

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ  
CAMPUS DE MARECHAL CÂNDIDO RONDON**

**NOÉLLE KHRISTINNE CORDEIRO**

**POLPAS DE AÇAÍ E JUÇARA: BIOACESSIBILIDADE DE COMPOSTOS  
ANTIOXIDANTES, ATIVIDADE CITOTÓXICA E QUALIDADE NUTRICIONAL DE  
POLPAS “IN NATURA” E PROCESSADAS**

**MARECHAL CÂNDIDO RONDON - PARANÁ**

**2024**

**NOÉLLE KHRISTINNE CORDEIRO**

**POLPAS DE AÇAÍ E JUÇARA: BIOACESSIBILIDADE DE COMPOSTOS  
ANTIOXIDANTES, ATIVIDADE CITOTÓXICA E QUALIDADE NUTRICIONAL DE  
POLPAS “IN NATURA” E PROCESSADAS**

Tese (doutorado) apresentada à  
Universidade Estadual do Oeste do  
Paraná, como parte das exigências do  
Programa de Pós-Graduação em  
Agronomia, para obtenção do título de  
*Doctor Scientiae*.

Orientador: Dr. Gilberto Costa Braga

**MARECHAL CÂNDIDO RONDON - PARANÁ**

**2024**

Ficha de identificação da obra elaborada através do Formulário de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da Unioeste.

Cordeiro, Noéle Khristinne

Polpas de açaí e juçara: bioacessibilidade de compostos antioxidantes, atividade citotóxica e qualidade nutricional de polpas "in natura" e processadas / Noéle Khristinne Cordeiro; orientador Gilberto Costa Braga. -- Marechal Cândido Rondon, 2024.

81 p.

Tese (Doutorado Campus de Marechal Cândido Rondon) -- Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2024.

1. Ciências agrárias. 2. Tecnologia de alimentos. 3. Compostos antioxidantes. 4. Açaí e juçara. I. Costa Braga, Gilberto, orient. II. Título.



**unioeste**

Universidade Estadual do Oeste do Paraná

Campus de Marechal Cândido Rondon - CNPJ 78680337/0003-46

Rua Pernambuco, 1777 - Centro - Cx. P. 91 - <http://www.unioeste.br>

Fone: (45) 3284-7878 - Fax: (45) 3284-7879 - CEP 85960-000

Marechal Cândido Rondon - PR.



## NOÉLLE KHRISTINNE CORDEIRO

Polpas de açaí e juçara: bioacessibilidade de compostos antioxidantes, atividade citotóxica e qualidade nutricional de polpas "in natura" e processadas

Tese apresentada à distância, de forma síncrona e por videoconferência, ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Doutora em Agronomia, área de concentração Produção Vegetal, linha de pesquisa Sistemas de Produção Vegetal Sustentáveis, APROVADA pela seguinte banca examinadora:

  
Orientador - Gilberto Costa Braga

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Marechal Cândido Rondon (UNIOESTE)

Fabíola Villa

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Marechal Cândido Rondon (UNIOESTE)

José Renato Stangarlin

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Marechal Cândido Rondon (UNIOESTE)

Severino Matias de Alencar

Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESALQ)

Amauri Siviero

Universidade Federal do Acre (UFAC)

  
Vander Francisco Guimarães  
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Agronomia

Marechal Cândido Rondon, 17 de maio de 2024

*Àqueles que estão comigo desde o início,  
Mãe, Pai e Irmão,  
Dedico.*

## **BREVE BIOGRAFIA**

Nasci no dia 24 de março de 1994, e criada na pequena cidade de Ouro Verde do Oeste – PR. Sou bacharel em Ciências Biológicas pela Pontifícia Universidade Católica do Paraná – PUCPR, *Campus* Toledo - PR, onde tive a oportunidade de atuar na área de arborização urbana de vias urbanas e fisiologia vegetal. Ingressei no curso de Mestrado em Agronomia do Programa de Pós-Graduação em Agronomia-PPGA da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, *Campus* Marechal Cândido Rondon – PR, onde pude me aprofundar na área de conhecimento em tecnologia e fisiologia pós-colheita de produtos vegetais, defendendo minha dissertação no dia 03 de março de 2020. Logo depois ingressei no curso de Doutorado em Agronomia no PPGA seguindo a mesma área de conhecimento.

## **AGRADECIMENTOS**

Quero agradecer a minha família, em especial, minha mãe Cristina, meu pai José, meu irmão Renan e meu companheiro de vida, Diogo Mattiello, que não cessaram esforços para que eu chegasse até aqui.

Agradeço ao meu orientador, Dr. Gilberto Costa Braga, pela confiança, pela dedicação e pelos conhecimentos compartilhados.

Agradeço a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa de estudos ofertada, a Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE) e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia (PPGA), por proporcionar que a execução dos estudos que envolveram o desenvolvimento desta tese.

Agradeço aos parceiros deste estudo, Eng. Agrônomo Dr. Amauri Siviero, Eng. Agrônomo MsC Roberto Ulises Resende e Eng<sup>a</sup> Florestal Ana Paula Dias Costa, que não mediram esforços para enviarem as amostras experimentais utilizadas nesta pesquisa diretamente dos estados do Acre, São Paulo e Pará, respectivamente.

Agradeço ao professor Dr. Severino Matias Alencar (ESALQ/USP), que gentilmente cedeu seu laboratório, insumos e equipe técnica para que parte das análises contidas neste trabalho fossem realizadas. Agradeço de forma especial a orientada de doutorado do professor Severino, Ana Sofia Martelli Chaib Saliba, que me guiou e auxiliou em todas as análises realizadas ao decorrer de minha estada em Piracicaba - SP.

Agradeço a Ana Carolina Pinguelli Ristau, Maria Eunice Lima Rocha, Daniel Fernandes da Silva, Emerson Gasparotto, Karlene Fernandes de Almeida, Luane Laíse Oliveira Ribeiro e demais colegas que contribuíram para a realização das análises experimentais e realizadas na Unioeste.

Agradeço aos meus amigos Jaqueline de Araújo Barbosa, Juliana Fischer, Milena Hissaruma Dias, Geovana Carolina de Lima, Brenda Pickler, Thais Salamanca e Douglas Zorzo, que sempre estiveram presentes nos momentos de dificuldade para prestar uma palavra de incentivo e consolo.

*“Um trabalho te dá um propósito e um significado. A vida é vazia sem ambos.”  
Stephen Hawking*



## RESUMO

CORDEIRO, Noéle Khristinne, M. S., Universidade Estadual do Oeste do Paraná, maio de 2024. **Polpas de açaí e juçara: bioacessibilidade de compostos antioxidantes, atividade citotóxica e qualidade nutricional de polpas “in natura” e processadas.** Orientador: Dr. Gilberto Costa Braga.

Açaí (*Euterpe oleracea* e *E. precatoria*) e juçara (*E. edulis*) são frutos reconhecidos por seu elevado valor nutricional e energético. A bioacessibilidade dos compostos bioativos presentes nesses frutos, bem como sua ação antiproliferativa, pode revelar diferenças significativas entre as espécies. Além disso, a crescente demanda por produtos à base de açaí tem impulsionado sua industrialização, o que pode levar a redução de seu valor nutritivo e funcional. O objetivo desta pesquisa foi determinar a bioacessibilidade de compostos antioxidantes das polpas dos frutos de açaí e juçara, avaliar seus efeitos citotóxicos contra células de adenocarcinoma do cólon humano (Caco-2) e avaliar características físico-química e nutricionais de polpas *in natura* e produtos industriais de açaí. Três estudos foram realizados, sendo: I) bioacessibilidade com base em compostos fenólicos, antocianinas e atividade antioxidante das polpas de *E. oleracea*, *E. precatoria* e *E. edulis*, e a citotoxicidade das polpas contra células Caco-2; II) caracterização proximal e mineral (potássio, cálcio e magnésio) e determinação dos teores de ácido ascórbico, acidez total titulável (ATT), sólidos solúveis (SS) e relação SS/ATT das polpas das três espécies; e III) análise comparativa dos minerais potássio, cálcio e magnésio, SS, matéria seca, compostos fenólicos, antocianinas e atividade antioxidante entre polpas *in natura* e processadas de açaí (sorvetes). Os resultados mostraram que as polpas digeridas *in vitro* apresentaram maior bioacessibilidade de compostos bioativos, especialmente na polpa de *E. precatoria* em relação as polpas de *E. edulis* e *E. oleracea*. Maiores efeitos citotóxicos sobre células Caco-2 foram verificados nas polpas bioacessíveis de *E. edulis* e *E. precatoria* em relação a *E. oleracea*. Na caracterização proximal, a polpa de *E. edulis* apresentou maiores teores de cinzas, proteína e carboidratos. *E. oleracea* apresentou os maiores teores de lipídeos e *E. precatoria*, os maiores teores de fibras. *E. edulis* também deteve maior conteúdo de ácido ascórbico e maior acidez total. *E. oleracea* mostrou maior teor de potássio, cálcio e magnésio, e *E. precatoria* apresentou o maior conteúdo de sólidos solúveis e maior relação SS/ATT. Maiores teores de potássio, cálcio, magnésio, compostos fenólicos e maior atividade antioxidante foram encontrados nas polpas *in natura*, enquanto as polpas

processadas mostraram maior conteúdo de sólidos solúveis e matéria seca. Estes resultados mostram que a polpa de *E. precatoria* possui o maior potencial bioativo entre as espécies estudadas, e que seu efeito antiproliferativo contra células Caco-2 foi similar aos frutos de *E. edulis*. A polpa de *E. edulis*, juçara, apresentou níveis mais elevados para a maioria das variáveis físico-químicas e nutricionais analisadas, evidenciando seu potencial nutricional comparável ou superior ao açaí. A adição de ingredientes e aditivos alimentares na polpa de açaí diminui sua composição nutricional e antioxidante, pois levam a reduções significativas dos teores minerais e bioativos.

Palavras-chave: *Euterpe edulis*, *E. oleracea*, *E. precatoria*, digestão gastrointestinal *in vitro*, açaí industrializado.

## ABSTRACT

CORDEIRO, Noëlle Khristinne, M. S., Universidade Estadual do Oeste do Paraná, in May 2024. **Açaí and juçara pulps: bioaccessibility of antioxidant compounds, cytotoxic activity and nutritional quality of in natura and processed pulps.** Advisor: Dr. Gilberto Costa Braga.

Açaí (*Euterpe oleracea* and *E. precatoria*) and juçara (*E. edulis*) are fruits recognized for their high nutritional and energy value. The bioaccessibility of the bioactive compounds present in these fruits, as well as their antiproliferative action, can reveal significant differences between species. Furthermore, the growing demand for açaí-based products has driven its industrialization, which can lead to a reduction in its nutritional and functional value. The objective of this research was to determine the bioaccessibility of antioxidant compounds from açaí and juçara fruit pulps, evaluate their cytotoxic effects against human colon adenocarcinoma cells (Caco-2) and evaluate physicochemical and nutritional characteristics of in natura pulps and products. açaí industries. Three studies were carried out, namely: I) bioaccessibility based on phenolic compounds, anthocyanins and antioxidant activity of the pulps of *E. oleracea*, *E. precatoria* and *E. edulis*, and the cytotoxicity of the pulps against Caco-2 cells; II) proximal and mineral characterization (potassium, calcium and magnesium) and determination of ascorbic acid content, total titratable acidity (TTA), soluble solids (SS) and SS/TTA ratio of the pulps of the three species; and III) comparative analysis of the minerals potassium, calcium and magnesium, SS, dry matter, phenolic

compounds, anthocyanins and antioxidant activity between in natura and processed açai pulps (ice cream). The results showed that the pulps digested in vitro presented greater bioaccessibility of bioactive compounds, especially in the pulp of *E. precatoria* in relation to the pulps of *E. edulis* and *E. oleracea*. Greater cytotoxic effects on Caco-2 cells were observed in the bioaccessible pulps of *E. edulis* and *E. precatoria* in relation to *E. oleracea*. In the proximal characterization, the *E. edulis* pulp showed higher ash, protein and carbohydrate contents. *E. oleracea* presented the highest lipid contents and *E. precatoria*, the highest fiber contents. *E. edulis* also had higher ascorbic acid content and higher total acidity. *E. oleracea* showed the highest potassium, calcium and magnesium content, and *E. precatoria* showed the highest soluble solids content and the highest SS/TTA ratio. Higher levels of potassium, calcium, magnesium, phenolic compounds and greater antioxidant activity were found in in natura pulps, while processed pulps had a higher content of soluble solids and dry matter. These results show that the pulp of *E. precatoria* has the highest bioactive potential among the species studied, and that its antiproliferative effect against Caco-2 cells was similar to the fruits of *E. edulis*. The pulp of *E. edulis*, juçara, presented higher levels for most of the physical-chemical and nutritional variables analyzed, demonstrating its nutritional potential comparable or superior to açai. The addition of ingredients and food additives to açai pulp reduces its nutritional and antioxidant composition, as they lead to significant reductions of mineral and bioactive contents.

Key-words: *Euterpe edulis*, *E. oleracea*, *E. precatoria*, in vitro gastrointestinal digestion, industrialized açai.

## LISTA DE FIGURAS

### CAPÍTULO I

<b>Figura 1</b> - <i>E. edulis</i> (A), <i>E. precatoria</i> (B) e <i>E. oleracea</i> (C).....	4
--	---

## LISTA DE TABELAS

### CAPÍTULO II

<b>Tabela 1</b> - Compostos fenólicos totais (CFT) das polpas dos frutos de três espécies de <i>Euterpe</i> spp. obtidas a partir do extrato etanólico e da digestão simulada <i>in vitro</i> .....	33
<b>Tabela 2</b> - Antocianinas totais (AT) das polpas dos frutos de três espécies de <i>Euterpe</i> spp. obtidas a partir do extrato etanólico e da digestão simulada <i>in vitro</i> .....	34
<b>Tabela 3</b> - Capacidade de sequestro do radical DPPH das polpas dos frutos de três espécies de <i>Euterpe</i> spp. obtidas a partir do extrato etanólico e da digestão simulada <i>in vitro</i> .....	36
<b>Tabela 4</b> - Capacidade de sequestro do radical peroxila (ORAC) das polpas dos frutos de três espécies de <i>Euterpe</i> spp. obtidas a partir do extrato etanólico e da digestão simulada <i>in vitro</i> .....	38
<b>Tabela 5</b> - Sequestro de peróxido de hidrogênio (H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ) das polpas dos frutos de três espécies de <i>Euterpe</i> spp. obtidas a partir do extrato etanólico e da digestão simulada <i>in vitro</i> .....	39
<b>Tabela 6</b> - Viabilidade de células Caco-2 tratadas com concentrações das polpas dos frutos de três espécies de <i>Euterpe</i> spp. obtidas a partir da digestão simulada <i>in vitro</i> .....	40

### CAPÍTULO III

<b>Tabela 1</b> - Composição proximal de polpas de espécies de <i>Euterpe</i> spp. oriundas de diferentes localidades.....	54
<b>Tabela 2</b> – Ácido ascórbico titulável (AAT), acidez titulável (ATT) e sólidos solúveis (SS) das polpas dos frutos de três espécies de <i>Euterpe</i> spp. ....	56
<b>Tabela 3</b> - Potássio (K), Cálcio (Ca) e Magnésio (Mg) das polpas dos frutos de três espécies de <i>Euterpe</i> spp. ....	58

## CAPÍTULO IV

<b>Tabela 1</b> - Composição das amostras experimentais dos produtos <i>in natura</i> e industriais de açaí .....	67
<b>Tabela 2</b> - Potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) dos produtos <i>in natura</i> e industriais de açaí. ....	71
<b>Tabela 3</b> - Sólidos solúveis (SS) e teor de massa seca (MS) de polpas <i>in natura</i> e produtos industriais de açaí.....	72
<b>Tabela 4</b> - Compostos fenólicos totais (CFT) e antocianinas totais (AT) de polpas <i>in natura</i> e de produtos industriais de açaí. ....	74
<b>Tabela 5</b> - Atividade antioxidante DPPH e ABTS de polpas <i>in natura</i> e produtos industriais de açaí. ....	76

## SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO GERAL.....</b>	<b>1</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>2</b>
<b>2.</b>	<b>CAPÍTULO I: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>4</b>
2.1	ASPECTOS BOTÂNICOS DAS PALMEIRAS AÇAÍ E JUÇARA.....	4
2.2	POLPA DE AÇAÍ: USOS TRADICIONAIS E PROCESSAMENTO .....	6
2.3	COMPOSIÇÃO NUTRICIONAL DAS POLPAS DE AÇAÍ E JUÇARA.....	9
2.4	COMPOSIÇÃO BIOATIVA E ANTIOXIDANTE DAS POLPAS DE AÇAÍ E JUÇARA .....	11
2.5	BIOACESSIBILIDADE DE COMPOSTOS BIOATIVOS EM POLPAS DE AÇAÍ E JUÇARA .....	14
2.6	POTENCIAL CITOTÓXICO DE FITOQUÍMICOS DAS POLPAS DE AÇAÍ E JUÇARA .....	15
2.7	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	17
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>18</b>
<b>3.</b>	<b>CAPÍTULO II: BIOACESSIBILIDADE E CITOTOXICIDADE DE COMPOSTOS ANTIOXIDANTES DE FRUTOS DE AÇAÍ E JUÇARA.....</b>	<b>25</b>
3.1	INTRODUÇÃO.....	26
3.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	28
<b>3.2.1</b>	<b>Preparo do Extrato Etanólico .....</b>	<b>29</b>
<b>3.2.2</b>	<b>Digestão Gastrointestinal Simulada <i>in vitro</i> e Bioacessibilidade .....</b>	<b>29</b>
<b>3.2.3</b>	<b>Compostos Fenólicos Totais (CFT) e Antocianinas Totais (AT) .....</b>	<b>29</b>
<b>3.2.4</b>	<b>Atividade Antioxidante.....</b>	<b>30</b>
3.2.4.1	Sequestro do Radical Livre DPPH.....	30
3.2.4.2	Sequestro do Radical Livre Peroxila (ROO <sup>•</sup> ) – Método ORAC .....	30
3.2.4.3	Sequestro do Peróxido de Hidrogênio (H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ).....	31
<b>3.2.5</b>	<b>Viabilidade de Células Caco-2 (Método MTT).....</b>	<b>31</b>
<b>3.2.6</b>	<b>Análise Estatística .....</b>	<b>32</b>
3.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	32
<b>3.3.1</b>	<b>Bioacessibilidade de Compostos Fenólicos Totais (CFT) a Antocianinas Totais (AT).....</b>	<b>32</b>
<b>3.3.2</b>	<b>Atividade Antioxidante e Bioacessibilidade.....</b>	<b>36</b>
<b>3.3.3</b>	<b>Viabilidade de Células Caco-2 (Método MTT).....</b>	<b>39</b>

3.4	CONCLUSÕES.....	41
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>41</b>
<b>4.</b>	<b>CAPÍTULO III: COMPOSIÇÃO PROXIMAL E NUTRICIONAL DE POLPAS DE AÇAÍ E JUÇARA.....</b>	<b>45</b>
4.1	INTRODUÇÃO.....	46
4.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	48
<b>4.2.1</b>	<b>Composição Proximal .....</b>	<b>48</b>
4.2.1.1	Cinzas (CZ) .....	48
4.2.1.2	Proteína Bruta (PB) .....	49
4.2.1.3	Lipídeos totais (LT).....	50
4.2.1.4	Fibra bruta (FB) .....	51
4.2.1.5	Carboidratos (CB).....	52
<b>4.2.2</b>	<b>Ácido Ascórbico Titulável (AAT), Acidez Total Titulável (ACT), Sólidos Solúveis (SS) e <i>Ratio</i>.....</b>	<b>52</b>
<b>4.2.3</b>	<b>Potássio (K), Cálcio (Ca) e Magnésio (Mg) .....</b>	<b>53</b>
<b>4.2.4</b>	<b>Análise Estatística .....</b>	<b>53</b>
4.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	53
<b>4.3.1</b>	<b>Composição Proximal .....</b>	<b>53</b>
<b>4.3.2</b>	<b>Ácido Ascórbico Titulável (AAT), Acidez Total Titulável (ACT), Sólidos Solúveis (SS) e <i>Ratio</i>.....</b>	<b>55</b>
<b>4.3.3</b>	<b>Potássio (K), Cálcio (Ca) e Magnésio (Mg) .....</b>	<b>57</b>
4.4	CONCLUSÕES.....	59
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>59</b>
<b>5.</b>	<b>CAPÍTULO IV: COMPOSIÇÃO NUTRICIONAL E ANTIOXIDANTE DE POLPAS “IN NATURA” E PRODUTOS INDUSTRIAIS DE AÇAÍ.....</b>	<b>63</b>
5.1	INTRODUÇÃO.....	65
5.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	66
<b>5.2.1</b>	<b>Potássio (K), Cálcio (Ca) e Magnésio (Mg) .....</b>	<b>67</b>
<b>5.2.2</b>	<b>Sólidos Solúveis (SS) e Teor de Matéria Seca (MS) .....</b>	<b>68</b>
<b>5.2.3</b>	<b>Preparo do Extrato Etanólico .....</b>	<b>68</b>
<b>5.2.4</b>	<b>Compostos Fenólicos Totais (CFT) e Antocianinas Totais (AT) .....</b>	<b>68</b>
<b>5.2.5</b>	<b>Atividade Antioxidante.....</b>	<b>69</b>
5.2.3.1	Sequestro do Radical Livre DPPH .....	69

5.2.3.2	Sequestro do Radical Livre ABTS .....	69
<b>5.2.6</b>	<b>Análise Estatística .....</b>	<b>70</b>
5.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	70
<b>5.3.1</b>	<b>Potássio (K), Cálcio (Ca) e Magnésio (Mg) .....</b>	<b>70</b>
<b>5.3.2</b>	<b>Sólidos Solúveis (SS) e Teor de Matéria Seca (MS) .....</b>	<b>72</b>
<b>5.3.3</b>	<b>Compostos Fenólicos Totais (CFT) e Antocianinas Totais (AT) .....</b>	<b>73</b>
<b>5.3.4</b>	<b>Atividade Antioxidante .....</b>	<b>75</b>
5.4	CONCLUSÕES.....	78
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>78</b>
<b>6.</b>	<b>CONCLUSÕES GERAIS.....</b>	<b>81</b>



## 1. INTRODUÇÃO GERAL

*Euterpe oleracea* Martius e *E. precatoria* Martius são espécies nativas de palmeiras encontradas na região Norte do Brasil, conhecidas popularmente como açaí. A polpa extraída de seus frutos assume grande relevância econômica para a região amazônica, especialmente para *E. oleracea*, no estado do Pará (COSTA et al., 2023). O Brasil ostenta a posição de maior produtor, consumidor e exportador de açaí no cenário mundial. Esse destaque se deve, em grande parte, aos esforços das empresas em ampliar o mercado do fruto, investindo em seu cultivo e na qualificação da mão de obra, visando a expansão da cadeia produtiva (BOEIRA et al., 2020).

