anti-inflamatória do inhame americano *Dioscorea trifida* Lf na alergia alimentar induzida pela ovalbumina em camundongos. *Journal of Functional Foods* , 5(4), 1975-1984.
59. Moorthy, S. N., Sajeev, M. S., & Anish, R. J. (2018). Functionality of tuber starches. In *Starch in Food* (pp. 421-508). Woodhead Publishing.
60. Nabatanzi, A., & Nakalembe, I. (2016). Wild food plants used by people living with HIV/AIDS in Nakisunga sub-county, Uganda. *African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development*, 16(4), 11310-11330.
61. Nascimento, W. F., Koehler, S., & Veasey, E. A. (2013). Spatially structured genetic diversity of the Amerindian yam (*Dioscorea trifida* L.) assessed by SSR and ISSR markers in Southern Brazil. *Genetic resources and crop evolution*, 60(8), 2405-2420.
62. Nayak, S., Behera, S. K., & Misra, M. K. (2004). Ethno-medico-botanical survey of Kalahandi district of Orissa.

Daurimar Pinheiro Leão, Ivan de Jesus Ferreira, Vinicius Cavalcanti, Cíntia Mara Costa de Oliveira, Pedro Henrique Campelo- **CARA BIOPRODUCTS (*Dioscorea spp*): a review study on the composition and applications**

---

63. Nindjin, C., Amani, G. N., & Sindic, M. (2011). Effect of blend levels on composite wheat doughs performance made from yam and cassava native starches and bread quality. *Carbohydrate Polymers*, 86(4), 1637-1645.
64. Okolo, B. N., & Agu, R. C. (2013). Use of Waste Materials from Plant Origins (Yam) as a Major Raw Material for Bio-Ethanol Production—A Practical Approach. *The Journal of Solid Waste Technology and Management*, 39(2), 149- 156.
65. Okunlola, A., & Akingbala, O. (2013). Characterization and evaluation of acidmodified starch of *Dioscorea oppositifolia* (Chinese yam) as a binder in chloroquine phosphate tablets. *Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences*, 49(4), 699-708.
66. Okunlola, A., Adebayo, S. A., & Adeyeye, M. C. (2015). Solid state characterization of two tropical starches modified by pregelatinization and acetylation: Potential as excipients in pharmaceutical formulations. *Journal of Pharmaceutical Research International*, 58-71.
67. Okunlola, A., Adebayo, A. S., & Adeyeye, M. C. (2017). Development of repaglinide microspheres using novel acetylated starches of bitter and Chinese yams as polymers. *International journal of biological macromolecules*, 94, 544- 553.
68. OLADEBEYE, A. O. (2007). *Physicochemical Properties of Starches of Some Tropical Tubers* (Doctoral dissertation, Federal University of Technology Akure).
69. Ou-yang, S. H., Jiang, T., Zhu, L., & Yi, T. (2018). *Dioscorea nipponica* Makino: a systematic review on its ethnobotany, phytochemical and pharmacological profiles. *Chemistry Central Journal*, 12(1), 1-18.
70. Park, J. M.,... & Kim, E. H. (2013). Anti-inflammatory and carbonic anhydrase restoring actions of yam powder (*Dioscorea spp*) contribute to the prevention of cysteamine-induced duodenal ulcer in a rat model. *Nutrition Research*, 33(8), 677-685.
71. Perez, E., Segovia, X., Tapia, M. S., & Schroeder, M. (2012). Native and crosslinked modified *Dioscorea trifida* (cush-cush yam) starches as bio-matrices for edible films. *Journal of cellular plastics*, 48(6), 545-556.
72. Qian, S. Y., Tang, M. Q., Gao, Q., Tanokura, M., & Xue, Y. L. (2019). Effects of different modification methods on the physicochemical and rheological properties of Chinese yam (*Dioscorea opposita* Thunb.) starch. *LWT*, 116, 108513.
73. Ramos, A. D. S., Medeiro, C. M., & Melo, S. R. D. D. (2014). Avaliação da brotação para obtenção de mudas de diferentes partes do tubérculo de cará roxo (*Dioscorea trifida* Lf). *Revista Brasileira de Agroecologia*, 9(1), 170-175.
74. Ramos-Escudero, F., Pérez-Alonso, J. J., Yáñez, J. A., & Dueñas, M. (2010). HPLC-DAD-ESI/MS identification of anthocyanins in *Dioscorea trifida* L. yam tubers (purple sachapapa). *European Food Research and Technology*, 230(5), 745-752.
75. Rašper, V. (1969). Investigations on starches from major starch crops grown in Ghana I.—Hot paste viscosity and gel-forming power. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 20(3), 165-171.

Daurimar Pinheiro Leão, Ivan de Jesus Ferreira, Vinicius Cavalcanti, Cíntia Mara Costa de Oliveira, Pedro Henrique Campelo- **CARA BIOPRODUCTS (*Dioscorea spp*): a review study on the composition and applications**

---

76. Reddy, M. K., Kuna, A., Kaur, C., & Nagamalleswari, Y. (2014). Development of extruded Ready-To-Eat (RTE) snacks using corn, black gram, roots and tuber flour blends. *Journal of food science and technology*, 51(9), 1929-1937.
77. Riley, C. K., Adebayo, S. A., Wheatley, A. O., & Asemota, H. N. (2006). Fundamental and derived properties of yam (*Dioscorea spp.*) starch powders and implications in tablet and capsule formulation. *Starch-Stärke*, 58(8), 418- 424.
78. Romero-Hernández, C., & Bussmann, R. W. (2019). *Dioscorea chusqueifolia* (Dioscoreaceae), a new species from northern Peru. *Brittonia*, 71(4), 353-358.
79. Roy, A., Geetha, R. V., & Lakshmi, T. (2012). Valuation of the antibacterial activity of ethanolic extract of *Dioscorea villosa* tubers-an in vitro study. *Int. J. Pharm. Pharm. Sci*, 4, 314-316.
80. Santos, Quesia D. O. D. (2016). Extração e propriedades físico-químicas de amido de frutos nativos da Região Amazônica.
81. Santos, Samiria D. J. L. (2016). Caracterização das propriedades do amido de cará-roxo (*dioscorea trifida*) obtido por diferentes métodos de extração.
82. Schutte, *Nederl. Tijdschr. Pharm.* , 9 , 131 (1897); *Chem. Zent.* , (ii), 130.
83. Seetharam, Y. N., Jyothishwaran, G., Sujeeth, H., Barad, A., Sharanabasappa, G., & Shivkumar, D. (2003). Antimicrobial activity of *Dioscorea bulbifera* bulbs.
84. Sharma, L. N., & Bastakoti, R. (2009). Ethnobotany of *Dioscorea L.* with emphasis on food value in Chepang communities in Dhading district, central Nepal. *Botanica Orientalis: Journal of Plant Science*, 6, 12-17.
85. Shitan, N. (2016). Secondary metabolites in plants: transport and self-tolerance mechanisms. *Bioscience, biotechnology, and biochemistry*, 80(7), 1283-1293.
86. Silva, P. L. D. (2010). Desenvolvimento de blendas de amido de inhame modificado com quitosana e PVA.
87. Silva, L. S. C., Martim, S. R.,... & Teixeira, M. F. S. (2019). Extração e caracterização de amido de espécies de *Dioscorea* cultivadas na Amazônia. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi-Ciências Naturais*, 14(3), 439-452.
88. Siqueira, M. V. (2011). Yam: a neglected and underutilized crop in Brazil. *Horticultura Brasileira*, 29(1), 16-20.
89. Sumastuti, R., & Sonlimar, M. (2002). Efek sitotoksik ekstrak buah dan daun mahkota dewa [*Phaleria macrocarpa* (Scheff) Boerl.] terhadap sel Hela. *Medika*, 28(12), 773-777.
90. Tang, M. Q., Gao, Q., Zhong, L.,... & Xue, Y. L. (2019). Solubility and emulsifying activity of yam soluble protein. *Journal of Food Science and Technology*, 1-9.
91. Teixeira, A. P., Oliveira, I. M. A., Lima, E. S., & Matsuura, T. (2013). The use of purple yam (*Dioscorea trifida*) as a health-promoting ingredient in bread making. *Journal of Research in Biology*, 3(1), 747-758.
92. Teixeira, B. S. (2016). Características de amidos processados pela radiação ionizante (Doctoral dissertation, Universidade de São Paulo).

Daurimar Pinheiro Leão, Ivan de Jesus Ferreira, Vinicius Cavalcanti, Cíntia Mara Costa de Oliveira, Pedro Henrique Campelo- **CARA BIOPRODUCTS (Dioscorea spp): a review study on the composition and applications**

---

93. Tortoe, C., Akonor, P. T., & Ofori, J. (2019). Starches of two water yam (*Dioscorea alata*) varieties used as congeals in yogurt production. *Food science & nutrition*, 7(3), 1053-1062.
94. Victor, M. M., Uchôa, J. E., & Riatto, V. B. (2017). First use of cactus and cushcush as biocatalysts in the enantioselective reduction of  $\beta$ -keto esters. *Industrial crops and products*, 96, 126-131.
95. Xue, H. Y., Li, J. R., Liu, Y. G., Gao, Q.,... & Xue, Y. L. (2019). Optimization of the ultrafiltration-assisted extraction of Chinese yam polysaccharide using response surface methodology and its biological activity. *International journal of biological macromolecules*, 121, 1186-1193.
96. Zaidul, I. S. M., Absar, N.,... Yamauchi, H., & Noda, T. (2008). DSC study of mixtures of wheat flour and potato, sweet potato, cassava, and yam starches. *Journal of Food Engineering*, 86, 68–73.
97. Zhang, X., Tadesse, N.,... & Ito, Y. (2018). *Dioscorea zingiberensis* CH Wright: An overview on its traditional use, phytochemistry, pharmacology, clinical applications, quality control and toxicity. *Journal of Ethnopharmacology*, 220, 283-293.
98. Zhu, F. (2015). Isolation, composition, structure, properties, modifications, and uses of yam starch. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 14(4), 357-86.

#### ACKNOWLEDGEMENTS

The authors say thanks to the State University of Amazonas, Federal University of Amazonas and Postgraduate Program in Biodiversity and Biotechnology of Rede Bionorte.

**8 CAPÍTULO III****BIOPRODUCTS OF AÇAÍ (*Euterpe spp*): a review study on the composition and applications (Amazon, Brazil)<sup>2</sup>**

---

<sup>2</sup>Este capítulo está formatado na forma de artigo e foi submetido para publicação na revista “European Academic Research” (ISSN 2286-4822).

## BIOPRODUCTS OF AÇAÍ (*Euterpe spp*): a review study on the composition and applications (Amazon, Brazil)

DAURIMAR PINHEIRO LEÃO <sup>1</sup> 

IVAN DE JESUS FERREIRA <sup>2</sup> 

OZANILDO VILAÇA DO NASIMENTO <sup>3</sup> 

VINICIUS CAVALCANTI <sup>4</sup> 

PEDRO HENRIQUE CAMPELO <sup>5</sup> 

CÍNTIA MARA COSTA DE OLIVEIRA <sup>6</sup> 

Submetido 20/03/2021 – Aceito 12/04/2021 – Publicado on-line 25/04/2021

### Abstract

*Açaí is a species of plant of the genus Euterpe, which is part of the tribe Euterpeinae and belongs to the family Arecaceae (Palmae), distributed in the Brazilian biome, mainly in the Amazon rainforest, cerrado and Atlantic forest, throughout Central America and up to the north of South America. Traditionally, açai pulp has been used for artisanal consumption in the form of sweets, ice cream, creams, yoghurts, liqueurs, popsicles, jellies, porridge, sweets, nectars, teas, shakes, smoothies, energy and isotonic drinks, in natura, juices, fermented drinks, given its chemical properties and the presence of bioactive compounds, being also used for therapeutic and medicinal purposes. As a food, açai is rich in vitamins, minerals, protein, lipids and phenolic substances, mainly anthocyanins from the flavonoid group. In the pharmacological and therapeutic sector, the genus Euterpe spp. it has several important biological implications, such as antioxidant, hypoglycemic, anti-inflammatory, antimicrobial, antiproliferative, immunomodulatory, cardioprotective, antidiarrheal, anticarcinogenic, reducing reactive oxygen species, inflammatory cytokine production and muscle stress markers. The present review summarizes the knowledge about the chemical composition, pharmacological and therapeutic effects, clinical, food and medicinal applications of the genus Euterpe spp.*

**Keywords:** Euterpe; Euterpe; Açaí; Composition; Applications; Products

Daurimar Pinheiro Leão, Ivan de Jesus Ferreira, Ozanildo Vilaça do Nascimento, Vinicius Cavalcanti, Pedro Henrique Campelo, Cíntia Mara Costa de Oliveira– **Bioproducts of Açaí (*Euterpe* spp): a review study on the composition and applications (Amazon, Brazil)**

---

## 1. INTRODUCTION

Açaí is an Amazonian fruit with high nutritional value and economic potential pointed out by its consumption, which is related to its chemical characteristics, nutritional, pharmaceutical properties and the various health benefits.

Although there are different species of açaí, in Brazil, the best known, *Euterpe oleracea* Martius or "açaí-do-pará", *Euterpe precatoria* Martius or "açaí-do-amazonas", *Euterpe edulis* Martius or "juçara", (Martinot, Pereira & Silva, 2017), *Euterpe Catinga* Wallace or "Açaizinho", *Euterpe Longibracteata* Barbosa Rodrigues or "Açaí da Terra firma" (Kang et al., 2012; Schauss, 2010).

In the eastern Amazon the palm trees *Oenocarpus bacaba*, *Attalea maripa*, *Astrocaryum aculeatum*, *Euterpe oleracea* and *Euterpe precatoria* are known. However, only açaí species native to the Amazon region *Euterpe oleracea* and *Euterpe precatoria* are used commercially (Yamaguchi et al., 2015).

Previous studies have shown that the exploitation of the palm *Euterpe* spp. it was commonly made for subsistence, from the manual pulping of the fruits, followed by the extraction and commercialization of the heart of palm, however these data did not appear in the statistics of production and sale (Parente et al., 2003).

In contemporary times, the commercial production of açaí *Euterpe* spp. it cuts across the important contribution to the economy and food security of local communities, involves micro enterprises, organized in associations and cooperatives formed by professionals from indigenous, caboclos / riverside ethnic groups, traditional rural communities and local family businesses (Pinto, 2018). Due to its management approach that support biodiversity and the ecosystem processes that support fruit production in low-lying humid areas, in the Amazon and Midwest regions of Brazil.

Several scientific studies report the potential effect of the pulp of the fruit of *Euterpe* spp. to human health, related to its nutritional, phytochemical composition enriched in polyphenols, has diversified bioactivities, with anti-inflammatory, antiproliferative, cardioprotective and against oxidative stress (Bastos, 2015; BeldaGalbis et al., 2015; Carey et al., 2017; Carvalho-Peixoto et al. 2015; De Moura; Resende, 2016).

In view of this panorama, this work aims to review the main results of the studies that investigated the composition and applications of the species *Euterpe* spp., as well as the functional potential of the fruit pulp.