*E. edulis* Martius, por sua vez, conhecida como juçara, é uma palmeira encontrada nas regiões Sul e Sudeste do Brasil (LORENZI, 2010), com frutos parecidos ao açaí em tamanho, cor e composição. Entretanto, a exploração ilegal de seu palmito no século passado, somado ao desmatamento, resultou em prejuízos à conservação e regeneração natural da juçara. Diante dessa problemática, organizações sem fins lucrativos têm incentivado alternativas de exploração sustentável da espécie, como a utilização da polpa dos seus frutos de forma similar à polpa de açaí (SCHULZ et al., 2016; LEITE et al., 2018).

No campo da nutrição, o consumo de alimentos ricos em polifenóis, como os frutos de *Euterpe* spp., ao qual o açaí e juçara pertencem, está associado a um menor risco de desenvolvimento de doenças. Essa relação se dá pelas propriedades antioxidantes, antitumorais, anti-inflamatórias e cardioprotetoras desses compostos (SILVEIRA et al., 2023; PANSE; GERK, 2022; CEDRIM; BARROS; NASCIMENTO, 2018). Somado a seus benefícios à saúde, a polpa de açaí se destaca por seu alto valor energético, sendo rica em lipídeos, carboidratos e proteínas (CEDRIM; BARROS; NASCIMENTO, 2018). Dentre os compostos bioativos presentes nos frutos de *Euterpe* spp., os compostos fenólicos são aqueles frequentemente mencionados em pesquisas devido seu potencial efeito quimiopreventivo (NASCIMENTO et al., 2022).

A composição nutricional e bioativa dos alimentos, no entanto, não reflete necessariamente a quantidade de compostos que estarão disponíveis para absorção pelo intestino, isto é, que estarão bioacessíveis. Neste sentido, estudos *in vitro* de bioacessibilidade de compostos bioativos presentes nos alimentos tem auxiliado na elucidação do real aproveitamento dos nutrientes e compostos antioxidantes dos

alimentos pelo organismo humano (MINEKUS et al., 2014). Uma vez que uma matriz alimentar é digerida e parte de seus compostos bioativos estão bioacessíveis, estes poderão então estar disponíveis para desempenhar seus efeitos antioxidantes, anti-inflamatórios e antitumorais, por exemplo.

Diante da disseminação dos benefícios da polpa de açaí à saúde e de seu alto valor energético, houve uma crescente procura da polpa em regiões distantes de suas produções, e desta forma, passaram a surgir uma vasta variedade de produtos processados a base de açaí ou como ingrediente adicionado (CARVALHO et al., 2017). Esses produtos, de modo geral, incluem a adição de açúcar, xarope de guaraná, conservantes, dentre outros aditivos que, conseqüentemente, resulta em uma menor quantidade da polpa do açaí, tornando o produto final menos bioativo e menos antioxidante. O principal exemplo disso são os sorvetes processados, que são normalmente comercializados e consumidos.

Este estudo avaliou a bioacessibilidade de compostos antioxidantes e a ação antiproliferativa contra células Caco-2 do câncer de cólon em polpas de *E. edulis*, *E. precatoria* e *E. oleracea*. Comparou-se o potencial das polpas menos difundidas (*E. edulis* e *E. precatoria*) com o açaí tradicional (*E. oleracea*). Também se analisou a composição nutricional e antioxidante de polpas de açaí *in natura* (*E. oleracea*) em comparação aos seus produtos industriais.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BOEIRA, L. S.; FREITAS, P. H. B.; UCHÔA, N. R.; BEZERRA, J. A.; CÁD, S. V.; DUVOISIN JUNIOR, S.; ALBUQUERQUE, P. M.; MAR, J. M.; RAMOS, A. S.; MACHADO, M. B.; MACIEL, L. R. Chemical and sensorial characterization of a novel alcoholic beverage produced with native acai (*Euterpe precatoria*) from different regions of the Amazonas state. **LWT - Food Science and Technology**, v. 117, n. 1, 108632, 2020.

CARVALHO, A. V.; SILVEIRA, T. F.; MATTIETTO, R. A.; OLIVEIRA, M. S. P.; GODOY, H. T. Chemical composition and antioxidant capacity of açaí (*Euterpe oleracea*) genotypes and commercial pulps. **Journal of Science of Food and Agriculture**, v. 97, n. 5, p. 1467-1474, 2017.

CEDRIM, P. C. A. S.; BARROS, E. M. A.; NASCIMENTO, T. G. Propriedades antioxidantes do açaí (*Euterpe oleracea*) na síndrome metabólica. **Brazilian Journal do Food Technology**, v. 21, n. 1, e2017092, 2018.

COSTA, N. C.; QUEIROZ, L. Y.; SANTOS, I. N.; CIMAROSTI, H. I. Neuroprotective potential of the Amazonian fruits *Euterpe oleracea* Mart. and *Paullinia cupana* Kunth. **Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences**, v. 59, n. 1, e22381, 2023.

LEITE, S. T.; ROBERTO, C. D.; SILVA, P. I.; CARVALHO, R. V. Polpa de juçara: fonte de compostos fenólicos, aumento da atividade antioxidante e da viabilidade de bactérias probióticas de iogurte. **Revista Ceres**, v. 65, n. 1, p. 16-23, 2018.

LORENZI, H.; NOBLICK, L.; KAHN, F.; FERREIRA, E. **Flora brasileira: Arecaceae** (palmeiras). 1. ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2010. 368 p.

MINEKUS, M.; ALMINGER, M.; ALVITO, P.; BALANCE, S.; BOHN, T.; BOURLIEU, C.; CARRIÈRE, F.; BOUTROU, R.; CORREDIG, M.; DUPONT, D.; DUFOUR, C.; EGGER, L.; GOLDING, M.; KARAKAYA, S.; KIRKHUS, B.; FEUNTEUN, S. L.; LESMES, U.; MACIERZANKA, A.; MACKIE, A.; MARZE, S.; MCCLEMENTS, D. J.; MÉNARD, O.; RECIO, I.; SANTOS, C. N.; SINGH, R. P.; VEGARUD, G. E.; WICKHAM, M. S. J.; WEITSCHIES, W.; BRODKORB, A. A standardised static in vitro digestion method suitable for food - an international consensus. **Food & Function**, v. 5, n. 1, p. 1113-1124, 2014.

NASCIMENTO, R. P.; REGUENGO, L. M.; MACHADO, A. P. F.; MORASTICA JUNIOR, M. R. The preventive and therapeutic potential of native Brazilian fruits on colorectal cancer. **Food Bioscience**, v. 46, n. 1, 101539, 2022.

PANSE, N.; GERK, P. M. The Caco-2 model: modifications and enhancements to improve efficiency and predictive performance. **International Journal of Pharmaceutics**, v. 624, n. 1, 122004, 2022.

SCHULZ, M.; BORGES, G. S. C.; GONZAGA, V.; COSTA, A. C. O.; FETT, R. Juçara fruit (*Euterpe edulis* Mart.): sustainable exploitation of a source of bioactive compounds. **Food Research International**, v. 89, n. 1, p. 14-26, 2016.

SILVEIRA, J. T.; ROSA, A. P. C.; MORAIS, M. G.; VICTORIA, F. N.; COSTA, J. A. V. An integrative review of Açaí (*Euterpe oleracea* and *Euterpe precatória*): traditional uses, phytochemical composition, market trends, and emerging applications. **Food Research International**, v. 173, n. 1, 113304, 2023.

## 2. CAPÍTULO I: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 ASPECTOS BOTÂNICOS DAS PALMEIRAS AÇAÍ E JUÇARA

O gênero *Euterpe* possui cerca de 28 espécies distribuídas, principalmente, em regiões de florestas tropicais, sendo encontradas cinco espécies no Brasil (*Euterpe edulis*, *E. oleracea*, *E. precatoria*, *E. catinga* e *E. longibracteata*). Dentre essas espécies, as mais encontradas no Brasil são *E. edulis*, *E. oleracea* e *E. precatoria*. Apesar de apresentarem diversas semelhanças, as três palmeiras têm características diferentes. *E. oleracea* é multicaule, já *E. precatoria* e *E. edulis* são palmeiras de caule único, conforme Figura 1 (LORENZI, 2010).



**Figura 1** - *E. edulis* (A), *E. precatoria* (B) e *E. oleracea* (C).  
Fonte: Lorenzi, 2010.

As espécies conhecidas como açazeiros, *E. oleracea* e *E. precatoria*, pertencentes a Família Arecaceae e Ordem Arecales, são nativas do bioma da Amazônia (LORENZI et al., 2010; BOEIRA et al., 2020). *E. oleracea* tem seu centro de dispersão natural no Estado do Pará, podendo ser encontrando nos Estados do Maranhão, Tocantins e Amapá, e em países como Colômbia, Equador, Guiana, Suriname, Venezuela e Panamá. A espécie *E. precatoria* é nativa do Estado do Amazonas, encontrada em países como Colômbia, Venezuela, Guiana, Equador,

Peru e Bolívia, devido, principalmente, às condições climáticas favoráveis presentes nestes países, como altas temperaturas, grande volume de chuva e alta umidade relativa do ar (SILVA et al., 2019; SCHULZ et al., 2016).

A palmeira *E. oleracea* é encontrada, principalmente, em terrenos de várzea e igapó, com período de frutificação que pode ocorrer durante o ano todo, porém, os frutos com maturação uniforme capazes de resultar em polpa de melhor qualidade são aqueles colhidos na safra de verão, a estação mais seca (SILVA et al., 2020). As palmeiras podem atingir até 30 metros de altura e 18 cm de diâmetro, com frutos tipo drupa globosa, não climatérico, com 1 a 2 cm de diâmetro, massa média de 1,2 g, epicarpo roxo na maturação, mesocarpo fibroso com cerca de 1 mm de espessura, contendo uma semente (SCHULZ et al., 2016; MULER et al., 2014; LORENZI et al., 2010). O principal produto derivado do fruto do açazeiro é a polpa obtida através do atrito dos frutos, seguido de maceração do epicarpo e mesocarpo com água em máquina despulpadora apropriada, da qual são elaborados diversos produtos como sorvetes, licores, doces e cremes (CUNHA JÚNIOR et al., 2016).

*E. precatória* é uma palmeira de caule único, com altura de 3 a 20 m e diâmetro de caule de 4 a 23 cm (LORENZI, 2010). Os frutos apresentam formato globular, com diâmetro de 1 a 2 cm e massa de 0,8 a 2,3 g, composto por aproximadamente 90% de semente e 10% de polpa (BICHARA; ROGEZ, 2011). É encontrada, principalmente, em terrenos de várzea e igapó, também conhecido como açai do Amazonas. Seu período de frutificação pode ocorrer durante o ano todo, porém, entre julho e dezembro, na estação menos chuvosa, é obtida polpa de melhor qualidade (YUYAMA et al., 2011).

A palmeira *E. edulis*, também pertencente à Família Arecaceae e Ordem Arecales, é nativa do bioma da Mata Atlântica, especificamente em regiões de Floresta Ombrófila Densa. São palmeiras de caule único com altura de 5-12 m e diâmetro de caule de 10-15 cm. Os frutos de juçara são não climatéricos, de pequeno porte e arredondados, pesando cerca de 1 g, com 1 a 1,5 cm de diâmetro. Durante o processo de amadurecimento o fruto passa de verde para roxo escuro, semelhante aos frutos de *E. oleracea* e *E. precatória*, com extração da polpa igual mencionado para frutos de açai. A polpa é composta por 80% a 90% de água, caracterizada pelo elevado teor de lipídeos e compostos fenólicos, além de propriedades nutricionais, energéticas e funcionais, utilizada na forma de sucos, doces, sorvetes e licores

(BARROSO et al.; 2019; LEITE et al.; 2018; BICUDO; RIBANI; BETA, 2014; LORENZI, 2010).

A palmeira juçara é encontrada, principalmente, nos Estados de Minas Gerais, Santa Catarina, Goiás, Mato Grosso do Sul, São Paulo e Paraná, e em países como Argentina e Paraguai (SCHULZ et al., 2016). Entretanto, sua exploração indiscriminada pelo desmatamento e intensa extração ilegal de seu palmito no início do século XX tornou-a uma espécie ameaçada de extinção, acarretando a proibição de seu corte, o que dificulta a definição de normas e diretrizes viáveis social e economicamente para seu manejo sustentável (GARCIA et al., 2019; SCHULZ et al., 2016).

Por ser incapaz de produzir perfilhos e rebrota, seu corte para extração do palmito acarreta na morte da planta, e devido a isso, a exploração do potencial de seus frutos emergiu como uma forma sustentável de seu uso, sem a necessidade do corte da planta (MULER et al., 2014). Além do palmito, os frutos de juçara são muito semelhantes aos frutos de açaí no que diz respeito as características sensoriais e propriedades nutricionais, isso reforça seu vasto potencial alimentício, uma vez que sua polpa não possui cadeia de produção valorizada nos mesmos padrões da polpa de açaí, principalmente como *E. oleracea*. Portanto, os dados sobre produção e exportação de juçara ainda são escassos (SCHULZ et al., 2016).

## 2.2 POLPA DE AÇAÍ: USOS TRADICIONAIS E PROCESSAMENTO

Os frutos de açaí eram primordialmente consumidos pela população indígena amazônica, de modo que a polpa era extraída através da maceração dos frutos e após, coada em peneira, sendo misturada em água quente para produzir, o até então, “vinho de açaí”, que atualmente é conhecido apenas como polpa de açaí. O “vinho de açaí” era considerado um alimento da classe trabalhadora, muitas vezes servido como alimento principal, tipicamente consumido com farinha de mandioca, farinha de tapioca, peixe assado ou camarão seco, ou até mesmo servido como mingau (CALZAVARA, 1972). Essa forma de consumo da polpa de açaí se perpetuou pelas gerações e atualmente, ainda é uma das principais formas de consumo no Norte do Brasil.

Segundo a Instrução Normativa nº 1, de 7 de janeiro de 2000, do Ministério da Agricultura e de Abastecimento, polpa de açaí é um produto extraído da parte comestível do fruto do açazeiro, com ou sem adição de água. Para possibilitar o amolecimento do epicarpo e do mesocarpo há a necessidade da imersão do fruto em água morna ou em temperatura ambiente, dependendo do grau de maturação. Após algumas sequências de lavagens, o despulpamento ocorre com o auxílio de injeção de água filtrada, podendo ser este processo manual ou mecanizado. Os produtos obtidos desta extração são classificados da seguinte forma: açaí grosso ou especial (tipo A): polpa extraída com adição de água e filtração, apresentando acima de 14% de sólidos solúveis e aparência densa; açaí médio ou regular (tipo B): polpa extraída com adição de água e filtração, apresentando de 11% a 14% de sólidos solúveis e aparência densa; e açaí fino ou popular (tipo C): polpa extraída com adição de água e filtração, apresentando de 8% a 11% de sólidos solúveis e aparência pouco densa (BRASIL, 2000).

O Brasil é o principal produtor, consumidor e exportador de açaí, com o consumo concentrado predominantemente nas regiões Norte e Nordeste (BOEIRA et al., 2020). O interesse pela polpa de açaí cresceu por conta do avanço em pesquisas direcionadas ao perfil antioxidante da fruta devido a presença de compostos fenólicos, como antocianinas e flavonoides, os quais são associados a prevenção de doenças (JESUS et al., 2020). Segundo Homma et al. (2006), o crescimento do mercado de polpa de açaí estimulou o surgimento de indústrias a fim de atender as demandas dos mercados nacional e internacional, possibilitando melhores condições sanitárias de processamento e reduzindo riscos de contaminação microbiológica pela pasteurização da polpa. Em consequência, acarretou uma drenagem significativa desse produto das áreas de várzea da Amazônia, assim como dos açazeiros, que tiveram seu cultivo estendido para regiões de terra firme nos principais centros urbanos do país e em demais países.

Segundo os mesmos autores, a migração da população rural para áreas urbanas, principalmente na região Norte do país, também gerou uma mudança de hábitos no consumo açaí devido ao aumento dos preços consideravelmente mais altos em relação ao passado. Isso se deu devido a popularização do processamento, principalmente através do congelamento da polpa do açaí e de demais frutas regionais, que antes eram disponíveis apenas durante a safra, e após isso,

consumidas durante todo o ano. Além do aumento das exportações interestaduais e internacionais da polpa de açaí, o seu processamento também possibilitou a melhora de seu comércio em municípios da região amazônica com baixa produção do fruto, uma vez que passou a ser possível seu armazenamento por maiores períodos.

O mercado atual e a comercialização da polpa do açaí continuam em constante expansão e é fortemente favorecido pelo consumo consciente de alimentos mais saudáveis, o que consolida esse mercado altamente lucrativo (BOEIRA et al., 2020). Este mercado cresceu de forma progressiva a partir da década de 1990, fazendo do Brasil o maior produtor, consumidor e exportador do fruto. Os Estados do Pará, Maranhão, Amapá, Acre e Rondônia são aqueles que se destacam na produção de açaí no país (ALMICO et al., 2018). Segundo dados do IBGE (2022), a produção brasileira de açaí passou de 116 mil toneladas em 2009 para cerca de 227 mil toneladas em 2021, sendo 68% desta produção oriunda do estado Pará. Além disso, em 2020 o açaí foi o segundo produto alimentício de maior extração no país, atrás apenas da erva-mate. Este aumento da produção do açaí tem estimulado uma produção de maior qualidade e manejo, de modo a garantir um fruto de alta qualidade. As empresas, por sua vez, têm focado em utilizar o açaí de modo a promover produtos mais saudáveis e naturais (SILVEIRA et al., 2023).