Daurimar Pinheiro Leão, Ivan de Jesus Ferreira, Ozanildo Vilaça do Nascimento, Vinicius Cavalcanti, Pedro Henrique Campelo, Cíntia Mara Costa de Oliveira– **Bioproducts of Açaí (*Euterpe* spp): a review study on the composition and applications (Amazon, Brazil)**

---

## 2. METHODOLOGY

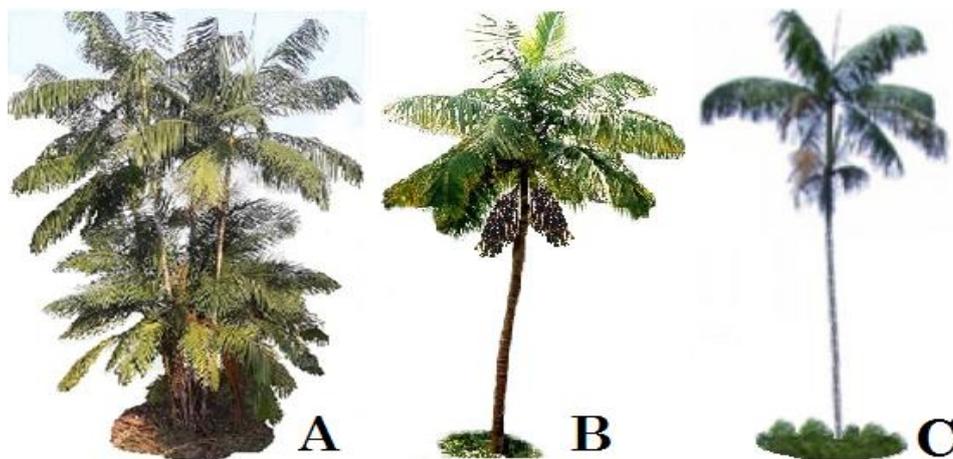
This is a literature review study, with a descriptive approach. Research was carried out on various electronic mechanisms, such as Google Scholar, and global digital databases popular in the scientific field, including Science Direct, Springer, PubMed, Web of science, Scielo, Scopus, in January, February and March, without limited time, but with the following terms: açaí and *Euterpe* and applications to obtain the relevant information. The inclusion criteria were: articles closely related to the theme. The selection was based on titles and / or abstracts, availability of the full article and publication in English and / or Portuguese.

Those who did not meet the previously established criteria were excluded. After careful screening, data related to the current topic were extracted from 72 articles published from 1948 to 2021.

## 3. BOTANICAL PROFILE OF AÇAÍ (*Euterpe* spp.)

The species *Euterpe* spp. they differ in the way the palm trees grow. The genus *Euterpe oleracea*, known locally as açaí-do-Pará, is common in lowlands, in flooded forest areas of the Amazon estuary and adapted to a hot, tropical climate, high cloud cover and high relative humidity, is distributed from North Atlantic coast, from Maranhão to the outskirts of Parintins, south of the Amazon River (Matos, 2017).

The palm forms clumps around 20 stems (Figure 1A), whose tillers may be in different stages of growth, produces small round fruits (1.0 to 1.4 cm in diameter), dark purple in color.



**Figure 1.** Photo: aspects of the *Euterpe oleracea* Martius plant (A), aspects of the *Euterpe edulis* Martius plant (B), aspects of the *Euterpe precatoria* Martius plant (C). Source: the Author

Daurimar Pinheiro Leão, Ivan de Jesus Ferreira, Ozanildo Vilaça do Nascimento, Vinicius Cavalcanti, Pedro Henrique Campelo, Cíntia Mara Costa de Oliveira– **Bioproducts of Açai (*Euterpe spp*): a review study on the composition and applications (Amazon, Brazil)**

---

In contrast, the genus *Euterpe edulis* known as juçara or içara, also called jiçara, palmito-juçara, palmito-doce and palmiteiro, is an allogamous, evergreen, ombrophilous, mesophilic or slightly hygrophilous, single-stemmed (Figure 1B), not tillering and not regrowth, they can grow to a medium height (Costa Silva, Martini & de Araújo, 2009). It is an annual and seasonal flowering palm, being the peak of fruit supply between September and October, with ripening from April to November. It occurs from the south of Bahia to the north of Rio Grande do Sul, with distribution along the Brazilian coast, in the Atlantic Rain Forest (Mantovani & Morellato, 2000).

The genus *Euterpe precatoria* commonly known as açáisolitário, açá-do Amazonas, açá-solo, açá-de-terra-firma, açá-damata and açá-native, is a neotropical, perennial, under-canopy palm ( Figure 1C), of single stipe, being unable to produce tillers and sprout, they can grow up to a maximum height of 22 m. They are allogamous plants, perennial, with more frequent occurrence in Western Amazonia with average annual temperature above 26°C, relative humidity between 71% and 91%, and precipitation above 1,600 mm per year (Martinot et al., 2013) .

They produce inflorescences made up of rachis that form bunches of about 2,000 to 5,000 globose seeds measuring 0.9 to 1.3 cm in diameter and succulent mesocarp about 1 mm thick, maturing from green to dark reddish purple in about 175 days, with a solid and homogeneous endosperm, it weighs about 2g and corresponds to about 10% of the final weight. In adulthood, individuals produce 1 to 4 bisexual inflorescences per flowering period, with numerous male and female flowers (Yamaguchi et al., 2015).

In the Amazon estuary, flowering and fruiting peaks occur spontaneously with seasonality characteristic of the crop intrinsically linked to the geographical location, the harvest period of *Euterpe precatoria* varies from December to May in the rainy season (Peixoto, 2016).

In Amazonas, the species can be found throughout the year, but the greatest production occurs between the months of July and October, characterized by a dry period (Küchmeister et al., 1997). However, the harvest can anticipate, as the communities are closer to the headwaters of the rivers (Martinot et al., 2013).

Daurimar Pinheiro Leão, Ivan de Jesus Ferreira, Ozanildo Vilaça do Nascimento, Vinicius Cavalcanti, Pedro Henrique Campelo, Cíntia Mara Costa de Oliveira– **Bioproducts of Açai (*Euterpe spp.*): a review study on the composition and applications (Amazon, Brazil)**

---

### 3.1. PROPERTIES OF AÇAÍ (*Euterpe spp.*)

In a general aspect, the chemical constituents found in fruits, roots, leaf stems, seeds of the main species of *Euterpe spp.*, are the target of extensive investigations, due to their nutritional, phytochemical and bioactive composition, as they are the most popular functional foods of natural occurrence only in the Amazon basin. western region, including the Peruvian region. In view of the high nutritional, energetic and caloric value, the açai fruit has 794 kcal 100 g<sup>-1</sup> of pulp, considerable amounts of constituents such as: calcium, copper, magnesium, manganese, zinc and iron (Da Silva Santos et al., 2014; Dias-Souza et al., 2018).

Several authors, (Carey et al., 2017; Schauss, 2015) claim that the açai pulp consists of a variety of phenolic acids and polyphenols, especially anthocyanins, belonging to the group of flavonoids such as pelargonidin, cyanidin, delphinidine, peonidine, petunidine and malvidin found in the açai fruit (Schulz et al., 2016). In addition to these, other flavonoids from the group of flavonols and flavones (vitexin, luteolin, crereriol, quercetin, homoorientin, orientin, isovitexine, scoparin, taxifoline, deoxyhexose, deoxyhexose, isoorientin and vanillic acid).

According to Peixoto (2016), the edible part of açai is rich in calcium, magnesium, potassium, phosphorus, glycodes, proteins (8.91%). Ascorbic acid,  $\alpha$ -tocopherol around 135 mg / 100g<sup>-1</sup>, B vitamins (thiamine, riboflavin, niacin), essential amino acids, fat-soluble compounds (41.85%) and tannins (proanthocyanidin) (Gan et al., 2018; Schulz et al., 2016).

According to De Moura Rocha (2015) and Schulz et al. (2016) açai also contains soluble fibers, carbohydrates, fatty acids: palmitic, linoleic and oleic responsible for reducing the oxidation of LDL cholesterol, together they represent 90% of the calories present in the fruit and can be monounsaturated and polyunsaturated.

The study by Pacheco-Palencia, Duncan & Talcott (2009) identified flavonoids from the group of phenolic compounds in the fruit of both genera, with emphasis on the total anthocyanins content in *Euterpe precatoria*, considered higher than in *Euterpe oleracea*, this represented almost 90 % of antioxidant capacity. These results, when tested by liquid chromatography (HPLC-ESI-MSn), revealed a predominance of cyanidin-3-glucoside and cyanidin-3-rutenoside derivatives in both genders. The difference was the presence of pelargonidin-3-O-glucoside in *Euterpe precatoria* and peonidin-3- rutinoside in *Euterpe oleracea* (Yamaguchi et al., 2015). It is known that in nature, anthocyanins occur in heterolicosidic form, with cyanidin, pelargonidine, peonidine, delphinidine, petunidine and malvidin being added from the groups fixed on the aromatics.

Daurimar Pinheiro Leão, Ivan de Jesus Ferreira, Ozanildo Vilaça do Nascimento, Vinicius Cavalcanti, Pedro Henrique Campelo, Cíntia Mara Costa de Oliveira– **Bioproducts of Açaí (*Euterpe spp*): a review study on the composition and applications (Amazon, Brazil)**

---

Guided by this approach Galotta et al. (2005), identified from hexanic extracts, in ethyl acetate and methanolic root and hexanic extracts and in ethyl acetate from the leaf stalk of *Euterpe precatoria*, sitosterol-3-O- $\beta$ -Dglucopyranoside, stigmasterol and acid p-hydroxy-benzoic as a chemical constituent. They also elucidated significant amounts of flavonoids with various biological and pharmacological activities demonstrated by cytotoxic triterpenes. These compounds have a chemical structure consisting of two aromatic rings, linked by a chain of three carbon atoms and demonstrate the ability in vitro and in vivo to sequester free radicals (Peixoto et al., 2016).

Several publications demonstrate that *Euterpe edulis* contains nutritional, phenolic and bioactive compounds such as anthocyanins, flavonoids and phenolic acids that are related to antioxidant activity in vitro and in vivo (Maria do Socorro et al., 2010; Oyama et al., 2016; Schulz et al., 2016).

Recently, studies by Tavares et al. (2020), De Lima et al. (2019) Monteiro et al. (2019) identified high levels of lignocellulose containing glucose, cellulose, hemicellulose, lignin, xylose and mannose as a chemical constituent in the fresh, treated and mature fibers of *Euterpe oleracea* seeds. One of them (Melo et al., 2021) reported strong antioxidant activity in vitro against free radicals DPPH and ABTS. Due to the analysis, he identified in the seed extract Procyanidin B1 and B2, catechin and epicatechin.

In modern times, the large number of studies that deal with the physical and chemical properties of açaí, were linked to the marked use of the raw material, nutritional wealth, capacity to fight diseases and harmful agents to the organism. In view of this, the industrial logic was installed in the agribusiness of açaí, through the planting of new açaí trees in upland areas, in the growth of the pulp market, in the new forms of consumption / food, appropriating new technologies such as the improvement of seeds and fertilizers, linked to the cultivation link (Coelho et al., 2017; Moraes, 2018). In defining the traditional culture of family work, for example, it has given space to the industry with new technologies for training the workforce and extracting fruit, driving growth with the purpose of meeting the new niches in the food, cosmetic and food markets. nutraceutical adding value to the final product.

The commercialization of açaí, previously restricted to artisanal beaters and points of sale in the neighborhoods, encountered competition from markets, supermarkets and factories that incorporate product, process and management technologies operating in the national and international markets, attested to in the new form of production process in the fruit, according to Bill n° 178 of 2010 (Ribeiro, 2016).

Daurimar Pinheiro Leão, Ivan de Jesus Ferreira, Ozanildo Vilaça do Nascimento, Vinicius Cavalcanti, Pedro Henrique Campelo, Cíntia Mara Costa de Oliveira– **Bioproducts of Açaí (*Euterpe spp*): a review study on the composition and applications (Amazon, Brazil)**

---

In the late 1990s, açaí, which was just an exotic fruit of extractive production and artisanal processing, served as staple food and domestic consumption of low-income populations in the Amazon economy, won over many fans, mainly sportsmen and physical activity practitioners. (Bernaud & Funchal, 2011).

In the period between the 1990s and 2000s, the production and value of açaí remained at the same level, oscillating around 100,000 tons of fruit and R\$ 55,000. In the period between 2002 and 2004, the production and value of açaí increased four times more, the fruit started to lead the national market and exports reached 500 thousand tons / year (Pagliarussi, 2010).

With technological advances, the foreign market grew about 20% per year in the period from 2003 to 2006. For this reason, the sale of açaí concentrated in the food industry with smart packaging, mixed with other fruits (Homma, 2014). This scenario led the industries to improve their products, processes, incorporation of technologies, strategic management of production and costs, specialization in local, national and international markets.

Such practices, however, resulted in the sending of açaí abroad, mainly in countries such as Japan, the Netherlands, South Korea (Carvalho et al., 2017). United States, Australia, Brazil and Canada which, according to the MINTEL GROUP (2016), of all industrialized foods containing açaí, launched in these countries between the years 2010 to 2015, 22% were juices, 12% sports and energy drinks, 9 % snacks, 7% desserts and ice cream, 5% dairy products and 3% confectionery, but Portugal and England are among the importers of the product.

Açaí has become one of the most important crops in the world and, in the Amazon estuary, the main producers of *Euterpe precatoria* are the municipalities of Codajás, Anori, Coari, Carauari, Humaitá, Itacoatiara, Tapauá, Manicoré and Lábrea which, in 2019 , produced approximately 43,855 tonnes of fruit, with monetary value of production of US \$ 97.08 million (IBGE, 2019).

*Euterpe edulis*, is found and produced in the Midwest and Southeast regions of Brazil. However, the North region is the largest national producer, only the state of Pará, produced / managed 87% of the fruit, that is, about 369,148 tons (*Euterpe oleracea*) and, of this production, 60% is in the state, 35% it goes to other regions of the country and 5% goes directly abroad and, from there, it is sold by almost 50 companies in the state (IBGE, 2019). Between the years 2016 to 2017, Brazil registered 196,319 ha of areas destined to permanent açaí crops (IBGE, 2019).

Daurimar Pinheiro Leão, Ivan de Jesus Ferreira, Ozanildo Vilaça do Nascimento, Vinicius Cavalcanti, Pedro Henrique Campelo, Cíntia Mara Costa de Oliveira– **Bioproducts of Açaí (*Euterpe spp*): a review study on the composition and applications (Amazon, Brazil)**

---

#### **4. APPLICATIONS OF AÇAÍ (*Euterpe spp.*)**

The nutritional, phytochemical composition, bioactivity and the varied raw material of *Euterpe spp.* it is used as a basic source of food and multiple needs by many populations native to the Amazon and other regions of Brazil, associated with biological and pharmacological activities.

However, the first records on the first applications using the functional properties of *Euterpe* were claimed in 1945, focusing on the potential of the pulp, which was used as a raw material in the juice production agribusiness (Homma, 2001).

For decades, the interest in the use of açaí has been motivated by the functional and medicinal capacity to affect human health and well-being, in addition to having adequate nutritional effects associated with chemical compounds, mainly attributed to bioactive substances against the metabolic syndrome (Cedrim et al., 2018).

When it comes to the therapeutic implications of açaí, there are reports with suggestions that the indigenous ethnicities, cabocla and riverside communities, native to the Amazon region, naturally made the basic use of the added values of the leaves, roots, stems and fruits of the açaí, both as a medicinal plant and as a food, were recorded by Chaves and Pechnik (1948).

In ethnomedicine, for example, Amerindian peoples use the anti-inflammatory tannins found in the roots of açaí *Euterpe precatoria* as a medicinal food in the treatment and relief of malaria and leishmaniasis, against liver and kidney infections (Galotta; Boaventura, 2005; Jensen; Kvist ; Christensen, 2002; Prance & Silva, 1975). Decoction formulations also have applications against anemia, diabetes, liver and kidney pain (Bourdy et al., 2000).

Rojas et al. (2003) report promising interventions with nutritional supplements from *Euterpe precatoria* in the treatment of hepatitis, dysmenorrhea and diarrhea, and root extracts against *Bacillus subtilis*, *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* and *Pseudomonas aeruginosa*, with an inhibitory halo of 13 mm in diameter, while Deharo et al. (2004) describes its administration in inflammatory diseases and, in the form of decoction or syrup, relieved muscle pain in the back, sciatica or in the liver.