As propriedades antioxidantes da polpa do açaí também têm estimulado a indústria alimentícia a investir no desenvolvimento de produtos utilizando sua polpa, entretanto, tais produtos comerciais nem sempre apresentam o conteúdo bioativo presente na polpa *in natura*, segundo Lucas et al. (2018). Lee (2019) em seu estudo com 56 produtos industriais a base de açaí, como purês, sucos e suplementos alimentares, apenas três desses produtos continham todas as principais antocianinas presentes na polpa *in natura*. De acordo com Silveira et al. (2023), estima-se que atualmente exista cerca de 30 tipos de produtos industriais elaborados com açaí como matéria-prima ou ingrediente adicionado, sendo sua grande maioria bebidas como bebidas energéticas, eletrolíticas, alcoólicas, sucos, shakes proteicos e chás, cereais como barras de cereais e proteínas, além de sobremesas, como sorvetes, chocolates, geleias e iogurtes.

De acordo com Barros et al. (2015), o processamento e a estocagem da polpa de açaí podem acarretar a degradação de seus compostos nutricionais devido a temperatura de estocagem, exposição ao oxigênio e entre outros fatores, além de



alterar características sensoriais como aroma e sabor. A fim de conservar e estocar polpas de fruta, especialmente açaí, passou-se a utilizar a adição de ingredientes, aditivos e métodos de tratamento térmico, como congelamento e pasteurização, que por sua vez, trata-se de um tratamento controlado, com temperaturas inferiores a 100 °C, a fim de causar redução da carga microbiana, considerado um método de baixos custos, muito utilizado em polpas de frutas nas unidades de processamento de cooperativas. Rogez (2000) relata que os tratamentos térmicos utilizados para preservar a polpa de açaí demonstraram eficácia em reduzir a carga microbiana, inativar enzimas e preservar as antocianinas em diversas combinações de temperatura, tempo de tratamento e pH, sendo estes métodos de grande potencial para aplicação em agroindústrias visando à conservação do produto.

### 2.3 COMPOSIÇÃO NUTRICIONAL DAS POLPAS DE AÇAÍ E JUÇARA

Os frutos de açaí (*E. oleracea* e *E. precatoria*) são amplamente conhecidos pelo seu potencial nutricional e econômico na região amazônica, devido, principalmente, a sua composição química, muito associada a benefícios à saúde (SILVA et al., 2020). O açaí se destaca por apresentar diversas propriedades benéficas à nutrição humana, sendo fonte de fibras, proteínas e lipídeos benéficos ao organismo, bem como demais compostos bioativos. Devido a isso, o açaí é apontado como alimento funcional, aliado na prevenção de doenças degenerativas e cardiovasculares, além de ser uma excelente fonte energética devido seu alto teor lipídico (YAMAGUCHI et al., 2015).

O perfil lipídico das espécies de açaí *E. oleracea* e *E. precatoria* aponta ambas as espécies como fontes de ácidos graxos monoinsaturados, como ácido oleico, e ácidos graxos poli-insaturados, como ácido linoleico e linolênico (YAMAGUCHI et al., 2015). No estudo de Schauss et al. (2006), grande parte dos ácidos graxos monoinsaturados encontrados em *E. oleracea* foi ácido oleico (56%), sendo este o principal ácido graxo monoinsaturado encontrado nos frutos, enquanto isso, 12% dos ácidos poli-insaturados foi composto por ácido linoléico, 26% por ácidos graxos saturados e 24% por ácido palmítico. Tais resultados ressaltam o impacto positivo do consumo de açaí, uma vez que esses ácidos graxos auxiliam na redução dos colesterol total e LDL, bem como na redução de triacilglicerídeos, sem alterar os níveis do colesterol HDL (LIMA et al., 2000).

Altos teores de fibras, por sua vez, também são associados a uma alimentação saudável. De acordo com Catalani et al. (2003), fibras alimentares são componentes resistentes à digestão e absorção pelo intestino delgado, com fermentação parcial ou completa no intestino grosso, e são agrupadas em fibras solúveis e insolúveis em água, sendo as fibras solúveis aquelas encontradas em frutas, responsáveis pelo aumento do tempo de trânsito intestinal e relacionadas ao retardo da absorção de glicose, diminuição da glicemia sanguínea e redução do colesterol. Sendo assim, frutos como o açaí estão associados a tais benefícios ao organismo proporcionados pelas fibras alimentares. Segundo Almico et al. (2018), a polpa de açaí pode apresentar uma composição proximal com até 25 a 45% de fibras, além de 10% de proteínas, 50% de lipídeos e 3 a 4% de carboidratos.

No que diz respeito a composição mineral predominante das polpas de açaí e juçara, tem-se o potássio, cálcio e magnésio como exemplos mais representativos. O conteúdo mineral total presente na polpa de juçara pode chegar a 8,8% de acordo com estudos anteriores (INADA et al., 2015; SILVA et al., 2014). Dezesete minerais já foram descritos na polpa de juçara, e os macro minerais mais abundantes presentes no fruto são o potássio (419 a 1291 mg 100 g<sup>-1</sup>), cálcio (76 a 596,7 mg 100 g<sup>-1</sup>), magnésio (47 a 183 mg 100 g<sup>-1</sup>), fósforo (41 a 132 mg 100 g<sup>-1</sup>) e sódio (17 a 21 mg 100 g<sup>-1</sup>). No que diz respeito aos micro minerais, ferro (4 a 7 mg 100 g<sup>-1</sup>), manganês (3 a 8 mg 100 g<sup>-1</sup>) e zinco (1 a 3 mg 100 g<sup>-1</sup>) são aqueles mais frequentemente encontrados na polpa de juçara (INADA et al., 2015; SCHULZ et al., 2015; SILVA et al., 2013). A polpa dos frutos de açaí também é fonte de minerais, principalmente potássio, cálcio, fósforo e magnésio, com valores reportado por Moreda-Piñeiro et al. (2020) em até 1162, 67, 128 e 45 µg g<sup>-1</sup>, respectivamente.

A ingestão de potássio é fortemente relacionada a redução da pressão arterial e a diminuição de doenças cardiovasculares (FONSECA; ZAMITH; MACHADO, 2015). O cálcio apresenta papel fundamental em diversos eventos fisiológicos humanos, como mineralização dos ossos, contração muscular e transmissão de impulsos nervosos, além de estar associado ao processo de envelhecimento (CASTRO et al., 2022). O magnésio, por sua vez, é cofator para mais de 300 reações metabólicas no organismo humano, principalmente na homeostase da insulina e glicemia, além de participar da síntese de proteínas e ácidos nucleicos (SEVERO et al., 2015).

Contudo, o processo de amadurecimento e as condições ambientais têm grande influência no conteúdo mineral dos frutos, que podem estar relacionadas a mobilidade dos minerais pelos elementos crivados do floema e suas translocações (SCHULZ et al., 2015), como o potássio, que participa do processo de translocação dos açúcares nos frutos, processo esse mais intenso no final do ciclo de maturação, podendo ocasionar no aumento da concentração neste período (TAIZ et al., 2017).

#### 2.4 COMPOSIÇÃO BIOATIVA E ANTIOXIDANTE DAS POLPAS DE AÇAÍ E JUÇARA

Compostos bioativos são naturalmente presentes em pequenas quantidades em matrizes vegetais, e se ingeridos em maiores quantidades, exercem benefícios ao organismo humano. Há uma grande variedade de compostos bioativos presentes na natureza, variando entre si por suas estruturas químicas, e dentre esses, alguns possuem potencial antioxidante e são associados a manutenção da saúde humana, principalmente no que diz respeito a doenças crônicas, como diabetes doenças cardiovasculares e neurodegenerativas, e até mesmo câncer (HORST; CRUZ; LAJOLO, 2020).

A capacidade antioxidante de um alimento está relacionada a neutralização de radicais livres e espécies reativas de oxigênio. Os radicais livres são formados naturalmente pelo organismo humano, e quando produzido excessivamente, podem atacar membranas e núcleos celulares, levando a danos oxidativos, que por sua vez, estão relacionados ao envelhecimento precoce e diversos problemas de saúde (BARBOSA et al., 2020). Para reduzir danos oxidativos, mecanismos de defesas endógenos iniciam suas atividades para proteger o organismo contra o estresse oxidativo, que representa a formação exacerbada de radicais livres no organismo, sendo, muitas vezes, necessário a obtenção de antioxidantes exógenos via alimentação, visando combater o estresse oxidativo inerente ao organismo humano (CARVALHO; ESMERINO; CARVALHO, 2022).

Nas últimas duas décadas tem se observado o aumento de tendências envolvendo o consumo de alimentos saudáveis, e diante desta mudança de hábitos, o consumo de frutas é fortemente recomendado pelo fornecimento de nutrientes e fitoquímicos, além da presença de moléculas bioativas naturais, o que favorece o mercado de frutas exóticas como o açaí, reconhecido mundialmente como

“superalimento” (BOEIRA et al., 2020; MAQSOOD et al., 2020). O termo “superalimento” ficou conhecido a partir de publicações científicas nos anos 2000, as quais o utilizavam para descrever alimentos capazes de proporcionar benefícios a saúde, comprovados cientificamente. Entretanto, não se trata de um termo oficial, pois não há regulamentação legal, ou seja, o termo é utilizado informalmente para abordar alimentos com grandes teores de nutrientes, capazes de proporcionar benefícios para uma dieta saudável (SILVEIRA et al., 2023). Do ponto de vista científico, os “superalimentos” são aqueles que são ricos em fitoquímicos bioativos, os quais estão presentes em plantas fornecendo cor, sabor e odor aos alimentos, dentre elas, os frutos de açaí (DI OTTAVIO et al., 2020).

Além de ser considerado “superalimento”, o açaí também é mencionado como alimento funcional, assim como a juçara, por apresentarem excelentes compostos nutricionais e bioativos responsáveis pela alta atividade antioxidante já comprovada em estudos *in vitro* (GARCIA et al., 2019). As propriedades funcionais de frutas estão relacionadas à presença de compostos bioativos como pigmentos naturais e compostos fenólicos (antocianinas, flavonoides, ácidos fenólicos), bem como a presença de ácidos graxos monoinsaturados, poli-insaturados e fibras dietéticas (LEITE et al., 2018).

Estudos também apontam que polpa de juçara (*E. edulis*) também é rica em compostos bioativos como os ácidos benzoico, cafeico, clorogênico, ferúlico, protocatecuíco, p-cumárico, siríngico, vanílico, flavonoides como quercetina e rutina, compostos fenólicos e ácido ascórbico, o que confere alta atividade antioxidante ao fruto e diversos benefícios quando inseridos na dieta humana, como efeito anti-inflamatório, antimutagênico e antitumoral (SCHULZ et al., 2016; LEITE et al., 2018). Essas propriedades antioxidantes fazem dos frutos de juçara, assim como o açaí, um alimento funcional de grande relevância para a indústria alimentar (JAMAR et al., 2018).

Compostos fenólicos são tidos como uma das classes de bioativos e antioxidantes de mais relevância na polpa dos frutos de açaí e juçara, devido, principalmente, a coloração roxa escura dos frutos atribuída as antocianinas presentes. Compostos fenólicos são metabolitos secundários sintetizados pelas plantas durante seu desenvolvimento em respostas a condições de estresse, contribuindo para a pigmentação das plantas, como as antocianinas, e principalmente,

para o potencial antioxidante da planta. Os compostos fenólicos encontrados nas matrizes alimentares vegetais são pertencentes a família dos fenilpropanóides, sendo a enzima fenilalanina amônia-liase responsável pela via metabólica dos fenilpropanóides, convertendo-a em ácido cinâmico, procedendo na biossíntese dos compostos fenólicos (TAIZ et al., 2017).

Os efeitos neuroprotetores do açaí são muito atribuídos as antocianinas e carotenoides. As antocianinas formam pontes de hidrogênio com os grupos polares nas interfaces lipídeo-água das membranas celulares, criando uma barreira contra espécies reativas de oxigênio e nitrogênio, minimizando danos oxidativos celulares. Os carotenoides, por sua vez, são moléculas hidrofóbicas presentes na camada intermediária da membrana lipídica, que inativam radicais livres devido suas duplas ligações, lhes permitindo aceitar elétrons de radicais livres, neutralizando-os (COSTA et al., 2023). Devido as composições químicas semelhantes entre açaí e juçara, tais efeitos neuroprotetores possivelmente sejam atribuídos aos frutos de juçara.

As principais antocianinas encontradas nos frutos de açaí são a cianidina 3-glucosídeo, com valores variando de 11,1 a 117 mg em equivalente ácido gálico (EqAG)  $100\text{ g}^{-1}$ , e a cianidina 3-rutinosídeo, com valores entre 193 e 241,8 mg EqAG  $100\text{ g}^{-1}$ , responsáveis pela sua coloração roxa (JESUS et al., 2020; SILVA et al., 2019). Rufino et al. (2010) também verificaram valores expressivos de antocianinas em frutos de açaí, com  $111\text{ mg } 100\text{ g}^{-1}$ , e em frutos de juçara, com  $192\text{ mg } 100\text{ g}^{-1}$ , superando os teores presentes na polpa de açaí.

O ácido ascórbico, por sua vez, é uma vitamina encontrada em diversas frutas, principalmente cítricas, de grande potencial antioxidante, desempenhando diversos papéis no organismo humano, onde a principal delas é sua capacidade de doar elétrons, o que o torna um agente redutor essencial no combate aos radicais livres (JAKUBEK et al., 2023). De acordo com Rufino et al. (2010), os frutos de juçara são boas fontes de ácido ascórbico, podendo ultrapassar os valores encontrados em polpa de açaí, onde uma porção de 100 g de polpa pode conter 186 mg ácido ascórbico, o que representa um valor superior a dose diária de ácido ascórbico recomendada na alimentação humana (15 a 120 mg), enquanto o açaí pode conter valores de até 84 mg de ácido ascórbico em 100 g de polpa.

Contudo, o ácido ascórbico é um dos compostos mais sensíveis as condições adversas de armazenamento e manuseio, sendo facilmente degradado por processos

que proporcionem estresse ao órgão vegetal, como exposição ao calor e oxigênio, levando a formação de radicais hidroxila, que oxidam o ácido ascórbico, desencadeando a formação de enzimas envolvidas na rota oxidativa, como o peróxido de hidrogênio (BASAK; SHAIK; CHAKRABORTY, 2023; LI; ZHANG, 2015), o que reflete em perdas de seu conteúdo após o processo de despulpamento, e principalmente, após processos industriais de processamento da polpa para produção de subprodutos.

## 2.5 BIOACESSIBILIDADE DE COMPOSTOS BIOATIVOS EM POLPAS DE AÇAÍ E JUÇARA

Bioacessibilidade é a quantidade de um composto liberado de uma matriz alimentar no trato gastrointestinal que é efetivamente absorvida pelo intestino. A avaliação da bioacessibilidade é uma importante ferramenta, pois a concentração de um composto em uma matriz alimentar pode diferir da concentração liberada no lúmen intestinal após a digestão (SILVEIRA et al., 2023). Muitos compostos bioativos têm a tendência a se degradarem quimicamente quando expostos ao ambiente, devido, principalmente a fatores como pH, calor, luz e oxigênio, e conseqüentemente, a concentração desses compostos presentes nos alimentos pode reduzir após a ingestão e digestão. Além disso, muitos compostos têm biodisponibilidade limitada devido a suas características de solubilidade, estabilidade e absorção (HU et al., 2023).

Entretanto, a presença de lipídeos em uma matriz alimentar pode favorecer a solubilização e bioacessibilidade de compostos hidrofóbicos, uma vez que os lipídeos podem auxiliar na proteção dos compostos bioativos da degradação no trato digestivo, bem como, atuando na formação de micelas que solubilizam e transportam compostos hidrofóbicos (HU et al., 2023). Proteínas, por sua vez, podem interagir com polifenóis através de ligações não covalentes, formando complexos proteínas-polifenóis insolúveis que diminuem a bioacessibilidade de polifenóis, ou em alguns casos, contribuir para o processo de formação de micelas de compostos hidrofóbicos no intestino delgado, contribuindo positivamente para a bioacessibilidade destes compostos (IDDIR et al., 2021; KAMILOGLU et al., 2021).

A fibra alimentar também pode reduzir a absorção de compostos bioativos no intestino, inibindo sua liberação da matriz alimentar, reduzindo a atividade de enzimas

digestivas ou ainda, interferindo na solubilização destes compostos em micelas, entretanto, tais compostos pertencentes a matrizes alimentares ricas em fibras podem ainda serem liberados e metabolizados no cólon, ou seja, contribuindo para que os compostos não tenham sua bioacessibilidade reduzida drasticamente (CHEN et al., 2022; KAMILOGLU et al., 2021).

Açaí e juçara são frutos ricos em antocianinas, entretanto, sua absorção pelo organismo pode ser bastante reduzida, o que limita seu potencial de aproveitamento sistêmico após o consumo. Pesquisas indicam que essa absorção limitada, aproximadamente 1%, está ligada às propriedades altamente polares das antocianinas, decorrentes de sua glicosilação e da presença de múltiplos grupos hidroxila em sua estrutura. Além disso, sugere-se que as antocianinas podem sofrer degradação no ambiente de pH elevado do duodeno. Contudo, lipídeos têm a capacidade de facilitar a absorção de compostos na corrente sanguínea, elevando sua biodisponibilidade, como exposto anteriormente (CARDONA; MERTENS-TALCOTT; TALCOTT, 2015).

## 2.6 POTENCIAL CITOTÓXICO DE FITOQUÍMICOS DAS POLPAS DE AÇAÍ E JUÇARA

Fitoquímicos são substâncias vegetais secundárias dotadas de propriedades que agem na prevenção doenças, encontrados principalmente em frutas, vegetais e outros alimentos de origem vegetal. As pesquisas epidemiológicas, pré-clínicas e clínicas indicam que o consumo de frutas e vegetais tem efeitos benéficos na promoção da saúde, ajudando a prevenir diversos tipos de câncer (GONZÁLEZ-VALLINAS et al., 2013).

Os fitoquímicos dietéticos durante o processo de digestão do alimento geralmente se ligam a fibras, ou estão presentes como moléculas complexas de menor biodisponibilidade e baixa solubilidade. Entretanto, o perfil da maioria dos fitoquímicos são alterados pela fermentação bacteriana no intestino grosso, resultando em compostos de maior biodisponibilidade, ou seja, disponíveis para absorção (BOHN et al., 2015; MARÍN et al., 2015; LOUIS; HOLD; FLINT, 2014).

O câncer de cólon, por exemplo, é fortemente correlacionado a fatores dietético, e os fitoquímicos, por sua vez, são apontados como poderosos agentes na prevenção da doença de acordo com estudos realizados por Fung et al. (2010), Van

Duijnhoven et al. (2009) e Nomura et al. (2008). Segundo González-Vallinas et al. (2013) e Lee, Bode e Dong (2011), os fitoquímicos são capazes de modular as principais vias de sinalização celular, desde a iniciação até a progressão do câncer de cólon, portanto, as pesquisas acerca do papel dos fitoquímicos estão focadas na cascata de sinalizações que possivelmente induzem atividades antitumorais.

O açaí (*E. oleracea*) tem sido alvo de vários estudos sobre a prevenção ao câncer do cólon humano por possuir nutrientes com potenciais anti-inflamatórios, principalmente, compostos fenólicos. O potencial antioxidante dos compostos fenólicos tem sua ação associada a efeitos antitumorais contra o câncer do cólon humano devido sua atuação na regulação de biomarcadores em diferentes estágios da doença e na modulação da microbiota intestinal. Isso se dá devido as ligações de compostos fenólicos com macronutrientes, como a fibra alimentar, que faz com que a maioria passe pelo intestino delgado e pelo cólon, onde se tornam metabólitos mais bioativos e biodisponíveis, graças as interações com a microbiota intestinal, a qual também se beneficia através do processamento de polifenóis por cepas bacterianas (NASCIMENTO et al., 2022; VAN DER MERWE, 2021; AFRIN et al., 2020).

De acordo com Pacheco-Palencia et al. (2008), os principais compostos bioativos presentes em *E. oleracea* e *E. precatoria* testados em estudos *in vitro* no combate de células do câncer de cólon são as antocianinas (cianidina-3-rutinosídeo e cianidina-3-glicosídeo), ácidos fenólicos (ácido protocatecuico, ácido p-hidroxibenzóico, ácido vanílico, ácido serínico e ácido ferúlico), flavan-3-óis [(+)-catequina e (-)-epicatequina], dímeros e trímeros de procianidina. Reis et al. (2020) e Inada et al. (2015) indicam que os compostos bioativos em *E. edulis* fortemente associados a efeitos antitumorais contra o câncer do cólon também são as antocianinas (cianidina-3-glicosídeo e cianidina-3-rutinosídeo) e os ácidos fenólicos (ácido gálico, ácido 3,4-di-hidroxibenzóico, ácido 4-hidroxibenzóico, ácido trans - cinâmico, ácido m-cumárico, ácido 4-hidroxifenilacético, ácido p-cumárico, ácido ferúlico e ácido 3,4-di-hidroxifenilacético).