Daurimar Pinheiro Leão, Ivan de Jesus Ferreira, Ozanildo Vilaça do Nascimento, Vinicius Cavalcanti, Pedro Henrique Campelo, Cíntia Mara Costa de Oliveira– **Bioproducts of Açaí (*Euterpe spp*): a review study on the composition and applications (Amazon, Brazil)**

---

In inhibiting the process of liver infections, proliferation of worms, intestinal disorders and anti-hemorrhagic treatment, when applied after tooth extractions (Bastos, 2015).

In addition to these, other works with the stem of *Euterpe precatoria* leaves are used against snake bites, muscle and chest pains, the seeds provide handmade products, cooking oil, hair care and are anti-diarrheal (Campos & Ehringhaus, 2003) . There are reports on the alternative use of açaí palm in nature in food, in muscle treatment and snake bites (Santana; De Jesus, 2012).

Due to the functional potential of açaí, the works by BeldaGalbis et al. (2015) and Kang et al. (2012) found biocomposites with antioxidant activity and biological functions contained in the pulp and wine. The functional properties existing in biocomposites are associated with the anti-inflammatory, antimicrobial and therapeutic properties attributed to phenolic compounds, by inhibiting the activation of the nuclear factor kappa B (NF- $\kappa$ B) induced by lipopolysaccharide. Such functional properties are also capable of donating hydrogen atoms, which break oxidation chains and chelate ions from transition metals, inhibiting the formation of hydroxyl, peroxy, peroxyxynitrite and superoxide anions (Barbosa, 2016; Schauss, 2015).

The works of Heinrich et al. (2011) and Carvalho-Peixoto et al. (2015) suggested that the general pharmacological properties of the açaí pulp are related to its antiproliferative, anti-inflammatory, antioxidant and cardioprotective effects. Additionally, studies by DiasSouza, (2018) and Kang et al. (2012) indicated glycemic inhibition, combating metabolic disorders, progression of neurodegenerative diseases, prevention of inflammatory diseases, protection of the cardiovascular and carcinogenic system due to the presence of anthocyanins, polyphenols, fibers,  $\alpha$  tocopherol and lipids (Carey et al., 2017 ; Schauss et al., 2010; Sadowska-Krępa et al., 2015). Studies such as that by Poulouse et al. (2014) with rats, show that the açaí pulps *Euterpe oleracea* and *Euterpe precatoria* protect against dopamine-induced calcium dysregulation in primary neurons of the depolarized hippocampus, preventing the loss of autophagy function.

In humans, the pioneering study by Jensen et al. (2008), evaluated the antioxidant effect of açaí juice composed with other ingredients, for this purpose, twelve volunteers of both sexes participated in the study. The results indicated an increase in the antioxidant capacity of the serum after the consumption of açaí. It was also possible to observe an effect in decreasing lipid peroxidation. The findings suggested that the ingestion of the compound juice, was able to increase the antioxidant capacity and protect the cells from oxidative damage.

Daurimar Pinheiro Leão, Ivan de Jesus Ferreira, Ozanildo Vilaça do Nascimento, Vinicius Cavalcanti, Pedro Henrique Campelo, Cíntia Mara Costa de Oliveira– **Bioproducts of Açai (*Euterpe spp*): a review study on the composition and applications (Amazon, Brazil)**

---

Pacheco-Palencia, Duncan, Talcott (2009) cite that the high nutritional and functional value of the pulp of fruits of the species *Euterpe spp.*, The lyophilized pulp stand out for presenting high antioxidant activity demonstrated by in vitro study, with cell culture models and in vivo with work on animals and humans.

In 2014, Peixoto and collaborators administered a supplemental energy gel, the product was composed of lyophilized açai enriched with sugars (xanthan gum, maltodextrin, fructose, sucrose and glucose) and citric acid for treatment and prevention of the effects caused by oxidative stress and muscle fatigue, metabolic control in high performance athletes. The authors found that the product can be used as a therapeutic and prophylactic route, for treatment and prevention of the effects caused by oxidative stress and muscle fatigue. Likewise, Moura and Resende (2016) used the components of the skin and the seed of açai, to suggest that the properties have a vasodilatory, antihypertensive, cardioprotective, renal protective, anti-dyslipidemic, anti-obesity, species-reducing effect reactive oxygen, antidiabetics in cardiovascular and metabolic disorders and, because it inhibits proinflammatory cytokines and DNA damage, as well as immunomodulator and anti-convulsant (Dias-Souza, 2018).

Viana et al. (2017) reported that the açai gel was effective in inhibiting oxidative stress on the biochemical parameters related to the immune profile and biomarkers in the muscle and liver of individuals who practice physical activities. They observed that the gel modulated the immunological parameter, reduced lymphocyte activity and muscle stress and the activity of liver enzymes.

Recent studies addressing the therapeutic benefits contained in foods of plant origin in the Amazon rainforest biome, have become relevant to the medical and pharmaceutical fields. In this context, the study by Matos et al. (2018) obtained the first fundamental insights into the chemical production of antibacterial and antioxidant biofilms using brown sugar, kefir grains, açai (*Euterpe oleracea* Mart.) And cupuaçu pulp (*Theobroma grandiflorum* Schum). This research has shown that the biofilm surface can be used as a natural curative material.

The research published by Carvalho-Peixoto et al. (2015), Fantini (2017) and Sadowska-Krępa et al. (2015) evaluated the antiinflammatory properties of freeze-dried acai and observed a successful effect of biocomposites to reduce the production of inflammatory cytokines, pain and muscle stress, as well as increased range of motion and physical performance. during high intensity training.

Daurimar Pinheiro Leão, Ivan de Jesus Ferreira, Ozanildo Vilaça do Nascimento, Vinicius Cavalcanti, Pedro Henrique Campelo, Cíntia Mara Costa de Oliveira– **Bioproducts of Açaí (*Euterpe spp*): a review study on the composition and applications (Amazon, Brazil)**

---

In another study, Silva (2017) studied the effects of açaí pulp as a function of its bioactive substances. For this, the study was carried out in an animal model with liver injury induced by non-alcoholic fat. He found that the treatment showed an improvement in the oxidant / antioxidant balance, with an increase in the serum and liver activity of Paraoxonase-1, an increase in the gene expression of Paraoxonase-1 and apolipoprotein A-I and an increase in the protein expression of Paraoxonase-1 in the liver, preventing the oxidation of LDL.

It is known that the bioactive substances in açaí are potentially unstable against environmental stresses. Thus, based on water-in-oil encapsulation and emulsification technologies Rabelo et al. (2018) formulated nanoemulsions with different concentrations, in order to maintain the chemical and physical stability of the nanoemulsions loaded with açaí extract for 30 days of storage.

With this challenge in mind, the studies by Souza (2018) and Freitas (2018) also tracked the effects of supplementation with pasteurized pulp of açaí on biochemical markers of oxidative stress, inflammation and aerobic capacity in athletes with resistance cycling.

The results showed that there was an increase in the antioxidant capacity of the serum, and a reduction in lipid peroxidation. It has been suggested that supplementation of pasteurized açaí pulp contributed to minimize lipid peroxidation, improved aerobic capacity, prevents oxidative damage to DNA, supporting the hypothesis that supplementation with açaí pulp may favor adaptive responses to training in resistance athletes.

Despite the alleged pharmacological and nutritional value of açaí, more recently, Alegre et al. (2019) related their bioactive substances to supplementation metabolism in the process of reversing ischemiareperfusion in rats, based on reducing the formation of reactive oxygen species generated in mitochondria by restoring oxygen flow. There was an improvement in energy metabolism and a decrease in oxidative stress, but there was no decrease in the infarcted area or an improvement in left ventricular function in the global ischemiareperfusion model.

Cruz et al. (2019) evaluated the antioxidant effect of chronic consumption of açaí pulp on the muscle damage of male street runners. The results showed that supplementation with açaí promoted protection against muscle damage. It was also possible to observe a reduction in the plasma concentration of creatine kinase, demonstrating that chronic consumption of açaí prevents muscle damage.