Um estudo realizado por Dias et al. (2014) apontou que as vias de sinalização associadas a redução do crescimento de células do câncer do cólon foram desencadeadas em virtude dos polifenóis presentes na polpa açaí. Diferentes linhagens celulares do câncer do cólon tratadas com extrato de polpa de açaí tiveram aumento da expressão de genes pró-apoptóticos, isto é, genes que estimulam a morte



celular programada das células, bem como uma menor expressão de genes pró-oncogênicos da família SP, que por sua vez estão associadas ao crescimento, sobrevivência e invasão de células cancerígenas em diversos tipos de câncer.

Estudos *in vivo* utilizando modelos animais também demonstraram resultados positivos no que diz respeito ao efeito citotóxico e antitumoral da polpa de açaí. Dietas animais suplementadas com 5 a 7,5% de polpa de açaí liofilizada ou atomizada regularam a produção de proteínas associadas ao câncer do cólon, apresentando eficácia comparável as substâncias anticancerígenas convencionais presentes em medicamentos, como a N-acetilcisteína e o indol-3-carbinol (FRAGOSO et al., 2018; ROMUALDO et al., 2015; FRAGOSO et al., 2013). No estudo realizado por Choi et al. (2017), uma dieta com 5% de açaí também resultou em efeitos antitumorais e moleculares positivos, como redução de enzimas pró-inflamatórias e interleucinas, regulação na proliferação celular pela diminuição dos níveis da proteína do antígeno nuclear e regulação dos mecanismos apoptóticos pela diminuição das proteínas anti-apoptóticas, bem como a estimulação das proteínas pró-apoptóticas.

De acordo com Inada et al. (2015), frutos de juçara (*E. edulis*), embora tenham sido alvos de menos estudos em relação aos frutos de açaí (*E. oleracea* e *E. precatória*), seu potencial citotóxico pode igualar ou superar os valores de outras frutas nativas brasileiras, como o próprio açaí. Reis et al. (2020), por exemplo, em estudo *in vivo* com frutos de juçara utilizando modelo animal, observou redução do número de lesões decorrentes do câncer do cólon em função da adição da polpa de juçara na dieta.

## 2.7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O gênero *Euterpe* apresenta um importante papel nas regiões de florestas tropicais, especialmente no Brasil, com destaque para as espécies *E. edulis*, *E. oleracea* e *E. precatória*. Diante da vasta gama de compostos bioativos e nutricionais encontrados na polpa de açaí e a juçara, torna-se evidente seu potencial como alimentos funcionais, além de serem aliados na proteção contra danos oxidativos e na promoção da saúde humana. No entanto, a crescente demanda por alimentos saudáveis tem impulsionado o interesse na comercialização e no desenvolvimento de produtos derivados de açaí, ampliando suas aplicações na indústria alimentícia, podendo acarretar perdas de compostos bioativo durante o processamento industrial.

Neste sentido, a avaliação da bioacessibilidade é crucial para compreender o verdadeiro potencial de aproveitamento dos compostos bioativos presentes nos alimentos. Por fim, os fitoquímicos que compõem as polpas de juçara e açaí também têm sido associados a efeitos antitumorais, o que reforça seu papel na prevenção de doenças como o câncer, destacando a importância de incluí-las na dieta.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AFRIN, S.; GIAMPIERI, F.; GASPARRINI, M.; FORBES-HERNÁNDEZ, T. Y.; CIANCIOSI, D.; REBOREDO-RODRIGUEZ, P.; ZHANG, J.; MANNA, P. P.; DAGLIA, M.; ATANASOV, A. G.; BATTINO, M. Dietary phytochemicals in colorectal cancer prevention and treatment: a focus on the molecular mechanisms involved. **Biotechnology Advances**, v. 38, n. 1, 107322, 2020.

ALMICO, J. D.; FERREIRA, I. M.; RAMOS, G. D.; SILVA, A. M. O.; CARVALHO, M. G. Avaliação da qualidade microbiológica, físico-química e química de polpas de açaí (*Euterpe oleracea* Mart) pasteurizadas congeladas comercializadas em Aracaju-SE. **Revista Brasileira de Higiene e Sanidade Animal**, v. 12, n. 2, p. 156-168, 2018.

BARBOSA, P. O.; DE SOUZA, M. O.; PALA, D.; FREITAS, R. N. Açaí (*Euterpe oleracea* Martius) as an antioxidant. In: PREEDY, V. R. (Org.). **Pathology**. Elsevier, 2020. p. 127-133.

BARROS, É. C. M.; COSTA, G. N. S.; RIBEIRO, L. O.; MENDES, M. F.; PEREIRA, C. S. S. Efeitos da pasteurização sobre características físico-químicas, microbiológicas e teor de antocianinas da polpa de juçará (*Euterpe edulis* Martius). **Revista Teccen**, v. 8, n. 1, p. 21-26, 2015.

BARROSO, M. E. S.; OLIVEIRA, B. G.; PIMENTEL, E. F.; PEREIRA, P. M.; ANDRADE, F. U.; LENZ, D.; SCHERER, R.; FRONZA, F.; VENTURA, J. A.; KONDRATYUK, B. P.; ROMÃO, W.; ENDRINGER, D. C. Phytochemical profile of genotypes of *Euterpe edulis* Martius - juçara palm fruits. **Food Research International**, v. 116, n. 1, p. 985-993, 2019.

BASAK, S.; SHAIK, L. S.; CHAKRABORTY, S. Effect of ultraviolet and pulsed light treatments on ascorbic acid content in fruit juices – a review of the degradation mechanism. **Food Chemistry Advances**, v. 2, n. 1, 100333, 2023.

BICHARA, C. M. G.; ROGEZ, H. Açaí (*Euterpe oleracea* Martius). In: YAHIA, E. M. (Ed.). **Postharvest Biology and Technology of Tropical and Subtropical Fruits**. 3.ed. Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2011. cap. 1, p. 1-27.

BICUDO, M. O. P.; RIBANI, R. H.; BETA, T. Anthocyanins, phenolic acids and antioxidant properties of juçara fruits (*Euterpe edulis* M.) along the on-tree ripening process. **Plant Foods for Human Nutrition**, v. 69, n. 2, p. 142-147, 2014.

BOEIRA, L. S.; FREITAS, P. H. B.; UCHÔA, N. R.; BEZERRA, J. A.; CÁD, S. V.; DUVOISIN JUNIOR, S.; ALBUQUERQUE, P. M.; MAR, J. M.; RAMOS, A. S.;

MACHADO, M. B.; MACIEL, L. R. Chemical and sensorial characterization of a novel alcoholic beverage produced with native acai (*Euterpe precatoria*) from different regions of the Amazonas state. **LWT - Food Science and Technology**, v. 117, n. 1, 108632, 2020.

BOHN, T.; MCDOUGALL, G. J.; ALEGRÍA, A.; ALMINGER, M.; ARRIGONI, E.; AURA, A. M.; BRITO, C.; CILLA, A.; EL, S. N.; KARAKAYA, S.; MARTÍNEZ-CUESTA, M.; SANTOS, C. N. Mind the gap – deficits in our knowledge of aspects impacting the bioavailability of phytochemicals and their metabolites – a position paper focusing on carotenoids and polyphenols. **Molecular Nutrition & Food Research**, v. 59, n. 1, p. 1307-1323, 2015.

BRASIL. **Ministério da Agricultura e Abastecimento**. Instrução Normativa nº1, de 7 de janeiro de 2000. Diário Oficial da União, 10 jan. 2000.

CALZAVARA, B. B. As possibilidades do açazeiro no estuário amazônico. **Simpósio Internacional Sobre Plantas da Flora Amazônica**, Boletim nº 5, 1972.

CARDONA, J. A.; MERTENS-TALCOTT, S. U.; TALCOTT, S. T. Phospholipids and terpenes modulate Caco-2 transport of açai anthocyanins. **Food Chemistry**, v. 175, n. 1, p. 267-272, 2015.

CARVALHO, L. M. J.; ESMERINO, A. A.; CARVALHO, J. L. V. Jussai (*Euterpe edulis*): a review. **Food Science and Technology**, v. 42, n. 1, e08422, 2022.

CASTRO, L. A.; CORREIA, L. S.; SANTOS, M. M. S.; FERREIRA, J. C. S.; FREITAS, F. M. N. O. A importância do cálcio na prevenção do desenvolvimento da osteoporose para um envelhecimento saudável. **Brazilian Journal of Development**, v. 8, n. 5, p. 36193-36205, 2022.

CATALANI, L. A.; KANG, E. M.; DIAS, M. C. G.; MACULEVICIUS, J. Fibras alimentares. **Revista Brasileira de Nutrição Clínica**, v. 18, n. 4, p. 178-182, 2003.

CHEN, Y.; JIANG, Y.; WEN, L.; YANG, B. Structure, stability and bioaccessibility of icaritin-loaded pectin nanoparticle. **Food Hydrocolloids**, v. 129, n. 1, 2022.

CHOI, Y. J.; CHOI, Y. J.; KIM, N.; NAM, R. H.; LEE, S.; LEE, H. S.; LEE, H. N.; SURH, Y. J.; LEE, D. H. (2017). Açai berries inhibit colon tumorigenesis in azoxymethane/dextran sulfate sodium-treated mice. **Gut and Liver**, v. 11, n. 2, p. 243-252, 2017.

COSTA, N. C.; QUEIROZ, L. Y.; SANTOS, I. N.; CIMAROSTI, H. I. Neuroprotective potential of the Amazonian fruits *Euterpe oleracea* Mart. and *Paullinia cupana* Kunth. **Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences**, v. 59, n. 1, e22381, 2023.

CUNHA JÚNIOR, L. C.; TEIXEIRA, G. H. A.; NARDINI, V. N.; WALSH, K. B. Quality evaluation of intact açai and juçara fruit by means of near infrared spectroscopy. **Postharvest Biology and Technology**, v. 112, n. 1, p. 64-74, 2016.

DI OTTAVIO, F.; GAUGLITZ, J. M.; ERNST, M.; PANITCHPAKDI, M. W.; FANTI, F.; COMPAGNONE, D.; DORRESTEIN, P. C.; SERGI, M. A UHPLC-HRMS based metabolomics and chemoinformatics approach to chemically distinguish 'super foods' from a variety of plant-based foods. **Food Chemistry**, v. 313, n. 1, 126071, 2020.

DIAS, M. M. S.; NORATTO, J.; MARTINO, H. S. D.; ARBIZU, S.; PELUZIO, M. C. G.; TALCOTT, S.; RAMOS, A. M.; MERTENS-TALCOTT, S. U. Pro-apoptotic activities of polyphenolics from açai (*Euterpe oleracea* Martius) in human SW-480 colon cancer cells. **Nutrition and Cancer**, v. 66, n. 8, p. 1394-1405, 2014.

FONSECA, H. A. R.; ZAMITH, T. P.; MACHADO, V. A. Relações entre o potássio da dieta e a pressão arterial. **Revista Brasileira de Hipertensão**, v. 22, n. 1, p. 9-12, 2015.

FRAGOSO, M. F.; ROMUALDO, G. R.; RIBEIRO, D. A.; BARBISAN, L. F. Açai (*Euterpe oleracea* Mart.) feeding attenuates dimethylhydrazine-induced rat colon carcinogenesis. **Food and Chemical Toxicology**, v. 58, n. 1, p. 68-76, 2013.

FRAGOSO, M. F.; ROMUALDO, G. R.; VANDERVEER, L. A.; FRANCO-BARRAZA, J.; CUKIERMAN, E.; CLAPPER, M. L.; CARVALHO, R. F.; BARBISAN, L. F. Lyophilized açai pulp (*Euterpe oleracea* Mart) attenuates colitis-associated colon carcinogenesis while its main anthocyanin has the potential to affect the motility of colon cancer cells. **Food and Chemical Toxicology**, v. 121, n. 1, p. 237-245, 2018.

FUNG, T. T.; HU, F. B.; WU, K.; CHIUVE, S. E.; FUCHS, C. S.; GIOVANNUCCI, E. The mediterranean and dietary approaches to stop hypertension (DASH) diets and colorectal cancer. **The American Journal of Clinical Nutrition**, v. 92, n. 6, p. 1429-1435, 2010.

GARCIA, J. A. A.; CORRÊA, R. C. G.; BARROS, L.; PEREIRA, C.; ABREU R. M. V.; ALVES, M. J.; CALHELHA, R. C.; BRACHT, A.; PERALTA, R. M.; FERREIRA, I. C. F. R. Chemical composition and biological activities of juçara (*Euterpe edulis* Martius) fruit by-products, a promising underexploited source of high-added value compounds. **Journal of Functional Foods**, v. 55, n. 1, p. 325-332, 2019.

GONZÁLEZ-VALLINAS, M.; CONZÁLES-CASTEJÓN, M.; RODRÍGUEZ-CASADO, A.; MOLINA, A. R. Dietary phytochemicals in cancer prevention and therapy: a complementary approach with promising perspectives. **Nutrition Reviews**, v. 71, n. 9, p.585-599, 2013.

HOMMA, A. K. O.; NOGUEIRA, O. L.; MENEZES, A. J. E. A.; CARVALHO, J. E. U.; NICOLI, C. M. L.; MATOS, G. B. Açai: novos desafios e tendencias. **Amazônia: Ciência & Desenvolvimento**, v. 1, n. 2, p. 7-23, 2006.

HORST, M. A.; CRUZ, A. C.; LAJOLO, F. M. Biodisponibilidade de compostos bioativos de alimentos. In: COZZOLINO, S. M. F. (Org.). **Biodisponibilidade de nutrientes**. Barueri: Manole, 2020. cap. 37, p. 549-576. 2020.

HU, Y.; LIN Q.; ZHAO, H.; LI, X.; SANG, S.; MCCLEMENTS, D. J.; LONG, J.; JIN, Z.; JIN, Z.; WANG, J.; QIU, C. Bioaccessibility and bioavailability of phytochemicals:

influencing factors, improvements, and evaluations. **Food Hydrocolloids**, v. 135, n. 1, 108165, 2023.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção da extração vegetal e da silvicultura**. 2022. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/289>>. Acesso em 16 jan. 2024.

INADA, K. O. P.; OLIVEIRA, A. A.; REVORÊDO, T. B.; MARTINS, A. B. N.; LACERDA, E. C. Q.; FREIRE, A. S.; BRAZ, B. F.; SANTELLI, R. E.; TORRES, A. G.; PERRONE, D.; MONTEIRO, M. C. Screening of the chemical composition and occurring antioxidants in jaboticaba (*Myrciaria jaboticaba*) and jussara (*Euterpe edulis*) fruits and their fraction. **Journal of Functional Foods**, v. 17, n. 1, p. 422-433, 2015.

JAKUBEK, P.; SULIBORSKA, K.; KUCZYŃSKA, M.; ASADUZZMAN, M.; PARCHEM, K.; KOSS-MIKOLAJCZK, I.; KUSZNIEREWICZ, B.; CHRZANOWSKI, W.; NAMIEŚNIK, J.; BARTOSZEK, A. The comparison of antioxidant properties and nutrigenomic redox-related activities of vitamin C, C-vitimers, and other common ascorbic acid derivatives. **Free Radical Biology and Medicine**, v. 209, part 2, p. 239-251, 2023.

JAMAR, G.; SANTAMARINA, A. B.; MENNITTI, L. V.; CESAR, H. C.; OYAMA, L. M.; ROSSO, V. V.; PISANI, L. P. *Bifidobacterium* spp. reshaping in the gut microbiota by low dose of juçara supplementation and hypothalamic insulin resistance in wistar rats. **Journal of Functional Foods**, v. 46, n. 1, p. 212-219, 2018.

JESUS, A. L. T.; CRISTIANINI, M.; SANTOS, N. M.; MARÓSTICA JÚNIOR, M. R. Effects of high hydrostatic pressure on the microbial inactivation and extraction of bioactive compounds from açai (*Euterpe oleracea* Martius) pulp. **Food Research International**, v. 130, n. 1, 108856, 2020.

LEE, J. Anthocyanins of açai products in the United States. **NFS Journal**, v. 14-15, n. 1, p. 14-21, 2019.

LEE, K. W.; BODE, A. M.; DONG, Z. Molecular targets of phytochemicals for cancer prevention. **Nature Reviews Cancer**, v. 11, n. 1, p. 211-218, 2011.

LEITE, S. T.; ROBERTO, C. D.; SILVA, P. I.; CARVALHO, R. V. Polpa de juçara: fonte de compostos fenólicos, aumento da atividade antioxidante e da viabilidade de bactérias probióticas de iogurte. **Revista Ceres**, v. 65, n. 1, p. 16-23, 2018.

LI, T.; ZHANG, M. Effects of modified atmosphere package (MAP) with a silicon gum film window on the quality of stored green asparagus (*Asparagus officinalis* L) spears. **LWT – Food Science and Technology**, v. 60, n. 2, p. 1046-1053, 2015.

LIMA, F. E. L.; MENEZES, T. N.; TAVARES, M. P.; SZARFARC, S. C.; FISBERG, R. M. Ácidos graxos e doenças cardiovasculares: uma revisão. **Revista de Nutrição**, v. 13, n. 2, p. 73-80, 2000.

LORENZI, H.; NOBLICK, L.; KAHN, F.; FERREIRA, E. **Flora brasileira: Arecaceae** (palmeiras). 1. ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2010. 368 p.

LOUIS, P.; HOLD, G. L.; FLINT, H. J. The gut microbiota, bacterial metabolites and colorectal cancer. **Nature Reviews Microbiology**, v. 12, n. 1, p. 661-672, 2014.

LUCAS, B. F.; ZAMBIAZI, R. C.; COSTA, J. A. V. Biocompounds and physical properties of açai pulp dried by different methods. **LWT - Food Science and Technology**, v. 98, n. 1, p. 335-340, 2018.

MAQSOOD, S.; ADIAMO, O.; AHMAD, M.; MUDGIL, P. Bioactive compounds from date fruit and seed as potential nutraceutical and functional food ingredients. **Food Chemistry**, v. 308, n. 1, 125522, 2020.

MARÍN, L.; MIGUÉLEZ, E. M.; VILLAR, C. J.; LOMBÓ, F. Bioavailability of dietary polyphenols and gut microbiota metabolism: antimicrobial properties. **BioMed Research International**, v. 2015, n. 1, 905215, p. 1-18, 2015.

MOREDA-PIÑEIRO, J.; SÁNCHEZ-PIÑERO, J.; ALONSO-RODRÍGUEZ, E.; TURNES-CAROU, I.; LÓPEZ-MAHÍA, P.; MUNIATEGUI-LORENZO, S. Major, minor and trace elements composition of Amazonian foodstuffs and its contribution to dietary intake. **Journal of Food Measurement and Characterization**, v. 14, n. 3, p. 1314-1324, 2020.

MULER, A. E.; ROTHER, D. C.; BRANCALION, P. S.; NAVES, R. P.; RODRIGUES, R. R.; PIZO, M. A. Can overharvesting of a non-timber-forest-product change the regeneration dynamics of a tropical rainforest? The case study of *Euterpe edulis*. **Forest Ecology and Management**, v. 324, n. 1, p. 117-125, 2014.

NASCIMENTO, R. P.; REGUENGO, L. M.; MACHADO, A. P. F.; MORASTICA JUNIOR, M. R. The preventive and therapeutic potential of native Brazilian fruits on colorectal cancer. **Food Bioscience**, v. 46, n. 1, 101539, 2022.

NOMURA, A. M. Y.; WILKENS, L. R.; MURPHY, S. P.; HANKIN, J. H.; HENDERSON, B. E.; PIKE, M. C.; KOLONEL, L. N. Association of vegetable, fruit, and grain intakes with colorectal cancer: the multiethnic cohort study. **The American Journal of Clinical Nutrition**, v. 88, n. 3, p. 730-737, 2008.

PACHECO-PALENCIA, L. A.; TALCOTT, S. T.; SEGURO, S.; MERTENS-TALCOTT. Absorption and biological activity of phytochemical-rich extracts from açai (*Euterpe oleracea* Mart.) pulp and oil in vitro. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, v. 56, n. 10, p. 3593-3600, 2008.

REIS, S. O.; LUZ, T. C.; COUTO, C. V. M. S.; DALBÓ, J.; NUNES, L. C.; MARTINS, M. C.; SILVA, P. I.; SILVA, A. M. Á.; TRIVILIN, L. O. Juçara (*Euterpe edulis* Mart.) supplementation reduces aberrant crypt foci and increases SOD1 expression in the colorectal mucosa of carcinogenesis-induced rats. **Nutrition and Cancer**, v. 72, n. 4, p. 610-619, 2020.

ROGEZ, H. **Açai**: preparo, composição e melhoramento da conservação. Belém: EDUFPA, 2000. 313 p.

ROMUALDO, G. R.; FRAGOSO, M. F.; BORGUINI, R. G.; SANTIAGO, M. C. P. A.; FERNANDES, A. A. H.; BARBISAN, L. F. Protective effects of spray-dried açai (*Euterpe oleracea* Mart) fruit pulp against initiation step of colon carcinogenesis. **Food Research International**, v. 77, n. 3, p. 432-440, 2015.

RUFINO, M. D. S. M.; ALVES, R. E.; DE BRITO, E. S.; PÉREZ-JIMÉNEZ, J.; SAURACALIXTO, F.; MANCINI-FILHO, J. Bioactive compounds and antioxidant capacities of 18 non-traditional tropical fruits from Brazil. **Food Chemistry**, v. 121, n. 4, p. 996-1002, 2010.

SCHAUSS, A. G.; WU, X.; PRIOR, R. L.; OU, B.; PATEL, D.; HUANG, D.; KAPABICK, J. P. Phytochemical and nutrient composition of the freeze-dried amazonian palm berry, *Euterpe oleracea* Mart. (açai). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 54, n. 22, p. 8598-8603, 2006.

SCHULZ, M.; BORGES, G. S. C.; GONZAGA, L. V.; SERAGLIO, S. K. T.; OLIVO, I. S.; AZEVEDO, M. S.; NEHRING, P.; GOIS, I. S.; ALMEIDA, T. S.; VITALI, L.; SPUDEIT, D. A.; MICKE, G. A.; BORGES, D. L. G.; FETT, R. Chemical composition, bioactive compounds and antioxidant capacity of juçara fruit (*Euterpe edulis* Martius) during ripening. **Food Research International**, v. 77, part 2, p. 125-131, 2015.

SCHULZ, M.; BORGES, G. S. C.; GONZAGA, V.; COSTA, A. C. O. FETT, R. Juçara fruit (*Euterpe edulis* Mart.): sustainable exploitation of a source of bioactive compounds. **Food Research International**, v. 89, n. 1, p. 14-26, 2016.

SEVERO, J. S.; MORAIS, J. B. S.; FREITAS, T. E. C.; CRUZ, K. J. C.; OLIVEIRA, A. R. S.; POLTRONIERI, F.; MARREIRO, D. N. Aspectos Metabólicos e Nutricionais do Magnésio. **Nutrición Clínica Dietética Hospitalaria**, v. 35, n. 2, p. 67-74, 2015.

SILVA, M. P.; CUNHA, V. M. B.; SOUSA, S. H. B.; MENEZES, E. G. O.; BEZERRA, P. N.; FARIAS NETO, J. T.; FILHO, G. N. R.; ARAÚJO, M. E.; CARVALHO JR, R. N. Supercritical CO<sub>2</sub> extraction of lyophilized açai (*Euterpe oleracea* Mart.) pulp oil from three municipalities in the state of Pará, Brazil. **Journal of CO<sub>2</sub> Utilization**, v. 31, n. 1, p. 226-234, 2019.

SILVA, M. P.; SOUSA, S. H. B.; CUNHA, V. M. B.; SALAZAR, M. A. R.; AMARANTE, C. B.; ARAUJO, M. E.; CARVALHO JUNIOR, R. N. Avaliação da estrutura morfológica, química elementar, parâmetros de cor e composição em minerais da polpa de açai (*Euterpe oleracea* Mart.) de três diferentes localidades da região Amazônica. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 4, p. 18793-18803, 2020.

SILVA, N. A.; RODRIGUES, E.; MERCADANTE, A. Z.; ROSSO, V. V. Phenolic compounds and carotenoids from four fruits native from the brazilian atlantic forest. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 62, n. 22, p. 5072-5084, 2014.

SILVA, P. P. M.; CARMO, L. F.; SILVA, G. M.; SILVEIRA-DINIZ, M. F.; CASEMIRO, R. C.; SPOTO, M. H. Physical, chemical, and lipid composition of juçara (*Euterpe edulis* Mart.) pulp. **Alimentos e Nutrição = Brazilian Journal of Food and Nutrition**, v. 24, n. 1, p. 7-13, 2013.

SILVEIRA, J. T.; ROSA, A. P. C.; MORAIS, M. G.; VICTORIA, F. N.; COSTA, J. A. V. An integrative review of açai (*Euterpe oleracea* and *Euterpe precatoria*): traditional uses, phytochemical composition, market trends, and emerging applications. **Food Research International**, v. 173, n. 1, 113304, 2023.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6.ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 858 p.

VAN DUJNHOFEN, F. J.; MESQUITA, H. B. B.; FERRARI, P.; JENAB, M.; BOSHUIZEN, H. C.; ROS, M. M.; CASAGRANDE, C.; TJONNELAND, A.; OLSEN, A.; OVERVAD, K.; THORLACIUS-USSING, O.; CLAVEL-CHAPELON, F.; BOUTRON-RUAULT, M.; MOROIS, S.; KAKS, R.; LINSEISEN, J.; BOEING, H.; NOTHLINGS, U.; TRICHOPOULOU, A.; TRICHOPOULOS, D.; MISIRLI, G.; PALLI, D.; SIERI, S.; PANICO, S.; TUMINO, R.; VINEIS, P.; PEETERS, P.; VAN GILS, C.; OCKE, M.; LUND, E.; ENGESET, D.; SKEIE, G.; SUAREZ, L.; GONZALEZ, C.; SANCHEZ, M.; DORRONSORO, M.; NAVARRO, C.; BARRICARTE, A.; BERGLUND, G.; MANJER, J.; HALLMANS, G.; PALMQVIST, R.; BINGHAM, S.; KHAW, K.; KEY, T.; ALLEN, N.; BOFFETTA, P.; SLIMANI, N.; RINALDI, S.; GALLO, V.; NORAT, T.; RIBOLI, E. Fruit, vegetables, and colorectal cancer risk: the european prospective investigation into cancer and nutrition. **The American Journal of Clinical Nutrition**, v. 89, n. 5, p. 1441-1452, 2009.

YAMAGUCHI, K. K. L.; PEREIRA, L. F. R.; LAMARÃO, C. V.; LIMA, E. S.; VEIGA-JUNIOR, V. F. Amazon açai: chemistry and biological activities: a review. **Food Chemistry**, v. 179, n. 1, p. 137-151, 2015.

YUYAMA, L. K. O.; AGUIAR, J. P. L.; SILVA FILHO, D. F.; YUYAMA, K.; VAREJÃO, M. J.; FÁVARO, D. I. T.; VASCONCELLOS, M. B. A.; PIMENTEL, S. A.; CARUSO, M. S. F. Caracterização físico-química do suco de açai de *Euterpe precatoria* Mart. oriundo de diferentes ecossistemas amazônicos. **Acta Amazonica**, v. 41, n. 4, p. 545-552, 2011.



### 3. CAPÍTULO II: BIOACESSIBILIDADE E CITOTOXICIDADE DE COMPOSTOS ANTIOXIDANTES DE FRUTOS DE AÇAÍ E JUÇARA

#### RESUMO

A bioacessibilidade de compostos bioativos de frutos de espécies de *Euterpe* spp. pode indicar tanto seu valor nutricional quanto sua atividade biológica. Entretanto, composição e solubilidade de compostos bioativos são variáveis vegetais importantes nos mecanismos de bioacessibilidade e citotoxicidade. Neste trabalho foram estudadas as propriedades biológicas dos frutos da palmeira juçara, *E. edulis*, e das espécies de açaí, *E. oleracea* e *E. precatoria*. A bioacessibilidade e a citotoxicidade das frações bioacessíveis dos frutos dessas espécies de palmeiras submetidas a digestão simulada *in vitro* foram investigadas. Compostos fenólicos totais, antocianinas totais, capacidades de sequestro de radicais oxidantes (DPPH, peroxila e H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) e a capacidade antiproliferativa contra células Caco-2 foram determinados. De acordo com os resultados, a digestão simulada da polpa de *E. precatoria* apresentou a maior bioacessibilidade de compostos fenólicos totais (127,35 mg EAG g<sup>-1</sup>) e antocianinas totais (127,15 mg cianidina-3-glicosídeo g<sup>-1</sup>) em comparação a *E. edulis* (80,76 e 75,41, respectivamente) e *E. oleracea* (77,45 e 74,46, respectivamente). A digestão simulada da polpa de *E. precatoria* mostrou capacidade de eliminação dos radicais DPPH (307,30 μmol g<sup>-1</sup>), peroxila (63,94 μmol g<sup>-1</sup>) e H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (IC<sub>50</sub> 0,92 mg mL<sup>-1</sup>) mais elevada do que as polpas de *E. edulis* (181,86 μmol g<sup>-1</sup>, 39,27 μmol g<sup>-1</sup> e IC<sub>50</sub> 4,11 mg mL<sup>-1</sup>, respectivamente) e *E. oleracea* (143,87 μmol g<sup>-1</sup>, 31,48 μmol g<sup>-1</sup> e IC<sub>50</sub> 1,08 mg mL<sup>-1</sup>, respectivamente). O efeito citotóxico sobre as células Caco-2 mostrou inibição celular de 82,61% para a polpa de *E. edulis* e 85,31% para *E. precatoria*, mas esse efeito inibitório foi de apenas 30% para *E. oleracea*. Os resultados demonstraram que os frutos da palmeira *E. precatoria* possui o maior potencial bioativo entre as espécies estudadas, e que seu efeito antiproliferativo contra células Caco-2 foi similar aos frutos de *E. edulis*.

Palavras-chave: *Euterpe oleracea*, *E. precatoria*, *E. edulis*, digestão gastrointestinal *in vitro*, efeito antitumoral.

## ABSTRACT

The bioaccessibility of bioactive compounds from fruits of *Euterpe* spp. can indicate both its nutritional value and its biological activity. However, composition and solubility of bioactive compounds are important plant variables in bioaccessibility and cytotoxicity mechanisms. In this work, the biological properties of the fruits of the juçara palm, *E. edulis*, and the açai species, *E. oleracea* and *E. precatória*, were studied. The bioaccessibility and cytotoxicity of the bioaccessible fractions of the fruits of these palm species subjected to simulated in vitro digestion were investigated. Total phenolic compounds, total anthocyanins, oxidant radical scavenging capacities (DPPH, peroxy and H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) and antiproliferative capacity against Caco-2 cells were determined. According to the results, simulated digestion of *E. precatória* pulp showed the highest bioaccessibility of total phenolic compounds (127.35 mg EAG g<sup>-1</sup>) and total anthocyanins (127.15 mg cyanidin-3-glucoside g<sup>-1</sup>) compared to *E. edulis* (80.76 and 75.41, respectively) and *E. oleracea* (77.45 and 74.46, respectively). Simulated digestion of *E. precatória* pulp showed the highest scavenging capacity for DPPH (307.30 µmol g<sup>-1</sup>), peroxy (63.94 µmol g<sup>-1</sup>) and H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (IC<sub>50</sub> 0.92 mg mL<sup>-1</sup>) radicals than the pulps of *E. edulis* (181.86 µmol g<sup>-1</sup>, 39.27 µmol g<sup>-1</sup> and IC<sub>50</sub> 4.11 mg mL<sup>-1</sup>, respectively) and *E. oleracea* (143.87 µmol g<sup>-1</sup>, 31, 48 µmol g<sup>-1</sup> and IC<sub>50</sub> 1.08 mg mL<sup>-1</sup>, respectively). The cytotoxic effect on Caco-2 cells showed cellular inhibition of 82.61% for the pulp of *E. edulis* and 85.31% for *E. precatória*, but this inhibitory effect was only 30% for *E. oleracea*. The results demonstrated that the fruits of the *E. precatória* palm tree have the greatest bioactive potential among the species studied, and that their antiproliferative effect against Caco-2 cells was similar to the fruits of *E. edulis*.

Key-words: *Euterpe oleracea*, *E. precatória*, *E. edulis*, in vitro gastrointestinal digestion, antitumor effect.

### 3.1 INTRODUÇÃO

As palmeiras juçara (*Euterpe edulis* Mart.) e açai (*E. oleracea* Mart. e *E. precatória* Mart.) são espécies nativas do Brasil encontradas em diferentes regiões do país. Apresentam elevado potencial tecnológico, nutricional e econômico devido a exploração da polpa de seus frutos, que são utilizados na produção de sucos,

sorvetes, doces, geleias etc. A palmeira juçara (*E. edulis*) é nativa da Mata Atlântica, com exploração econômica realizada principalmente por agricultores familiares (ROCHA, 2013). As palmeiras *E. oleracea* e *E. precatória*, conhecidas como açázeiros, são nativas da região amazônica brasileira e seus frutos estão inseridos em uma cadeia produtiva bem desenvolvida e valorizada (CUNHA JÚNIOR et al., 2016).

A espécie *E. oleracea* tem recebido grande atenção da comunidade científica, pois seus frutos são considerados “superalimentos” devido à sua elevada atividade antioxidante e potenciais efeitos anti-inflamatórios (SILVA et al., 2019). Entretanto, estudos têm mostrado que frutos de juçara, *E. edulis*, também têm sido citados como alimento funcional e “superalimento”, isto porque os seus níveis de compostos bioativos são tão elevados quanto os encontrados em *E. oleracea*, como ácido ascórbico, tocoferóis, carotenoides, antocianinas, flavonoides e ácidos fenólicos (JAMAR et al., 2018; LEITE et al., 2018).

Estudos sobre a composição antioxidante de alimentos, de modo geral, não abordam a biodisponibilidade de compostos antioxidantes no organismo humano devido ao elevado custo, tempo de estudo e restrições éticas presentes em estudos nutricionais em humanos (MINEKUS et al., 2014). Desta forma, a utilização de ensaios *in vitro* com culturas celulares e métodos de digestão gastrointestinal simulada *in vitro* são capazes de gerar resultados rápidos a respeito da citotoxicidade em células cancerígenas e da bioacessibilidade de seus compostos bioativos.

Os métodos de digestão gastrointestinal *in vitro* simulam as condições fisiológicas *in vivo*, levando em consideração as enzimas, sais digestivos, pH e tempo de digestão, e são utilizados para abordar questões como bioacessibilidade de matrizes alimentares, ou seja, a quantidade de um composto liberado de uma matriz alimentar considerado disponível para absorção no intestino (MINEKUS et al., 2014). Embora tais métodos simulem as três fases da digestão humana (oral, gástrica e intestinal), apenas após a fase intestinal é possível obter uma amostra bioacessível.

Os estudos com culturas celulares abordam a citotoxicidade de compostos bioativos presentes na fração bioacessível de uma amostra em células carcinogênicas, ou seja, seu potencial de inviabilizar células de câncer cultivadas *in vitro*. Neste sentido, o modelo Caco-2 se refere a uma linhagem celular estabelecida a partir do adenocarcinoma do cólon humano, muito utilizada em estudos de

citotoxicidade. Essas células pertencem à classe tipo 1 de células intestinais humanas, diferenciando-se espontaneamente em condições normais de cultura, o que facilita sua utilização *in vitro* (PANSE; GERK, 2022).

Tanto a composição quanto a solubilidade de compostos extraídos de diferentes espécies vegetais são fatores importantes nos mecanismos de bioacessibilidade e citotoxicidade, ressaltando a importância de estudos sobre a composição antioxidante presente em cada espécie, e como eles são biodisponibilizados para serem absorvidos e metabolizados pelo organismo. Isto enfatiza a importância de avaliar a atividade antioxidante, tanto em extrato com solventes, quanto em sistemas de digestão simulada *in vitro*.

Neste trabalho foram estudadas as propriedades biológicas da polpa de frutos da palmeira juçara, *E. edulis*, e de duas espécies de açaí, *E. oleracea* e *E. precatoria*. O objetivo foi determinar a bioacessibilidade das polpas dos frutos dessas espécies de palmeiras, submetidas a digestão simulada *in vitro*, tendo como variáveis resposta os conteúdos de compostos fenólicos totais e antocianinas totais, além da atividade antioxidante. O efeito citotóxico contra células de adenocarcinoma do cólon humano Caco-2 também foi avaliado.

### 3.2 MATERIAL E MÉTODOS

Frutos de *E. edulis*, *E. oleracea* e *E. precatoria* foram obtidos diretamente de produtores em seus respectivos locais de origem, sendo que *E. edulis* foi obtida em Barra do Turvo - SP, localizada nas coordenadas geográficas 24°55'37"S 48°28'26"W; *E. oleracea* foi obtida em Igarapé-Miri - PA, localizada nas coordenadas geográficas 1°58'37"S 48° 57'34"W e *E. precatoria* foi obtida em Feijó - AC, localizada nas coordenadas geográficas 8°10'14"S 70°21'30"W e em Boca do Acre - AM, localizada nas coordenadas geográficas 8°44'26"S 67°23'3"W. Após a colheita, os frutos foram selecionados quanto a maturação e sanitizados nos respectivos locais de origem. Todas as amostras seguiram procedimento padrão de secagem dos frutos em estufa de circulação de ar forçado por 24 horas à 50 °C, com posterior acondicionamento em sacos de polietileno e despachadas via correio aéreo até o laboratório.

Após recebimento das amostras, os frutos de cada espécie foram despulpados manualmente, moídos e armazenados em freezer (-18 °C) até o momento da realização dos ensaios. Os ensaios foram conduzidos em delineamento inteiramente

casualizado, caracterizado em polpas de frutos das três espécies de *Euterpe* spp. (*E. edulis*, *E. oleracea* e *E. precatoria*), com 10 repetições de cada espécie. As análises foram realizadas no Laboratório de Tecnologia de Alimentos da UNIOESTE, Marechal Cândido Rondon - PR e no Laboratório de Bioquímica e Análise Instrumental da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ/USP), Piracicaba - SP.

### **3.2.1 Preparo do Extrato Etanólico**

As amostras secas e moídas das polpas dos frutos das espécies de *Euterpe* spp. foram extraídas com etanol:água (80:20, v/v), na relação 1:10 (m/v). Após agitação inicial por 1 minuto em vórtex, os extratos foram sonicados em banho ultrassônico (Unique, USC-2850 a) por 20 minutos a temperatura ambiente ( $25,0 \pm 5,0$  °C), e depois centrifugadas a 20.000 xg a 4 °C por 20 minutos em centrífuga de bancada (MPW 350-350R). Por fim, os extratos foram filtrados em papel filtro qualitativo e transferidos para tubos de ensaio para serem armazenados a -18 °C até o momento das análises.

### **3.2.2 Digestão Gastrointestinal Simulada *in vitro* e Bioacessibilidade**

A digestão gastrointestinal simulada *in vitro* das amostras secas e moídas das polpas das espécies de *Euterpe* spp. foi realizada de acordo com protocolo proposto pela rede COST Action INFOGEST FA1005 (BRODKORB et al., 2019), a qual consiste nas fases oral, gástrica e intestinal, utilizando, respectivamente, os fluidos sintéticos salivar, gástrico e intestinal, e suas respectivas enzimas (amilase, pepsina, sais de bile e pancreatina). Após a digestão, os tubos contendo as frações bioacessíveis (fase intestinal) foram centrifugados e os sobrenadantes foram coletados e armazenados em freezer (-18 °C) até o momento das análises de bioacessibilidade.

### **3.2.3 Compostos Fenólicos Totais (CFT) e Antocianinas Totais (AT)**

Os compostos fenólicos totais (CFT) das polpas dos frutos das espécies de *Euterpe* spp. foram analisados pelo método espectrofotométrico de Folin-Ciocalteu de acordo com Cheng et al. (2013) para cada amostra (extrato etanólico e fase intestinal). As leituras das absorbâncias foram realizadas em espectrofotômetro UV-visível Shimadzu (UV-1800) a 760 nm. Os resultados foram expressos em mg g<sup>-1</sup> da amostra seca em equivalente ácido gálico (EqAG), calculados por meio de curvas de

calibração ( $y = 77,983x - 2,6162$ ,  $R^2 = 0,9995$ ). As análises foram realizadas em triplicata.