Daurimar Pinheiro Leão, Ivan de Jesus Ferreira, Ozanildo Vilaça do Nascimento, Vinicius Cavalcanti, Pedro Henrique Campelo, Cíntia Mara Costa de Oliveira– **Bioproducts of Açai (Euterpe spp): a review study on the composition and applications (Amazon, Brazil)**

---

#### **4.2. BIOPRODUCTS BASED ON AÇAÍ (Euterpe spp.)**

Energy drinks based on açai pulp have a strong market expansion, due to the association as a source of energy, proven antioxidant capacity and use in nutraceutical / functional products.

In the past, the trade of açai derivatives in the Amazon resorted to artisanal consumption of pulp in the form of sweets, ice cream, creams, yoghurts, liqueurs, popsicles, jellies, porridge, sweets, nectars, teas or accompanied by fish and tapioca flour. or cassava (Santana & De Jesus, 2012; Silva, 2017).

Recently, the increase in the use of açai as energy drinks, shakes, smoothies, isotonic drinks, microencapsules, juices and alcoholic fermentations has allowed a significant increase in scientific research, with studies showing its chemical properties and the presence of bioactive compounds (De Souza Pereira et al ., 2017). The new scenario of the consumer market, seeks new alternatives for the exploration of açai, in order to meet current and future expectations. For example, in the food industry, the main use of açai is the extraction of the pulp, which varies from 5 to 15% of the volume of the fruit, used for a variety of applications, such as natural dyes, energy drinks, soft drinks, liquor from açai, guarana syrup with açai (Tateno, 2001; Da Silva, Souza, & Berni, 2005; Yamaguchi et al., 2015), dietary supplements, among others (Dias-Souza, 2018).

In the scope of production of dehydrated products, there are the technological processes of pasteurization, lyophilization, microencapsulation, drumdryer, spray-drier, vacuum dehydration, among others.

Thus, Boeira et al. (2020) produced a new alcoholic beverage by the same elaboration process, from Euterpe precatoria fruits from different regions of the state of Amazonas. The results showed an alcohol content of 10.3% to 11.7% and quantification of methanol according to the limits established in different global markets.

The oligosaccharide fruits and sucrose were added to the açai juice of the Euterpe oleracea species to evaluate the fermentation process of Lacticaseibacillus casei in organic acids, anthocyanins, polyphenolic compounds and antioxidant activity. The authors suggest that the inclusion of probiotic microorganisms and prebiotic oligosaccharide fruit increased the content of bioactive compounds during the shelf life of the juice, which makes açai juice a viable matrix for symbiotic food (Freitas et al., 2021).

Daurimar Pinheiro Leão, Ivan de Jesus Ferreira, Ozanildo Vilaça do Nascimento, Vinicius Cavalcanti, Pedro Henrique Campelo, Cíntia Mara Costa de Oliveira– **Bioproducts of Açaí (*Euterpe spp*): a review study on the composition and applications (Amazon, Brazil)**

---

## 5. CONCLUSIONS

A substantial number of studies have shown that the energy components present in *Euterpe spp.*, have come to be used by the pharmaceutical, cosmetic and food industries, due to the wide approach involved in subsidies for actions aimed at human health.

We assume that açaí, as a fruit rich in anthocyanins, can play a beneficial role in preventing or controlling oxidative damage and neurodegenerative diseases. However, the bioavailability of the main compounds of *Euterpe spp.* must be considered for new approaches and innovations. In this perspective, instruments with sophisticated configurations still need to be designed.

## ACKNOWLEDGEMENTS

The authors say thanks to the State University of Amazonas, Federal University of Amazonas and Postgraduate Program in Biodiversity and Biotechnology of Rede Bionorte.

Daurimar Pinheiro Leão, Ivan de Jesus Ferreira, Ozanildo Vilaça do Nascimento, Vinicius Cavalcanti, Pedro Henrique Campelo, Cíntia Mara Costa de Oliveira– **Bioproducts of Açaí (*Euterpe spp*): a review study on the composition and applications (Amazon, Brazil)**

---

## REFERENCES

1. Alegre, P., Mathias, L., Lourenço, M. A., Santos, P. P. D., Gonçalves, A., Fernandes, A. A., ... & Polegato, B. F. (2020). *Euterpe Oleracea* Mart.(Açaí) Reduz o estresse oxidativo e melhora o metabolismo energético da lesão de isquemia-reperfusão miocárdica em ratos. *Arquivos Brasileiros de Cardiologia*, 114(1), 78-86.
2. Barbosa, P. O., Pala, D., Silva, C. T., de Souza, M. O., do Amaral, J. F., Vieira, R. A. L., ... & de Freitas, R. N. (2016). Açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) pulp dietary intake improves cellular antioxidant enzymes and biomarkers of serum in healthy women. *Nutrition*, 32(6), 674-680.
3. Bastos, I. D. S. (2015). Avaliação da atividade antibacteriana, antifúngica e antimalárico de extratos, frações e composto obtidos de plantas da Região Amazônica.
4. Belda-Galbis, C. M., Jiménez-Carretón, A., ... & Rodrigo, D. (2015). Antimicrobial activity of açaí against *Listeria innocua*. *Food Control*, 53, 212-216.
5. Bernaud, F. S. R., & Funchal, C.D.S. (2011). Atividade antioxidante do açaí. *Nutrição Brasil*. 10 (5), 310-316.
6. Boeira, L. S., Freitas, P. H. B., Uchôa, N. R., Bezerra, J. A., Cád, S. V., Junior, S. D., ... & Maciel, L. R. (2020). Chemical and sensorial characterization of a novel alcoholic beverage produced with native acai (*Euterpe precatoria*) from different regions of the Amazonas state. *LWT*, 117, 108632.
7. Bourdy, Geneviève et al. (2000). Uso de plantas medicinais dos Tacana, um grupo étnico boliviano da Amazônia. *Jornal de etnofarmacologia*, 70 (2), 87-109.
8. Carey, A. N., Miller, M. G.,... & Shukitt-Hale, B. (2017). Dietary supplementation with the polyphenol-rich açaí pulps (*Euterpe oleracea* Mart. and *Euterpe precatoria* Mart.) improves cognition in aged rats and attenuates inflammatory signaling in BV-2 microglial cells. *Nutritional neuroscience*, 20(4), 238-245.
9. Campos, Marina Thereza; Ehringhaus, Christiane. (2003). As virtudes das plantas estão aos olhos dos observadores: uma comparação dos usos conhecidos das palmeiras entre as comunidades indígenas e folclóricas do sudoeste da Amazônia. *Botânica Econômica*, 57(3), 324.
10. Carvalho, A. V., Ferreira Ferreira da Silveira, T., Mattietto, R. D. A., Padilha de Oliveira, M. D. S., & Godoy, H. T. (2017). Chemical composition and antioxidant capacity of açaí (*Euterpe oleracea*) genotypes and commercial pulps. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(5), 1467-1474.
11. Carvalho-Peixoto, J., Moura, M. R. L.,... & Farinatti, P. D. T. V. (2015). Consumption of açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) functional beverage reduces muscle stress and improves effort tolerance in elite athletes: a randomized controlled intervention study. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 40(7), 725-733.