As antocianinas totais (AT) das amostras (extrato etanólico e fase intestinal) foram determinadas através do método de pH diferencial proposto por Lee, Durst e Wrolstad (2005), em soluções tampão de pH 1,0 (KCl 0,025 M) e pH 4,5 (C<sub>2</sub>H<sub>3</sub>NaO<sub>2</sub> 0,4 M). As leituras das absorvâncias de ambas as diluições foram realizadas em espectrofotômetro UV-Vis Shimadzu (UV-1800) a 510 e 700 nm. Os valores de AT foram expressos em mg cianidina-3-glicosídeo g<sup>-1</sup> da amostra seca, calculados através da (Equação 1):

$$AT = (A \times 449,2 \times FD \times 1000) \div 26900 \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

A: (absorvância 510 nm - absorvância 700 nm) pH 1 - (absorvância 510 nm - absorvância 700 nm) pH 4,5; 449,2: massa molecular da antocianina cianidina-3-glicosídeo (g<sup>-1</sup> mol); FD: fator de diluição; 1000: fator de conversão de gramas para miligramas; 26900: coeficiente de extinção molar.

### 3.2.4 Atividade Antioxidante

#### 3.2.4.1 Sequestro do Radical Livre DPPH

A determinação do sequestro do radical livre DPPH das polpas dos frutos (extrato etanólico e fase intestinal) foi realizada segundo Siripatrawan e Harte (2010). As leituras das absorvâncias foram realizadas em espectrofotômetro UV-visível Shimadzu (UV-1800) a 517 nm. Os resultados foram expressos em μmol g<sup>-1</sup> amostra seca em equivalente Trolox (EqT), calculados por meio de curva de calibração ( $y = -350,3x + 167,69$ ,  $R^2 0,9975$ ). As análises foram realizadas em triplicata.

#### 3.2.4.2 Sequestro do Radical Livre Peroxila (ROO<sup>•</sup>) – Método ORAC

A análise da capacidade de sequestro do radical livre peroxila (ROO<sup>•</sup>), conhecido como método "ORAC" (*Oxygen Peroxila Radical Absorbance Capacity*), foi determinada para as polpas dos frutos das espécies de *Euterpe* spp. (extrato etanólico e fase intestinal) em microplaca de 96 poços. As leituras foram feitas em leitora de

microplacas SpectraMax M3 (Molecular Devices, LLC, Sunnyvale, CA, USA) em modo fluorescência, com emissão de 528 nm e excitação de 485 nm. Os resultados foram expressos em  $\mu\text{mol g}^{-1}$  amostra seca em equivalente Trolox (EqT), calculados por meio de curvas de calibração ( $y = 4\text{E-}05x - 28,542$ ,  $R^2 0,9923$ ). As análises foram realizadas em triplicata.

#### 3.2.4.3 Sequestro do Peróxido de Hidrogênio ( $\text{H}_2\text{O}_2$ )

O sequestro do  $\text{H}_2\text{O}_2$  das polpas dos frutos das espécies de *Euterpe* spp. foi determinado de acordo com o método descrito por Chisté et al. (2011), com modificações. A atividade sequestrante do  $\text{H}_2\text{O}_2$  foi determinada pelo monitoramento da oxidação da lucigenina. As leituras foram realizadas em leitor de microplacas SpectraMax M3 (Molecular Devices, LLC, Sunnyvale, CA, USA), modo luminescência, após 5 minutos de incubação. Os resultados foram expressos em  $\text{IC}_{50}$  ( $\text{mg mL}^{-1}$ ), que representa a quantidade de amostra necessária para inativar 50% do  $\text{H}_2\text{O}_2$  produzido na solução, ou seja, quanto menor o valor de  $\text{IC}_{50}$ , mais antioxidante é a amostra. As análises foram realizadas em triplicata.

#### 3.2.5 Viabilidade de Células Caco-2 (Método MTT)

Células intestinais humanas de adenocarcinoma do cólon (Caco-2) provenientes da American Type Culture Collection (ATCC® HTB-37™) foram cultivadas de acordo com Hubatsc, Ragnarsson e Artursson (2007). O ensaio de viabilidade das células Caco-2 foi realizado com base em Shappell (2003), por meio do ensaio MTT, baseado na capacidade das enzimas redutases presentes nas mitocôndrias de células viáveis em reduzir o sal 3-(4,5-dimetiltiazol-2yl)-2,5-difenil tetrazolium (MTT) ao composto formazan, o qual é produzido proporcionalmente ao número de células viáveis.

Células Caco-2 foram semeadas em microplacas de 96 poços e tratadas com concentrações crescentes das amostras dos frutos das espécies de *Euterpe* spp. (extrato etanólico e fase intestinal) (0,00, 1,25, 1,56, 2,50, 6,25, 12,50 e 25,00  $\mu\text{g mL}^{-1}$ ). Foram realizadas as leituras da absorbância a 570 nm em espectrofotômetro e os resultados foram expressos em porcentagem (%) de viabilidade celular.

### 3.2.6 Análise Estatística

Os dados das análises de atividade antioxidante (DPPH e ORAC), antocianinas e compostos fenólicos foram submetidos a análise de variância (ANOVA) e os parâmetros cujo teste F foi significativo, foram aplicados teste de Tukey ( $P < 0,05$ ) através do software estatístico Sisvar (FERREIRA, 2011). Os dados das análises do sequestro de  $H_2O_2$  e de viabilidade de células Caco-2 (método MTT) foram apresentados através das médias  $\pm$  desvio padrão.

## 3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.3.1 Bioaccessibilidade de Compostos Fenólicos Totais (CFT) a Antocianinas Totais (AT)

Compostos fenólicos totais (CFT) e antocianinas totais (AT) das polpas de *E. edulis*, *E. oleracea* e *E. precatoria* foram utilizados como modelos analíticos para estimar a biodisponibilidade desses compostos após extração etanólica e digestão gastrointestinal simulada *in vitro*. De acordo com a Tabela 1, os resultados obtidos das espécies de *Euterpe* spp. estudadas revelaram diferenças significativas do conteúdo de CFT, tanto no extrato etanólico quanto após a digestão simulada *in vitro*, onde *E. precatoria* apresentou valores significativamente mais elevados. O extrato etanólico de *E. precatoria* apresentou conteúdo de CFT ( $79,27 \text{ mg EqAG g}^{-1}$ ) significativamente maior do que *E. edulis* ( $12,27 \text{ mg EqAG g}^{-1}$ ) e *E. oleracea* ( $10,40 \text{ mg EqAG g}^{-1}$ ). Na digestão simulada *in vitro*, *E. precatoria* também mostrou o maior teor de CFT ( $127,35 \text{ mg EqAG g}^{-1}$ ), mostrando maior bioaccessibilidade destes compostos em comparação às espécies *E. edulis* ( $80,76 \text{ mg EqAG g}^{-1}$ ) e *E. oleracea* ( $77,45 \text{ mg EqAG g}^{-1}$ ). Os resultados de ambas as espécies *E. edulis* e *E. oleracea* foram estatisticamente semelhantes tanto no extrato etanólico, quanto após a digestão *in vitro*. Esses resultados indicam que *E. precatoria* é uma fonte de CFT mais promissora do que *E. edulis* e *E. oleracea*.



**Tabela 1** - Compostos fenólicos totais (CFT) das polpas dos frutos de três espécies de *Euterpe* spp. obtidas a partir do extrato etanólico e da digestão simulada *in vitro*.

	<b>Extrato etanólico (mg EqAG g<sup>-1</sup> amostra seca)</b>	<b>Digestão simulada <i>in vitro</i> (mg EqAG g<sup>-1</sup> amostra seca)</b>
<i>E. edulis</i>	12,27 b	80,76 b
<i>E. oleracea</i>	10,40 b	77,45 b
<i>E. precatoria</i>	79,27 a	127,35 a
CV (%)	5,89	2,73
DMS	3,36	4,34

Médias seguidas por mesma letra minúsculas na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05).

Para as três espécies de *Euterpe* spp. avaliadas, houve aumento dos teores de CFT na digestão simulada *in vitro* em comparação com o extrato etanólico (Tabela 1), sugerindo que a digestão gastrointestinal contribui para um aumento da bioacessibilidade desses compostos através da ativação ou formação de compostos bioativos. Apesar dos extratos de *E. edulis* e *E. oleracea* terem mostrado conteúdos de CFT significativamente menores do que *E. precatoria*, a digestão simulada mostrou que essas duas espécies tiveram aumentos de bioacessibilidade de CFT (aproximadamente 650% e 750%, respectivamente para *E. edulis* e *E. oleracea*) bem acima de *E. precatoria* (aproximadamente 160%). Apesar disso, *E. precatoria* foi a espécie que apresentou os conteúdos de CFT mais elevados tanto no extrato etanólico quanto na digestão *in vitro* (79,27 e 127,35 mg EqAG g<sup>-1</sup>, respectivamente), o que confirma que esta espécie é uma fonte mais rica de CFT, que se mostra mais bioacessível comparado às outras duas espécies estudadas.

A natureza heterogênea dos compostos presentes entre as polpas das espécies *Euterpe* spp. estudadas sugere que o processo de digestão *in vitro* favorece uma liberação variada de compostos fenólicos ligados, conduzindo a uma formação de novos compostos fenólicos através de ligações químicas destes com outros compostos presentes, como fibras e proteína, de acordo com Schulz et al. (2017), o que pode explicar os diferentes aumentos de bioacessibilidade encontrados entre as espécies de *Euterpe* spp. (Tabela 1).

Os resultados da Tabela 1 estão alinhados com Schulz et al. (2017), quando encontraram aumento significativo da biodisponibilidade de diferentes compostos fenólicos da polpa de frutos de *Euterpe* spp., mas que esta biodisponibilidade é variável com a natureza do composto fenólico, que é devido à complexidade química dos fenóis, às transformações que ocorrem durante a digestão e à interação com outros componentes da dieta. De acordo com esses autores, grande parte dos compostos fenólicos encontram-se em forma glicosilada, ésteres ou polímeros, sendo

estes hidrolisados durante a digestão gastrointestinal devido a ação do pH ácido do estômago e do pH alcalino do intestino, e suas respectivas enzimas, resultando em mudanças na estrutura fenol e na formação de derivados fenólicos por degradação parcial de demais formas combinadas, ou ainda, por interações com outros compostos liberados durante a digestão, como minerais, fibras ou proteínas, resultando na maior bioacessibilidade. Dantas et al. (2019) também verificaram significativa variabilidade da bioacessibilidade de tipos de compostos fenólicos, como catequina, epicatequina, procianidina, quercetina e rutina, presente nas polpas de diferentes frutos.

De acordo com a Tabela 2, no extrato etanólico e na fase intestinal, *E. precatoria* exibiu os conteúdos de AT mais elevados do que *E. edulis* e *E. oleracea*, e isto está em linha com os resultados de CFT (Tabela 1). O conteúdo de AT do extrato etanólico foi de 186,89 mg cianidina-3-glicosídeo g<sup>-1</sup>, enquanto *E. edulis* e *E. oleracea* foi de 7,08 e 8,03 mg cianidina-3-glicosídeo g<sup>-1</sup>, respectivamente. Na digestão simulada, *E. precatoria* apresentou conteúdo de AT (127,15 mg cianidina-3-glicosídeo g<sup>-1</sup>) significativamente maior do que *E. edulis* (75,41 mg cianidina-3-glicosídeo g<sup>-1</sup>) e *E. oleracea* (74,46 mg cianidina-3-glicosídeo g<sup>-1</sup>). Esses resultados indicam que *E. precatoria* pode ser uma fonte mais rica e mais bioacessível de antocianinas do que *E. edulis* e *E. oleracea*.

**Tabela 2** - Antocianinas totais (AT) das polpas dos frutos de três espécies de *Euterpe* spp. obtidas a partir do extrato etanólico e da digestão simulada *in vitro*.

	Extrato etanólico (mg cianidina-3-glicosídeo g <sup>-1</sup> amostra seca)	Digestão simulada <i>in vitro</i> (mg cianidina-3-glicosídeo g <sup>-1</sup> amostra seca)
<i>E. edulis</i>	7,08 b	75,41 b
<i>E. oleracea</i>	8,03 b	74,46 b
<i>E. precatoria</i>	186,89 a	127,15 a
CV (%)	4,36	1,14
DMS	5,41	3,62

Médias seguidas por mesma letra minúsculas na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05).

As diferenças dos teores de AT verificadas entre as espécies avaliadas mostram que *E. precatoria* é uma fonte de antocianinas expressivamente mais elevada do que *E. edulis* e *E. oleracea* (Tabela 2). Esses resultados corroboram com Pacheco-Palencia, Duncan e Talcott (2009) quando encontraram em frutos de *E. precatoria* conteúdo de AT cerca de 50 vezes maior do que em *E. oleracea*. É importante ressaltar que entre os fatores envolvidos nas variações observadas nos níveis de AT entre as espécies estudadas, estão a variação genética e as condições ambientais de cultivo. Esses fatores podem afetar síntese e acúmulo de antocianinas

nos frutos, resultando em diferentes perfis de compostos bioativos entre espécies (TAIZ et al., 2017).

Foi observado um aumento expressivo nos valores de AT das polpas após a digestão *in vitro* (Tabela 2), especialmente para *E. edulis* e *E. oleracea*. Esse aumento foi mais expressivo em *E. edulis*, que teve um aumento superior a 10 vezes de seu teor de AT após a digestão *in vitro*, quando comparado ao extrato etanólico, sugerindo que o processo digestivo é eficiente para tornar esses compostos mais bioacessíveis, ou seja, disponível para ser absorvida pela parede intestinal para corrente sanguínea, e conseqüentemente, utilizada pelos tecidos e órgãos. Desta forma, esses resultados reforçam a importância da avaliação da bioacessibilidade de compostos bioativos presentes em matrizes alimentícias de grande atividade biológica como as polpas dos frutos de *Euterpe* spp.

Embora a espécie *E. precatória* tenha apresentado valores mais elevados de AT neste estudo, tanto no extrato etanólico quanto na digestão simulada, *E. oleracea* é considerada excelente fonte de polifenóis e antocianinas de alta atividade biológica. Por essas características, amostras de açaí liofilizadas têm sido utilizadas para obtenção de padrões isolados de cianidina-3-glicosídeo e cianidina-3-rutinosídeo, uma vez que são as duas antocianinas mais abundantes nas espécies de açaí (GOUVÊA et al., 2012; YAMAGUCHI et al., 2015).

Os resultados da Tabela 2 estão em linha com relatos de autores anteriores, que relataram que compostos flavonoides, como as antocianinas têm sua solubilidade aumentada durante a exposição as condições gástricas e intestinais da digestão devido a ação do pH e enzimas, impactando assim sua capacidade de fazer ligações e formar novos compostos, e conseqüentemente, na sua bioacessibilidade (GULLON et al., 2015; LUCAS-GONZALES et al., 2016). De acordo com Gullon et al. (2015), flavonoides ligados a compostos de alto peso molecular, como proteínas, pode ser liberado pela ação de enzimas digestivas, podendo se ligar a outros compostos para a formação de novas estruturas moleculares. Entretanto, de acordo com Schulz et al. (2017), a bioacessibilidade dos compostos fenólicos de matrizes alimentícias é variável e dependente de fatores, como a espécie vegetal e a natureza dos compostos.

### 3.3.2 Atividade Antioxidante e Bioacessibilidade

Três modelos de atividade antioxidante baseados na capacidade de sequestro dos radicais DPPH, peroxila e  $H_2O_2$  foram utilizados para estimar a bioacessibilidade das polpas dos frutos *E. edulis*, *E. oleracea* e *E. precatoria*. A escolha desses modelos de atividade antioxidante se baseou na sua relativa eficácia em simular a capacidade dos compostos presentes nas polpas dos frutos em neutralizar radicais livres, que são conhecidos por causar estresses oxidativos e danos celulares. Esses modelos podem fornecer uma medida importante da atividade antioxidante dos extratos etanólicos e das amostras após a digestão gastrointestinal.

Os resultados de atividade antioxidante foram comparados entre os extratos etanólico e bioacessível (fase intestinal), e entre as espécies estudadas. Os resultados de bioacessibilidade baseados na capacidade de sequestro do radical DPPH das polpas em extrato etanólico e digeridas *in vitro* são apresentados na Tabela 3. No extrato etanólico, *E. edulis* mostrou a maior atividade antioxidante DPPH ( $34,62 \mu\text{mol EqT g}^{-1}$ ), enquanto *E. precatoria* mostrou a menor atividade antioxidante ( $4,47 \mu\text{mol EqT g}^{-1}$ ). Por outro lado, após a digestão *in vitro*, *E. precatoria* teve a maior atividade antioxidante DPPH,  $307,30 \mu\text{mol EqT g}^{-1}$ , contra  $181,86$  e  $143,87 \mu\text{mol EqT g}^{-1}$  das espécies *E. edulis* e *E. oleracea*, respectivamente.

**Tabela 3** - Capacidade de sequestro do radical DPPH das polpas dos frutos de três espécies de *Euterpe* spp. obtidas a partir do extrato etanólico e da digestão simulada *in vitro*.

	Extrato etanólico ( $\mu\text{mol EqT g}^{-1}$ amostra seca)	Digestão simulada <i>in vitro</i> ( $\mu\text{mol EqT g}^{-1}$ amostra seca)
<i>E. edulis</i>	34,62 a	181,86 b
<i>E. oleracea</i>	17,06 b	143,87 c
<i>E. precatoria</i>	4,47 c	307,30 a
CV (%)	17,23	9,23
DMS	3,79	29,49

Médias seguidas por mesma letra minúsculas na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

Todas as espécies estudadas mostraram aumentos de atividade antioxidante DPPH na digestão simulada (Tabela 3). Entretanto, embora *E. precatoria* tenha mostrado a menor atividade antioxidante em extrato etanólico, foi a que apresentou a maior capacidade de inativar o radical DPPH na digestão simulada. A menor atividade antioxidante em extrato etanólico de *E. precatoria* sugere uma menor solubilidade dos compostos antioxidantes presentes nesta amostra e, portanto, menos disponíveis para reagir. No entanto, durante a digestão os compostos presentes na amostra *E. precatoria* podem ter sido convertidos em compostos mais solúveis e reativos (DUTRA

et al., 2017; SCHULZ et al., 2017), resultando em maior atividade antioxidante da amostra digerida, o que sugere uma maior bioacessibilidade dos compostos bioativos presentes nos frutos de *E. precatoria*.

O aumento expressivo da capacidade de sequestro do radical DPPH de *E. precatoria* após a digestão (Tabela 3), em contraste com as outras duas espécies, também pode estar relacionado à natureza dos compostos extraídos, os quais podem diferir entre as espécies de frutos estudadas. Cada espécie pode apresentar diferentes compostos antioxidantes, de diferentes propriedades químicas e estruturais, que podem afetar a absorção e a metabolização desses compostos pelo organismo (MELO et al., 2020; VERRUCK; PRUDENCIO; SILVEIRA, 2018).

De acordo com estudos anteriores, a atividade antioxidante de amostras digeridas tende a ser maior do que a atividade encontrada em extrato etanólico, ou seja, mesmo que o extrato etanólico apresente uma atividade antioxidante relativamente baixa, os compostos podem ser transformados durante a digestão, apresentando uma maior atividade antioxidante no organismo por ter sua extração facilitada devido a ação do processo digestivo (YAO et al., 2021; HU et al., 2023).

Os resultados da capacidade de sequestro do radical peroxila (método ORAC) do extrato etanólico e da digestão simulada das polpas de frutos *Euterpe* spp. são mostrados na Tabela 4. No extrato etanólico, *E. precatoria* apresentou a maior capacidade de sequestro do radical peroxila (175,87 EqT g<sup>-1</sup>), seguida de *E. edulis* (11,32 EqT g<sup>-1</sup>) e *E. oleracea* (4,31 EqT g<sup>-1</sup>). Após a digestão simulada houve aumento da capacidade de sequestro do radical peroxila de *E. edulis* e *E. oleracea* (39,27 e 31,48 EqT g<sup>-1</sup>, respectivamente), em contraste com *E. precatoria*, que teve sua atividade antioxidante reduzida (63,94 EqT g<sup>-1</sup>). Estes resultados são consistentes com os encontrados para AT (Tabela 2), que mostraram aumentos de bioacessibilidade significativamente maiores em *E. edulis* e *E. oleracea*, quando comparados a *E. precatoria*. Isto indica que as espécies de *Euterpe* spp. apresentam compostos antioxidantes de alta bioacessibilidade.