Daurimar Pinheiro Leão, Ivan de Jesus Ferreira, Ozanildo Vilaça do Nascimento, Vinicius Cavalcanti, Pedro Henrique Campelo, Cíntia Mara Costa de Oliveira– **Bioproducts of Açaí (*Euterpe spp*): a review study on the composition and applications (Amazon, Brazil)**

---

12. Cedrim, P. C. A. S., Barros, E. M. A. & Nascimento, T. G. D. (2018). Propriedades antioxidantes do açaí (*Euterpe oleracea*) na síndrome metabólica. *Brazilian Journal of Food Technology*, 21.
13. Chaves, J.M.; Pechnik, E. (1948). Assai, one of the basic foods of the Amazon. *Proceedings of the 4th Congress of the Brazilian Chemistry Association*, 169-172.
14. Coelho, D. B., Zirlis, C., de Toledo, G. C., Tosi, N. V., & Fonseca, R. N. *Cadeia Global de Valor Açaí*.
15. Costa Silva, M. G. C. P., Martini, A. M. Z., & de Araújo Q. R. (2009). Estrutura populacional de *Euterpe edulis* Mart. no Sul da Bahia, Brasil. *Revista Brasil. Bot.*, V.32, n.2, p.393-403.
16. Cruz, I. A., Mendes, R. R., Gomes, J. H., Silva, A. M. O., Souza, R. F., & Oliveira, A. S. (2019). Efeitos da suplementação crônica de açaí sobre danos musculares em corredores de rua. *Journal of Physical Education*, 30.
17. da Silva, S. E. L., Souza, A., & Berni, R. F. (2005). O cultivo do açaizeiro. *Embrapa Amazônia Ocidental-Comunicado Técnico (INFOTECA-E)*.
18. da Silva Santos, V.,... & Barbosa Jr, F. (2014). Açaí (*Euterpe oleracea* Mart.): a tropical fruit with high levels of essential minerals -especially manganese-and its contribution as a source of natural mineral supplementation. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A*, 77(1-3), 80-89.
19. Deharo, E., Baelmans, R., Gimenez, A., Quenevo, C., & Bourdy, G. (2004). In vitro immunomodulatory activity of plants used by the Tacana ethnic group in Bolivia. *Phytomedicine*, 11(6), 516-522.
20. de Lima, A. C. P., Bastos, D. L. R.,... & Gutarra, M. L. E. (2019). Physicochemical characterization of residual biomass (seed and fiber) from açaí (*Euterpe oleracea*) processing and assessment of the potential for energy production and bioproducts. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 1-11.
21. de Moura, R. S., & Resende, Â. C. (2016). Cardiovascular and metabolic effects of açaí, an Amazon plant. *Journal of Cardiovascular Pharmacology*, 68(1), 19-26.
22. de Moura Rocha, S. M. B. (2015). Benefícios funcionais do açaí na prevenção de doenças cardiovasculares. *Journal of Amazon Health Science (Revista de Ciências da Saúde na Amazônia)*, 1(1), 1-10.
23. de Souza Pereira, D. C., da Rocha Campos, A. N., Martins, M. L., & Martins, E. M. F. (2017). *Frutos da Palmeira-Juçara: Contextualização, Tecnologia e Processamento*.
24. Dias-Souza, M. V., Dos Santos, R. M., Cerávolo, I. P., Cosenza, G., & Marçal, P. H. F. (2018). *Euterpe oleracea* pulp extract: Chemical analyses, antibiofilm activity against *Staphylococcus aureus*, cytotoxicity and interference on the activity of antimicrobial drugs. *Microbial pathogenesis*, 114, 29-35.

Daurimar Pinheiro Leão, Ivan de Jesus Ferreira, Ozanildo Vilaça do Nascimento, Vinicius Cavalcanti, Pedro Henrique Campelo, Cíntia Mara Costa de Oliveira— **Bioproducts of Açaí (*Euterpe spp*): a review study on the composition and applications (Amazon, Brazil)**

---

25. Fantini, A. P. (2017). The Effects of Acai (*Euterpe Oleracea* Mart) On Delayed Muscle Soreness (Doms) In Collegiate Male Athletes and Non-Athletes (Doctoral dissertation, Kent State University).
26. Freitas, E. C. D. (2018). Suplementação de açaí em ciclistas: efeitos sobre marcadores inflamatórios, oxidativos e capacidade aeróbia.
27. Freitas, H. V., Dos Santos Filho, A. L., Rodrigues, S.,... & Pereira, A. L. F. (2021). Synbiotic açaí juice (*Euterpe oleracea*) containing sucralose as noncaloric sweetener: Processing optimization, bioactive compounds, and acceptance during storage. *Journal of Food Science*.
28. Galotta, A. L. Q. D. A., & Boaventura, M. A. D. (2005). Constituintes químicos da raiz e do talo da folha do açaí (*Euterpe precatoria* Mart., *Arecaceae*). *Química Nova*, 28(4), 610-613.
29. Gan, David et al. (2018). Compositions comprising kakadu plum extract or acai berry extract. U.S. Patent Application n. 10/130,673 B2.
30. Heinrich, M., Dhanji, T., & Casselman, I. (2011). Açaí (*Euterpe oleracea* Mart.)—A phytochemical and pharmacological assessment of the species' health claims. *Phytochemistry Letters*, 4(1), 10-21.
31. Homma, A. K. O. (2001). O desenvolvimento da agroindústria no estado do Pará. Embrapa Amazônia Oriental-Artigo em periódico indexado (ALICE).
32. INBIOVERITAS. *Euterpe edulis* Martius. Available in: <<http://www.inbioveritas.net/index.php?Auswahl=http://www.palmito-info.net>>. Accessed in January. 2021.
33. Jensen, J. F., Kvist, L. P., & Christensen, S. B. (2002). An Antiplasmodial Lignan from *Euterpe p recatoria*. *Journal of natural products*, 65(12), 1915-1917.
34. Jensen, G. S., Wu, X.,... & Schauss, A. G. (2008). In vitro and in vivo antioxidant and anti-inflammatory capacities of an antioxidant-rich fruit and berry juice blend. Results of a pilot and randomized, double-blinded, placebo-controlled, crossover study. *Journal of agricultural and food chemistry*, 56(18), 8326-8333.
35. Kang, J., Thakali, K. M., Xie, C., Kondo, M., Tong, Y., Ou, B., ... & Wu, X. (2012). Bioactivities of açaí (*Euterpe precatoria* Mart.) fruit pulp, superior antioxidant and anti-inflammatory properties to *Euterpe oleracea* Mart. *Food Chemistry*, 133(3), 671-677.
36. K uchmeister, H., Silberbauer-Gottsberger, I., & Gottsberger, G. (1997). Flowering, pollination, nectar standing crop, and nectaries of *Euterpe precatoria* (*Arecaceae*), an Amazonian rain forest palm. *Plant Systematics and Evolution*, 206(1), 71-97.

Daurimar Pinheiro Leão, Ivan de Jesus Ferreira, Ozanildo Vilaça do Nascimento, Vinicius Cavalcanti, Pedro Henrique Campelo, Cíntia Mara Costa de Oliveira– **Bioproducts of Açaí (*Euterpe spp*): a review study on the composition and applications (Amazon, Brazil)**

---

37. Mantovani, A.; & Morellato P. (2000). Fenologia da floração, frutificação, mudança foliar e aspectos de biologia floral. In *Euterpe edulis* Martius-(palmitero)-Biologia, Conservação e Manejo. Herbário Barbosa Rodrigues, Itajaí, 23-38.
38. Maria do Socorro, M. R., Alves, R. E., Pérez-Jiménez, J.,... & Mancini-Filho, J. (2010). Bioactive compounds and antioxidant capacities of 18 non-traditional tropical fruits from Brazil. *Food chemistry*, 121(4), 996-1002.
39. Martinot, J. F. (2013). Manejo agro-extrativista do açaí-da-mata na Amazônia Central. (Doctoral dissertation, Federal University of Amazonas).
40. Martinot, J. F., Pereira, H. D. S., & Silva, S. C. P. D. (2017). Coletar ou Cultivar: as escolhas dos produtores de açaí-da-mata (*Euterpe precatoria*) do Amazonas. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, 55(4), 751-766.
41. Matos, C. B. E., Sampaio, P.,... & Hodges, D. G. (2017). Economic profile of two species of Genus der *Euterpe*, producers of açaí fruits, from the Pará and Amazonas States-Brazil. *International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology*, 2(4), 238858.
42. Matos, R. S.; Lopes, G.A. C.; Ferreira, N. S. Pinto, E. P.,... & Zamora, Robert R. M. (2018). Superficial Characterization of Kefir Biofilms Associated with Açaí and Cupuaçu Extracts. *Arabian Journal for Science and Engineering*. 43:3371–3379.
43. Melo, P. S., Selani, M. M.,... & de Alencar, S. M. (2021). Açaí seeds: An unexplored agro-industrial residue as a potential source of lipids, fibers, and antioxidant phenolic compounds. *Industrial Crops and Products*, 161, 113204.
44. MINTEL GROUP Ltd. (2016). Monitoring new product trends and innovations. Global new products database – GNPD. Available in: . Accessed in January. 2021.
45. Monteiro, A. F., Miguez, I. S., Silva, J. P. R. B., & da Silva, A. S. A. (2019). High concentration and yield production of mannose from açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) seeds via mannanase-catalyzed hydrolysis. *Scientific reports*, 9(1), 1-12.
46. Moura, R. S.; Resende, A. C. Cardiovascular and metabolic effects of açaí, an Amazon plant. *Journal of Cardiovascular Pharmacology*, v. 68, n. 1, p. 19-26, Jul., 2016.
47. Moraes, R. D. P. G. (2018). A cadeia de valor de bioprodutos do Amazonas: a contribuição do estudo de tecnologias de processo.
48. Oyama, L. M., Silva, F. P. D., Carnier, J.,... & De Rosso, V. V. (2016). Juçara pulp supplementation improves glucose tolerance in mice. *Diabetology & metabolic syndrome*, 8(1), 1-8.
49. Pagliarussi, M. S. (2010). A cadeia produtiva agroindustrial do açaí: estudo da cadeia e proposta de um modelo matemático (Doctoral dissertation, University of Sao Paulo).

Daurimar Pinheiro Leão, Ivan de Jesus Ferreira, Ozanildo Vilaça do Nascimento, Vinicius Cavalcanti, Pedro Henrique Campelo, Cíntia Mara Costa de Oliveira– **Bioproducts of Açaí (*Euterpe spp*): a review study on the composition and applications (Amazon, Brazil)**

---

50. Pacheco-Palencia, L. A., Duncan, C. E., & Talcott, S. T. (2009). Phytochemical composition and thermal stability of two commercial açai species, *Euterpe oleracea* and *Euterpe precatoria*. *Food chemistry*, 115(4), 1199-1205.
51. Parente, V. M. (Coord.). 2003. Projeto potencialidades regionais estudo de viabilidade econômica – açai. Manaus/AM: Superintendência da Zona Franca de Manaus (SUFRAMA) e Instituto Superior de Administração e Economia ISAE/Fundação Getúlio Vargas (FGV), v.1, 58p.
52. Peixoto, J. C. (2014). Desenvolvimento de bebida funcional à base de açai liofilizado para o controle do estresse muscular e oxidativo e atenuação de indicadores cardiorrespiratórios e de percepção de esforço em atletas (Doctoral dissertation, Tese (Doutorado em Ciências Farmacêuticas), Universidade Federal do Rio de Janeiro).
53. Peixoto, H., Roxo, M., Krstin, S., Wang, X., & Wink, M. (2016). Anthocyanin-rich extract of Acai (*Euterpe precatoria* Mart.) mediates neuroprotective activities in *Caenorhabditis elegans*. *Journal of Functional Foods*, 26, 385-393.
54. Pinto, F. R. (2018). Análise produtiva de sistemas agroextrativistas de Açai-da-mata (*Euterpe precatoria* Mart.) na Amazônia central.
55. Poulouse, S. M., Fisher, D. R., Bielinski, D. F., Gomes, S. M., Rimando, A. M., Schauss, A. G., & Shukitt-Hale, B. (2014). Restoration of stressor-induced calcium dysregulation and autophagy inhibition by polyphenol-rich açai (*Euterpe spp.*) fruit pulp extracts in rodent brain cells in vitro. *Nutrition*, 30(7-8), 853-862.
56. SILVA, Renata R. P. Efeito protetor do açai (*Euterpe oleracea* Mart.) na doença hepática gordurosa não alcoólica mediado pelo aumento dos níveis de paraoxonase1 e redução da oxidação de LDL em ratos. 2017. 119 f. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas), Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2017.
57. Prance, G. T.; Silva, M.F. (1975). Árvores de Manaus. Manaus, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, 312p.
58. IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. PAM-Produção Agrícola Municipal, 2019, Rio de Janeiro, v. 46, p.1-8, 2019. Disponível na internet via <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/pam/2019/default.shtm>. Acesso em abril de 2021.
59. Rabelo, C. A., Taarji, N., Khalid, N., ... & Neves, M. A. (2018). Formulation and characterization of water-in-oil nanoemulsions loaded with acai berry anthocyanins: Insights of degradation kinetics and stability evaluation of anthocyanins and nanoemulsions. *Food research international*, 106, 542-548.

Daurimar Pinheiro Leão, Ivan de Jesus Ferreira, Ozanildo Vilaça do Nascimento, Vinicius Cavalcanti, Pedro Henrique Campelo, Cíntia Mara Costa de Oliveira– **Bioproducts of Açaí (*Euterpe spp*): a review study on the composition and applications (Amazon, Brazil)**

---

60. Ribeiro, F. R. (2016). História e Memória: leituras sobre o trabalho com o açaí e suas transformações (Doctoral dissertation, Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós Graduação em História Social da Amazônia da Universidade Federal do Pará. Belém Pará).
61. Rojas, R., Bustamante, B.,... & Lock, O. (2003). Antimicrobial activity of selected Peruvian medicinal plants. *Journal of ethnopharmacology*, 88(2-3), 199-204.
62. Sadowska-Krępa, E., Kłapcińska, B., Podgórski, T., Szade, B., Tyl, K., & Hadzik, A. (2015). Effects of supplementation with acai (*Euterpe oleracea* Mart.) berry-based juice blend on the blood antioxidant defence capacity and lipid profile in junior hurdlers. A pilot study. *Biology of sport*, 32(2), 161.
64. Schauss, A. G., Clewell, A., Balogh, L., Szakonyi, I. P., Financsek, I., Horváth, J., ... & Hirka, G. (2010). Safety evaluation of an açaí-fortified fruit and berry functional juice beverage (MonaVie Active®). *Toxicology*, 278(1), 46-54.
65. Schauss, A. G. (2015). The effect of açaí (*Euterpe spp.*) Fruit pulp on brain health and performance. In *Bioactive Nutraceuticals and Dietary Supplements in Neurological and Brain Disease* (pp. 179-186). Academic Press.
66. Schulz, M., Borges, G. D. S. C., Gonzaga, L. V., Costa, A. C. O., & Fett, R. (2016). Juçara fruit (*Euterpe edulis* Mart.): Sustainable exploitation of a source of bioactive compounds. *Food Research International*, 89, 14-26.
67. Silva, R. R. P. (2017). Efeito protetor do açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) na doença hepática gordurosa não alcoólica mediado pelo aumento dos níveis de paraoxonase1 e redução da oxidação de LDL em ratos.
68. Souza, S. I. B. M. T. (2018). Suplementação de açaí em ciclistas: efeitos sobre marcadores inflamatórios, oxidativos e capacidade aeróbia.
69. Tateno, M. C. N. (2001). Exportação do açaí sob forma de bebida natural e energética: apontando o mercado Alemão.[monografia]. Belém (PA): Centro de Ensino Superior do Pará.
70. Tavares, F. F. D. C., Almeida, M. D. C. D., ... & Santana, R. M. C. (2020). Thermal treatment of açaí (*Euterpe oleracea*) fiber for composite reinforcement. *Polímeros*, 30(1), 1-9.
71. Viana, D. S., Carvalho, L. M. J. D., Moura, M. R. L., Peixoto, J. C., & Carvalho, J. L. V. D. (2017). Biochemical assessment of oxidative stress by the use of açaí (*Euterpe oleracea* Martius) gel in physically active individuals. *Food Science and Technology*, 37(1), 90-96.
72. Yamaguchi, K. K. de Lima, Pereira, L. F. R., Lamarão, C. V., Lima, E. S., & VeigaJunior, V. F. (2015). Amazon açaí: chemistry and biological activities: a review. *Food chemistry*, 179, 137-151.