**Tabela 4** - Capacidade de sequestro do radical peroxila (ORAC) das polpas dos frutos de três espécies de *Euterpe* spp. obtidas a partir do extrato etanólico e da digestão simulada *in vitro*.

	<b>Extrato etanólico (<math>\mu\text{mol EqT g}^{-1}</math> amostra seca)</b>	<b>Digestão simulada <i>in vitro</i> (<math>\mu\text{mol EqT g}^{-1}</math> amostra seca)</b>
<i>E. edulis</i>	11,32 b	39,27 b
<i>E. oleracea</i>	4,31 b	31,48 c
<i>E. precatoria</i>	175,87 a	63,94 a
CV (%)	4,23	3,76
DMS	12,55	5,24

Médias seguidas por mesma letra minúsculas na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

Embora *E. precatoria* tenha apresentado redução da atividade antioxidante ORAC após o processo de digestão *in vitro* (Tabela 4), sua capacidade de sequestro do radical peroxil ainda foi maior do que *E. edulis* e *E. oleracea*, o que reforça sua maior bioacessibilidade de compostos antioxidantes e, conseqüentemente, seu maior potencial antioxidante. Por outro lado, os aumentos da atividade antioxidante ORAC de *E. edulis* e *E. oleracea* sugerem que a digestão simulada foi capaz de solubilizar compostos antioxidantes mais reativos para sequestrar radicais peroxil do que em *E. precatoria*.

Os resultados da capacidade de sequestro do radical  $\text{H}_2\text{O}_2$ , expressos em  $\text{IC}_{50}$ , são apresentados na Tabela 5. A expressão  $\text{IC}_{50}$  representa a metade da concentração inibitória máxima, ou seja, indica a concentração de uma substância necessária para reduzir a atividade biológica em 50% que, neste caso, é a concentração do extrato da amostra necessária para eliminar 50% da espécie reativa  $\text{H}_2\text{O}_2$ . Em contraste com os resultados não mensuráveis dos extratos etanólicos de *E. edulis* e *E. oleracea*, apenas *E. precatoria* apresentou capacidade de sequestro do radical  $\text{H}_2\text{O}_2$ , com  $\text{IC}_{50}$  de  $16,18 \text{ mg mL}^{-1}$ . Isto indica que, nas condições de extração etanólica propostas, o extrato de *E. precatoria* foi o único que continha uma concentração de compostos antioxidantes suficiente para causar redução da atividade de  $\text{H}_2\text{O}_2$ . É importante destacar que os resultados de atividade antioxidante podem variar dependendo do método utilizado, uma vez que outras metodologias utilizadas neste estudo (Tabelas 3 e 4) foram capazes de detectar atividade antioxidante no extrato etanólico.

**Tabela 5** - Sequestro de peróxido de hidrogênio (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) das polpas dos frutos de três espécies de *Euterpe* spp. obtidas a partir do extrato etanólico e da digestão simulada *in vitro*.

	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> , Extrato etanólico (IC <sub>50</sub> , mg mL <sup>-1</sup> )	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> , Digestão simulada <i>in vitro</i> (IC <sub>50</sub> , mg mL <sup>-1</sup> )
<i>E. edulis</i>	n.d.	4,11 ± 0,06
<i>E. oleracea</i>	n.d.	1,08 ± 0,05
<i>E. precatoria</i>	16,18 ± 2,64	0,92 ± 0,02

Médias ± desvio padrão; n.d.: não detectado (valores não mensuráveis pelo método de análise).

Após a digestão simulada, todas as espécies apresentaram inibição do radical H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (Tabela 5). Entretanto, *E. precatoria* foi a espécie com a maior capacidade inibitória, ou seja, o menor IC<sub>50</sub> (0,92 mg mL<sup>-1</sup>), seguido por *E. oleracea* (1,08 mg mL<sup>-1</sup>) e *E. edulis* (4,1 mg mL<sup>-1</sup>). A digestão simulada foi eficiente para solubilizar e liberar compostos antioxidantes das amostras estudadas, o que explica tanto a expressão de atividade inibitória das espécies *E. edulis* e *E. oleracea*, como o aumento da atividade inibitória da espécie *E. precatoria*.

### 3.3.3 Viabilidade de Células Caco-2 (Método MTT)

O ensaio de viabilidade de células Caco-2, através do método MTT, foi realizado com as polpas dos frutos de *E. edulis*, *E. oleracea* e *E. precatoria* após digestão gastrointestinal simulada *in vitro* utilizando diferentes concentrações de polpas dos frutos das três espécies (0,00, 1,25, 1,56, 2,50 µg mL<sup>-1</sup>). Não foi identificada citotoxicidade das amostras em extrato etanólico, pois os resultados de viabilidade das células Caco-2 dessas amostras estiveram entre 87,6% e 100%. Isto pode ter ocorrido devido à baixa bioacessibilidade dos compostos bioativos nas amostras não digeridas e, devido a isso, seus dados não foram apresentados.

Para o cálculo dos resultados de viabilidade de células Caco-2 foi necessário desconsiderar o efeito citotóxico proveniente das enzimas utilizadas na digestão simulada *in vitro*. Após a realização de testes utilizando diferentes concentrações das amostras digeridas (0,00, 1,25, 1,56, 2,50, 6,25, 12,50 e 25,00 µg mL<sup>-1</sup>), concluiu-se que a viabilidade das células Caco-2 tratadas com as concentrações de 6,25, 12,50 e 25,00 µg mL<sup>-1</sup> das amostras digeridas estavam diretamente relacionadas à ação das enzimas oriundas da digestão *in vitro*, isto é, qualquer ação citotóxica sobre as células Caco-2 tratadas com as concentrações citadas eram, na verdade, ação das enzimas digestivas utilizadas, e não dos compostos bioacessíveis presentes. Portanto, apenas as amostras digeridas nas concentrações 1,25, 1,56 e 2,5 µg mL<sup>-1</sup> foram

consideradas. A concentração  $0,00 \mu\text{g mL}^{-1}$ , sem adição de amostra, foi utilizada como controle.

Os resultados de viabilidade das células Caco-2 tratadas com amostras digeridas em diferentes concentrações são mostrados na Tabela 6. O aumento da concentração das polpas dos frutos das três espécies foi capaz de reduzir a viabilidade celular. A concentração  $1,25 \mu\text{g mL}^{-1}$  resultou em pequena redução da viabilidade de células Caco-2 quando tratadas com *E. edulis* (87,64%) e *E. precatoria* (96,78%), e não afetou a viabilidade celular quando tratadas com *E. oleracea* (100%). A concentração  $1,56 \mu\text{g mL}^{-1}$  também resultou em pequena redução da viabilidade celular naquelas tratadas com *E. edulis* (84,38%), *E. oleracea* (96,6%) e *E. precatoria* (94,15%). Entretanto, a concentração mais alta ( $2,5 \mu\text{g mL}^{-1}$ ) resultou em redução expressiva da viabilidade de células tratadas com *E. edulis* (17,39%) e *E. precatoria* (14,69%), mas não para *E. oleracea* (70,06%). Esses resultados indicam que a viabilidade das células Caco-2 é afetada pelas diferentes concentrações das polpas de frutos das espécies testadas, mas que *E. edulis* e *E. precatoria* são mais efetivas em inibir células Caco-2 em contraste a *E. oleracea*.

**Tabela 6** - Viabilidade de células Caco-2 tratadas com concentrações das polpas dos frutos de três espécies de *Euterpe* spp. obtidas a partir da digestão simulada *in vitro*.

	<b><math>0,00 \mu\text{g mL}^{-1}</math> (% <math>\pm</math> DP)</b>	<b><math>1,25 \mu\text{g mL}^{-1}</math> (% <math>\pm</math> DP)</b>	<b><math>1,56 \mu\text{g mL}^{-1}</math> (% <math>\pm</math> DP)</b>	<b><math>2,50 \mu\text{g mL}^{-1}</math> (% <math>\pm</math> DP)</b>
<i>E. edulis</i>	100,00 $\pm$ 4,14	87,64 $\pm$ 6,82	84,38 $\pm$ 5,76	17,39 $\pm$ 0,45
<i>E. oleracea</i>	100,00 $\pm$ 4,14	100,00 $\pm$ 2,21	96,60 $\pm$ 4,76	70,06 $\pm$ 7,64
<i>E. precatoria</i>	97,50 $\pm$ 4,04	96,78 $\pm$ 7,32	94,15 $\pm$ 7,53	14,69 $\pm$ 0,50

Médias  $\pm$  desvio padrão (DP).

O maior efeito inibitório sobre células Caco-2 exibida por *E. precatoria* (Tabela 6) está alinhado com os resultados de CFT e ACT (Tabelas 1 e 2) e atividade antioxidante (Tabelas 3, 4 e 5). Tais resultados destacam *E. precatoria* como a melhor fonte de compostos bioativos bioacessíveis e com maior atividade antioxidante, entre as espécies de *Euterpe* spp. estudadas. Fica evidente que o maior efeito protetor e antiproliferativo contra células Caco-2 exibido por *E. precatoria* está associado ao seu melhor perfil bioacessível.

*E. edulis* apresentou respostas de bioacessibilidade de compostos bioativos e atividade antioxidante inferiores a *E. precatoria* (Tabelas 1 a 5). Entretanto, é importante ressaltar que *E. edulis* demonstrou efeito antiproliferativo similar (Tabela 6). Isso sugere que outros compostos antioxidantes presentes na polpa de frutos de



*E. edulis* podem ter contribuído para esse efeito, como carotenoides e ácido ascórbico, ou compostos com propriedades anti-inflamatórias, como ácidos graxos insaturados (BILAWAL et al., 2021). Em adição, pesquisas adicionais devem ser realizadas para identificar o perfil completo de compostos ativos e elucidar os mecanismos subjacentes ao efeito antiproliferativo observado em *E. edulis*.

Os resultados da Tabela 6 são consistentes com o estudo de Silva et al. (2014), que também não encontraram efeito citotóxico *in vitro* da polpa de *E. oleracea* sobre células Caco-2. É relevante considerar que *E. oleracea* é a espécie mais amplamente explorada comercialmente na indústria de açaí devido a sua popularidade, aceitação pelos consumidores, disponibilidade e facilidade de cultivo. Além disso, essa espécie tem sido amplamente estudada e reconhecida como fonte rica em compostos antioxidantes, tais como antocianinas e flavonoides (SILVA et al., 2019), que podem desempenhar papel protetor contra a proliferação de células Caco-2, como demonstrado por Nascimento et al. (2022).

Os resultados deste estudo sugerem que os frutos de *E. precatoria* e *E. edulis* podem ser consideradas opções interessantes para serem incluídas na indústria do açaí, mas os frutos de *E. precatoria* se destacam pela maior bioacessibilidade de compostos com atividade bioativa.

### 3.4 CONCLUSÕES

Tanto o extrato etanólico quanto a fração bioacessível da digestão *in vitro* da polpa dos frutos de *E. precatoria* apresentaram teores de CFT, AT e capacidade de sequestro dos radicais DPPH, peroxila e H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> mais elevados do que *E. edulis* e *E. oleracea*. As espécies *E. precatoria* e *E. edulis* foram eficientes para inviabilizar mais do que 82% de células Caco-2, enquanto *E. oleracea* não foi capaz de inviabilizar mais do que 30%.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BILAWAL, A.; ISHFAQ, M.; GANTUMUR, M. A.; QAYUM, A.; SHI, R.; FAZILANI, S. A.; ANWAR, A.; JIANG, Z.; HOU, J. A review of the bioactive ingredients of berries and their applications in curing diseases. **Food Bioscience**, v. 44, n. 1, 101407, 2021.
- BRODKORB, A.; EGGER, L.; ALMINGER, M.; ALVITO, P.; ASSUNÇÃO, R.; BALANCE, S.; BOHN, T.; BOURLIEU-LACANAL, C.; BOUTROU, R.; CARRIÈRE, F.; CLEMENTE, A.; CORREDIG, M.; DUPONT, D.; DUFOUR, C.; EDWARDS, C.; GOLDING, M.; KARAKAYA, S.; KIRKHUS, B.; FEUNTEUN, S. L.; LESMES, U.;

MACIERZANKA, A.; MACKIE, A. R.; MARTINS, C.; MARZE, S.; MCCLEMENTS, D. J.; MÉNARD, O.; MINEKUS, M.; PORTMANN, R.; SANTOS, C. N.; SOUCHON, I.; SINGH, R. P.; VEGARUD, G. E.; WICKHAM, M. S. J.; WEITSCHIES, W.; RECIO, I. INFOGEST static in vitro simulation of gastrointestinal food digestion. **Nature Protocols**, v. 14, n. 4, p. 991-1014, 2019.

CHENG, K. C.; WU, J. Y.; LIN, J. T.; LIU, W. H. Enhancements of isoflavone aglycones, total phenolic content, and antioxidant activity of black soybean by solid-state fermentation with *Rhizopus* spp. **European Food Research and Technology**, v. 236, n. 6, p. 1107-1113, 2013.

CHISTÉ, R. C.; MERCADANTE, A. Z.; GOMES, A.; FERNANDES, E.; LIMA, J. L. F. C.; BRAGAGNOLO, N. In vitro scavenging capacity of annatto seed extracts against reactive oxygen and nitrogen species. **Food Chemistry**, v. 127, n. 2, p. 419-426, 2011.

CUNHA JÚNIOR, L. C.; TEIXEIRA, G. H. A.; NARDINI, V. N.; WALSH, K. B. Quality evaluation of intact açai and juçara fruit by means of near infrared spectroscopy. **Postharvest Biology and Technology**, v. 112, n. 1, p. 64-74, 2016.

DANTAS, A. M.; MAFALDO, I. M.; OLIVEIRA, P. M. L.; LIMA, M. S.; MAGNANI, M.; BORGES, G. S. C. Bioaccessibility of phenolic compounds in native and exotic frozen pulps explored in Brazil using a digestion model coupled with a simulated intestinal barrier. **Food Chemistry**, v. 274, n. 1, p. 202-214, 2019.

DUTRA, R. L.; DANTAS, A. M.; MARQUES, D. A.; BATISTA, J. D. F.; MEIRELES, R. L. A.; CORDEIRO, A. M. T. M.; MAGNANI, M.; BORGES, G. S. C. Bioaccessibility and antioxidant activity of phenolic compounds in frozen pulps of Brazilian exotic fruits exposed to simulated gastrointestinal conditions. **Food Research International**, v. 100, n. 1, p. 650-657, 2017.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

GOUVÊA, A. C. M. S.; ARAUJO, M. C. P.; SCHULZ, D. F.; PACHECO, S.; GODOY, R. L. O.; CABRAL, L. M. C. Anthocyanins standards (cyanidin-3-O-glucoside and cyanidin-3-O-rutinoside) isolation from freeze-dried açai (*Euterpe oleracea* Mart.) by HPLC. **Food Science and Technology**, v. 32, n. 1, p. 43-46, 2012.

GULLON, B.; PINTADO, M. E.; FERNÁNDEZ-LÓPEZ, J.; PÉREZ-ÁLVAREZ, J. A.; VIUDA-MARTOS, M. In vitro gastrointestinal digestion of pomegranate peel (*Punica granatum*) flour obtained from co-products: changes in the antioxidant potential and bioactive compounds stability. **Journal of Functional Foods**, v. 19, part A, p. 617-628, 2015.

HU, Y.; LIN Q.; ZHAO, H.; LI, X.; SANG, S.; MCCLEMENTS, D. J.; LONG, J.; JIN, Z.; JIN, Z.; WANG, J.; QIU, C. Bioaccessibility and bioavailability of phytochemicals: influencing factors, improvements, and evaluations. **Food Hydrocolloids**, v. 135, n. 1, p. 108165, 2023.

JAMAR, G.; SANTAMARINA, A. B.; MENNITTI, L. V.; CESAR, H. C.; OYAMA, L. M.; ROSSO, V. V.; PISANI, L. P. *Bifidobacterium* spp. reshaping in the gut microbiota by low dose of juçara supplementation and hypothalamic insulin resistance in wistar rats. **Journal of Functional Foods**, v. 46, n. 1, p. 212-219, 2018.

LEE, J.; DURST, R. W.; WROLSTAD, R. E. Determination of total monomeric anthocyanin pigment content of fruit juices, beverages, natural colorants, and wines by the pH differential method: collaborative study. **Journal of AOAC International**, v. 88, n. 5, p. 1269-1278, 2005.

LEITE, S. T.; ROBERTO, C. D.; SILVA, P. I.; CARVALHO, R. V. Polpa de juçara: fonte de compostos fenólicos, aumento da atividade antioxidante e da viabilidade de bactérias probióticas de iogurte. **Revista Ceres**, v. 65, n. 1, p. 16-23, 2018.

MELO, P. S.; MASSARIOLI, A. P.; LAZARINI, J. G.; SOARES, J. C.; FRANCHIN, M.; ROSALEN, P. L.; ALENCAR, S. M. Simulated gastrointestinal digestion of Brazilian açai seeds affects the content of flavan-3-ol derivatives, and their antioxidant and anti-inflammatory activities. **Heliyon**, v. 6, n. 10, e05214, 2020.

MINEKUS, M.; ALMINGER, M.; ALVITO, P.; BALANCE, S.; BOHN, T.; BOURLIEU, C.; CARRIÈRE, F.; BOUTROU, R.; CORREDIG, M.; DUPONT, D.; DUFOUR, C.; EGGER, L.; GOLDING, M.; KARAKAYA, S.; KIRKHUS, B.; FEUNTEUN, S. L.; LESMES, U.; MACIERZANKA, A.; MACKIE, A.; MARZE, S.; MCCLEMENTS, D. J.; MÉNARD, O.; RECIO, I.; SANTOS, C. N.; SINGH, R. P.; VEGARUD, G. E.; WICKHAM, M. S. J.; WEITSCHIES, W.; BRODKORB, A. A standardised static in vitro digestion method suitable for food - an international consensus. **Food & Function**, v. 5, n. 1, p. 1113-1124, 2014.

NASCIMENTO, R. P.; REGUENGO, L. M.; MACHADO, A. P. F.; MORASTICA JUNIOR, M. R. The preventive and therapeutic potential of native Brazilian fruits on colorectal cancer. **Food Bioscience**, v. 46, n. 1, 101539, 2022.

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.

PANSE, N.; GERK, P. M. The Caco-2 model: modifications and enhancements to improve efficiency and predictive performance. **International Journal of Pharmaceutics**, v. 624, n. 1, 122004, 2022.

ROCHA, L. Análise e plano de melhoria da cadeia de valor da polpa dos frutos da palmeira juçara. **Relatório Técnico**, p. 1-37, 2013. Disponível em: <<https://docplayer.com.br/83878404-Relatorio-tecnico-analise-e-plano-de-melhoria-da-cadeia-de-valor-da-polpa-dos-frutos-da-palmeira-jucara.html>>. Acesso em 30 jun. 2023.

SCHULZ, M.; BILUCA, F. C.; GONZAGA, L. V.; BORGES, G. S. C.; VITALI, L.; MICKE, G. A.; GOIS, J. S.; ALMEIDA, T. S.; BORGES, D. L. G.; MILLER, P. R. M.; COSTA, A. C. O.; FETT, R. Bioaccessibility of bioactive compounds and antioxidant potential of

juçara fruits (*Euterpe edulis* Martius) subjected to in vitro gastrointestinal digestion. **Food Chemistry**, v. 228, n. 1, p. 447-454, 2017.

SHAPPELL, N. W. Ergovaline toxicity on Caco-2 cells as assessed by MTT, alamarblue, and DNA assays. **In Vitro Cellular and Developmental Biology – Animal**, v. 39, n. 1, p. 329-335, 2003.

SILVA, D. F.; VIDAL, F. C. B.; SANTOS, D.; COSTA, M. C. P.; MORGADO-DÍAZ, J. A.; NASCIMENTO, M. D. S. B.; MOURA, R. S. Cytotoxic effects of *Euterpe oleracea* Mart. in malignant cell lines. **BMC Complementary and Alternative Medicine**, v. 14, n. 175, p. 1-9, 2014.

SILVA, M. P.; CUNHA, V. M. B.; SOUSA, S. H. B.; MENEZES, E. G. O.; BEZERRA, P. N.; FARIAS NETO, J. T.; ROCHA FILHO, G. N.; ARAÚJO, M. E.; CARVALHO JR., R. N. Supercritical CO<sub>2</sub> extraction of lyophilized açai (*Euterpe oleracea* Mart.) pulp oil from three municipalities in the state of Pará, Brazil. **Journal of CO<sub>2</sub> Utilization**, v. 31, n. 1, p. 226-234, 2019.

SIRIPATRAWAN, U.; HARTE, B. R. Physical properties and antioxidant activity of an active film from chitosan incorporated with green tea extract. **Food Hydrocolloids**, v. 24, n. 8, p. 770-775, 2010.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6.ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 858 p.

VERRUCK, S.; PRUDENCIO, E. S.; SILVEIRA, S. M. Compostos bioativos com capacidade antioxidante e antimicrobiana em frutas. **Revista do Congresso Sul Brasileiro de Engenharia de Alimentos**, v. 4, n. 1, p. 111-124, 2018.

YAMAGUCHI, K. K. L.; PEREIRA, L. F. R.; LAMARÃO, C. V.; LIMA, E. S.; VEIGA-JUNIOR, V. F. Amazon açai: chemistry and biological activities: a review. **Food Chemistry**, v. 179, n. 1, p. 137-151, 2015.

YAO, K.; MCCLEMENTS, D. J.; YAN, C.; XIAO, J.; LIU, H.; CHEN, Z.; HOU, X.; CAO, Y.; XIAO, H.; LIU, X. In vitro and in vivo study of the enhancement of carotenoid bioavailability in vegetables using excipient nanoemulsions: impact of lipid content. **Food Research International**, v. 141, n. 1, 110162, 2021.

#### 4. CAPÍTULO III: COMPOSIÇÃO PROXIMAL E NUTRICIONAL DE POLPAS DE AÇAÍ E JUÇARA

##### RESUMO

*Euterpe oleracea*, *E. precatoria* e *E. edulis* são espécies de palmeiras nativas da América do Sul. Seus frutos são conhecidos por suas propriedades nutricionais, ricos em macro e micronutrientes, e antioxidantes. Estudos comparativos entre as três espécies, considerando aspectos físico-químicos e nutricionais, ainda precisam ser mais bem esclarecidos. O objetivo deste estudo foi realizar caracterização físico-química e nutricional das polpas das três espécies de *Euterpe* spp. Os frutos de açaí e juçara foram adquiridos diretamente em seus locais de origem. A composição físico-química e nutricional foi determinada através das análises da composição proximal (cinzas, proteínas, lipídeos, fibras e carboidratos), ácido ascórbico e acidez total titulável, sólidos solúveis, *ratio* e composição mineral (potássio, cálcio e magnésio). A partir da análise da composição proximal foi verificado que a polpa de *E. edulis* apresentou maiores teores de cinzas (2,65%), proteína bruta (4,99%) e carboidratos (30,12%). Os maiores teores de lipídeos totais e fibra bruta foram encontrados nas polpas de *E. oleracea* (35,57%) e *E. precatoria* (52,97%), respectivamente. *E. edulis* também apresentou maiores concentrações de ácido ascórbico (34,50 mg 100 g<sup>-1</sup>) e de acidez total (0,22 g 100 g<sup>-1</sup>), que foi semelhante ao teor encontrado em *E. precatoria* (0,20 g 100 g<sup>-1</sup>). *E. precatoria* também apresentou maior teor de sólidos solúveis (2,92 °Brix) e maior valor na relação sólidos solúveis/acidez (*ratio*), com 15,25. Nos resultados das análises minerais, *E. edulis* apresentou as maiores concentrações de potássio, cálcio e magnésio (1,85, 2,26 e 1,52 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente). Embora as polpas das três espécies de *Euterpe* spp. sejam fontes de macro e micronutrientes, *E. edulis*, a juçara, apresentou níveis mais elevados para a maioria das variáveis analisadas, evidenciando seu potencial nutricional comparável ou superior a polpa de açaí.

Palavras-chave: *Euterpe oleracea*, *E. precatoria*, *E. edulis*, teor mineral, macronutrientes.

## ABSTRACT

*Euterpe oleracea*, *E. precatoria* and *E. edulis* are species of palm trees native to South America. Its fruits are known for their nutritional properties, rich in macro and micronutrients, and antioxidants. Comparative studies between the three species, considering physical-chemical and nutritional aspects, still need to be better clarified. The objective of this study was to perform physical-chemical and nutritional characterization of the pulps of three species of *Euterpe* spp. The açai and juçara fruits were purchased directly from their places of origin. The physicochemical and nutritional composition was determined through analyzes of the proximal composition (ash, proteins, lipids, fibers and carbohydrates), ascorbic acid and total titratable acidity, soluble solids, ratio and mineral composition (potassium, calcium and magnesium). From the analysis of the proximal composition, it was verified that the pulp of *E. edulis* presented higher levels of ash (2.65%), crude protein (4.99%) and carbohydrates (30.12%). The highest levels of total lipids and crude fiber were found in the pulps of *E. oleracea* (35.57%) and *E. precatoria* (52.97%), respectively. *E. edulis* also presented higher concentrations of ascorbic acid (34.50 mg 100 g<sup>-1</sup>) and total acidity (0.22 g 100 g<sup>-1</sup>), which was similar to the content found in *E. precatoria* (0.20 g 100 g<sup>-1</sup>). *E. precatoria* also presented a higher content of soluble solids (2.92 °Brix) and a higher value in the soluble solids/acidity ratio (ratio), with 15.25. In the results of mineral analyzes, *E. edulis* presented the highest concentrations of potassium, calcium and magnesium (1.85, 2.26 and 1.52 g kg<sup>-1</sup>, respectively). Although the pulps of the three species of *Euterpe* spp. whether sources of macro and micronutrients, *E. edulis*, the juçara, presented higher levels for most of the variables analyzed, demonstrating its nutritional potential comparable or superior to açai pulp.

Key-words: *Euterpe oleracea*, *E. precatoria*, *E. edulis*, mineral content, macronutrients.

### 4.1 INTRODUÇÃO

Frutas nativas da América do Sul têm ganhado grande notoriedade na comunidade científica devido as suas propriedades nutricionais, funcionais e antioxidantes (SCHULZ et al., 2016). Entre essas frutas, o açai (*Euterpe oleracea* Mart. e *E. precatoria* Mart.) e a juçara (*E. edulis* Mart.) tem sido destacadas como importantes fontes de nutrientes e fitoquímicos para o organismo humano.

Açaí são palmeiras encontradas na região Norte do Brasil, predominantemente na bacia Amazônica, sendo *E. oleracea* e *E. precatoria* as duas principais espécies comercialmente disponíveis dentre as 28 espécies de açaí catalogadas (SILVEIRA et al., 2023), com frutos globulares, de diâmetro de 1 a 2 cm, podendo pesar de 0,8 a 2,3 g, sendo aproximadamente 90% de seu volume composto pela semente e 10% pelo mesocarpo, que representa a polpa comestível do fruto (BICHARA; ROGEZ, 2011).

*E. edulis*, conhecida como juçara, é uma palmeira do bioma Mata Atlântica, encontrada principalmente nas regiões Sul e Sudeste (LORENZI et al., 2010). Os frutos de juçara (*E. edulis*) são muito semelhantes aos frutos de açaí (*E. oleracea* e *E. precatoria*) no que diz respeito as características sensoriais e propriedades nutricionais. Isso reforça seu vasto potencial alimentício, uma vez que sua polpa não possui cadeia de produção valorizada nos mesmos padrões da polpa de açaí, principalmente como *E. oleracea* (SCHULZ et al., 2016).

O açaí se destaca por apresentar diversas propriedades benéficas à nutrição humana, como sendo fonte de fibras, proteínas e lipídeos benéficos ao organismo, bem como demais compostos bioativos. Devido a isso, açaí é apontado como alimento funcional, aliado na prevenção de doenças degenerativas e cardiovasculares, além de ser uma excelente fonte energética devido seu alto teor lipídico (YAMAGUCHI et al., 2015). Além disso, o açaí também representa uma boa fonte de minerais e vitaminas, como potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), manganês (Mn), zinco (Zn), ferro (Fe), vitamina E ( $\alpha$ -tocoferol) e ácido ascórbico (RUFINO et al., 2010; AQUINO et al., 2019).

Sabendo-se da grande importância econômica e nutricional da polpa de açaí, principalmente de *E. oleracea*, como já relatado na literatura, torna-se importante a investigação de sua caracterização química e nutricional frente a polpa de *E. precatoria* e *E. edulis*, dois frutos que apresentam menor valorização comercial de sua polpa, principalmente *E. edulis*, a juçara, em relação a polpa de *E. oleracea*, muito valorizada, com uma cadeia de produção bem estabelecida. Portanto, o objetivo deste estudo foi realizar uma caracterização físico-química e nutricional das polpas de *E. edulis*, *E. oleracea* e *E. precatoria*, a partir de suas composições centesimais, teores de K, Ca e Mg, teores de ácido ascórbico titulável (AAT), acidez total titulável (ACT), e sólidos solúveis (SS).

## 4.2 MATERIAL E MÉTODOS

Frutos de *E. edulis*, *E. oleracea* e *E. precatoria* foram obtidos diretamente de produtores em seus respectivos locais de origem, onde *E. edulis* foi obtida em Barra do Turvo - SP, localizada nas coordenadas geográficas 24°55'37"S 48°28'26"W; *E. oleracea* foi obtida em Igarapé-Miri - PA, localizada nas coordenadas geográficas 1°58'37"S 48° 57'34"W e *E. precatoria* foi obtida em Feijó - AC, localizada nas coordenadas geográficas 8°10'14"S 70°21'30"W e Boca do Acre - AM, localizada nas coordenadas geográficas 8°44'26"S 67°23'3"W. Após a colheita, os frutos foram selecionados quanto a maturação e sanitizados nos respectivos locais de origem.

Todas as amostras seguiram procedimento padrão de secagem dos frutos em estufa de circulação de ar forçado por 24 horas à 50 °C e posterior acondicionamento em sacos de polietileno. Assim acondicionadas, as amostras foram despachadas pelo correio para que pudessem chegar ao Laboratório de Tecnologia de Alimentos da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, *Campus* Marechal Cândido Rondon, PR.

Após recebimento das amostras, os frutos de cada espécie foram despulpados manualmente, moídos e armazenados em freezer (-18 °C) até o momento de realização dos ensaios. Os ensaios foram conduzidos em delineamento inteiramente casualizado, caracterizado em polpas de frutos das três espécies de palmeiras (*E. edulis*, *E. oleracea* e *E. precatoria*), e 8 repetições de cada espécie. As análises foram realizadas no Laboratório de Tecnologia de Alimentos e no Laboratório de Nutrição Animal.

### 4.2.1 Composição Proximal

A análise da composição proximal foi realizada a partir das determinações de cinzas (CZ), proteína bruta (PB), lipídeos totais (LT), fibra bruta (FB) e carboidratos (CB). Todas as análises foram realizadas em duplicata e tiveram seus resultados expressos em g 100 g<sup>-1</sup> massa seca.

#### 4.2.1.1 Cinzas (CZ)

O teor de CZ foi determinado de acordo com Souza, Valadares Filho e Detmann (2012), com algumas adaptações. Cadinhos de porcelana foram previamente secos em estufa de circulação de ar forçado por 2 horas a 105 °C e posteriormente, levados a dissecadores até atingirem temperatura ambiente. Após, os cadinhos vazios foram



pesados individualmente e posteriormente, foram utilizados para a pesagem de 0,20xx g de amostras secas de polpas de *Euterpe* spp. em balança analítica de precisão de quatro casas.

Na sequência, os cadinhos contendo as amostras foram levados para mufla para queima por 4 horas a 600 °C. Após este período, a mufla foi desligada e aguardou-se até que atingisse 150 °C para retirada dos cadinhos contendo as cinzas das amostras, os quais foram levados para dissecadores até atingirem temperatura ambiente. Posteriormente, os cadinhos contendo as cinzas foram pesados individualmente em balança analítica de precisão de quatro casas e o cálculo das CZ (g 100 g<sup>-1</sup> massa seca) foi realizado através da (Equação 1):

$$CZ = \frac{(PC + PCZ) - C}{A} \times 100 \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

CZ: g CZ 100 g<sup>-1</sup> massa seca; PC: massa do cadinho (g); PCZ: massa das cinzas obtida após a queima da amostra (g); A: massa da amostra antes da queima (g).

#### 4.2.1.2 Proteína Bruta (PB)

O teor de PB foi determinado de acordo com Silva e Queiroz (2005), com algumas modificações. Para a determinação da PB foi necessário, primeiramente, realizar a determinação do teor de nitrogênio total. Pesou-se 0,20xx g de amostras secas de polpa de *Euterpe* spp. em tubos de digestão, no qual foi adicionado 2 g de mistura digestora e 5 mL de ácido sulfúrico, e na sequência, procedeu-se a digestão das amostras em bloco digestor, controlando a temperatura até atingir 350 °C, a qual foi mantida por cerca de 30 minutos. Após o resfriamento, foi adicionado 5 mL de água destilada em cada tubo, o qual foi transferido para um destilador de nitrogênio (Tecnal, TE-0363).

Deu-se início a destilação do nitrogênio adicionando-se 20 mL de NaOH 50% no tubo digestor contendo a amostra digerida, a qual teve sua amônia destilada em um Erlenmeyer adaptado ao conjunto de destilação contendo 50 mL de água destilada e 20 mL de solução indicadora, até se obter uma solução com volume aproximado de 100 mL. Por fim, a amônia resultante foi titulada com HCl 0,1 M até a viragem da

coloração de verde para rosa. A partir dos dados de nitrogênio total, foi realizado o cálculo do teor de PB (g 100 g<sup>-1</sup> massa seca) através da (Equação 2):

$$PB = \frac{(V - V') \times FC}{M \times 1000} \times 6,25 \quad (\text{Equação 2})$$

Onde:

PB: g PB 100 g<sup>-1</sup> massa seca; V: volume gasto de HCl 0,1 M na titulação; V': volume gasto de HCl 0,1 M no teste do branco; FC: fator de correção do HCl 0,1 M; M: peso da amostra (g); 6,25: fator de conversão do nitrogênio em proteína.

#### 4.2.1.3 Lipídeos totais (LT)

Para a determinação dos LT foi realizada a extração do extrato etéreo das amostras de polpa de *Euterpe* spp. segundo Silva e Queiroz (2005), através do método a quente, com algumas modificações. Foram confeccionados cartuchos em papel filtro qualitativo, secos em estufa por duas horas a 105 °C e levados para dessecadores até que se atingisse temperatura ambiente. Na sequência, os cartuchos foram pesados individualmente e nos mesmos, foram pesados 2 g de amostra seca em cada um e fechados. Após, os cartuchos contendo as amostras passaram pelo processo de extração em extrator Soxhlet sobre chapa aquecedora com éter de petróleo por 4 horas a 60 °C.

Após realizada a extração, os cartuchos contendo as amostras desengorduradas foram levados para secagem em estufa por 12 horas à 105 °C, e na sequência, levados para dessecadores até que atingissem temperatura ambiente. Por fim, procedeu-se a pesagem dos cartuchos contendo as amostras desengorduradas e secas, as quais foram armazenadas em freezer para a realização da análise de FB. O teor de LT (g 100 g<sup>-1</sup> massa seca) foi calculado pela (Equação 3):

$$LP = \left[ \frac{(AD - C)}{A} \times 100 \right] - 100 \quad (\text{Equação 3})$$

Onde:

LP: g LT 100 g<sup>-1</sup> massa seca; AD: peso da amostra desengordurada (g); C: peso do cartucho vazio (g); A: peso da amostra não desengordurada (g).

#### 4.2.1.4 Fibra bruta (FB)

A determinação da FB foi realizada de acordo com Silva e Queiroz (2005), com algumas modificações. O conteúdo total das amostras das espécies de *Euterpe* spp., previamente desengorduradas durante a determinação de LT, foram pesadas em saquinhos confeccionados em TNT, previamente pesados e selados com auxílio de uma seladora.

Os saquinhos contendo as amostras desengorduradas foram levados para o Analisador de Fibra (ANKOM2000), onde se procedeu o processo de digestão da fibra bruta contida nas amostras. A digestão da fibra bruta se deu pelas etapas de digestão ácida e básica, utilizando as soluções de ácido sulfúrico 1,25% (0,255 M) e de hidróxido de sódio 1,25% (0,313 M), respectivamente, por 40 minutos cada, conforme as recomendações de uso do equipamento.

Após este processo, os saquinhos contendo as amostras foram retirados do Analisador de Fibras e lavados sucessivas vezes com água quente e acetona a fim de eliminar compostos residuais provenientes da digestão, e levados para secagem em estufa a 105 °C até a completa evaporação da acetona. Na sequência, os saquinhos contendo as amostras digeridas foram acondicionados em cadinhos livres de umidade e previamente pesados e levados para queima em muflas a 600 °C por 3 horas. Cadinhos contendo saquinhos sem amostra foram utilizados com branco.

Após este período, a mufla foi desligada e aguardou-se até que atingisse 150 °C para retirada dos cadinhos contendo os resíduos do material, os quais foram levados para dissecadores até atingirem temperatura ambiente. Posteriormente, os cadinhos contendo os resíduos do material foram pesados individualmente em balança analítica de precisão de quatro casas e o cálculo da FB (g 100 g<sup>-1</sup> massa seca) foi realizado através da (Equação 4):

$$FB = \frac{(AD - S) + CV - CR}{A} \times 100 \quad (\text{Equação 4})$$

Onde:

FB: g FB 100 g<sup>-1</sup> massa seca; AD: peso da amostra digerida + saquinho (g); S: peso do saquinho vazio (g); CV: peso do cadinho vazio (g); CR: peso do cadinho com os resíduos após a queima (g); A: peso da amostra não digerida (g).

#### 4.2.1.5 Carboidratos (CB)

A quantificação de carboidratos (CB) foi calculada pela diferença dos resultados das determinações de CZ, FB, LT e PB, conforme (Equação 5), com resultados expressos em g 100 g<sup>-1</sup>.

$$CB = 100 - \sum CZ, PB, LT, FB \quad (\text{Equação 5})$$

Onde:

CB: g CB 100 g<sup>-1</sup> massa seca;  $\sum$  CZ, FB, LT, PB: somatório dos teores de CZ, PB, LT e FB.

#### 4.2.2 Ácido Ascórbico Titulável (AAT), Acidez Total Titulável (ACT), Sólidos Solúveis (SS) e *Ratio*

A determinação de AAT das amostras das polpas das espécies de *Euterpe* spp. foi realizada por titulação, de acordo com Benassi e Antunes (1988). Uma solução aquosa de 5 mL contendo 0,5 g de amostra seca foi acrescida de 50 mL de ácido oxálico (2%) e titulada com 2,6-dichlorophenolindophenol sodium (DCFI) (0,01%). Os resultados foram calculados pela (Equação 6) e expressos em mg ácido ascórbico 100 g<sup>-1</sup> amostra seca.

$$AAT = \frac{5 \times T \times 100}{10 \times A} \quad (\text{Equação 6})$$

Onde:

AAT: mg ácido ascórbico 100 g<sup>-1</sup> amostra seca; T: DCFI titulado (mL); A: solução aquosa contendo a amostra (mL).

A determinação de ACT foi realizada por titulação, de acordo com o Instituto Adolfo Lutz (2008). Uma solução aquosa de 10 mL contendo 1 g de amostra seca foi acrescida de 90 mL de água destilada e titulada com hidróxido de sódio (NaOH) (0,1 N). Os resultados foram calculados pela (Equação 7) e expressos em mg ácido cítrico 100 g<sup>-1</sup> amostra seca.

$$ACT = \frac{T \times M \times 64 \times 100}{A} / 1000 \quad (\text{Equação 7})$$

Onde:

ACT: mg ácido cítrico 100 g<sup>-1</sup> amostra seca; T: NaOH titulado (mL); M: molaridade da solução; 64: equivalente-grama do ácido cítrico anidro; A: g de amostra utilizada.

A análise de SS foi realizada de acordo com Pozzan, Braga e Salibe (2012), onde uma alíquota de polpa de cada amostra foi mensurada com auxílio de refratômetro digital (Atago, PAL-1), com leituras em triplicata e resultados expressos em °Brix.

A partir dos resultados das análises de SS e ACT foi calculado o *ratio*, parâmetro representado pela relação SS/ACT a fim de verificar o balanço dos ácidos orgânicos e açúcares presentes na amostra.

#### 4.2.3 Potássio (K), Cálcio (Ca) e Magnésio (Mg)

Para a determinação dos minerais K, Ca e Mg foi realizada a digestão nitro-perclórica das polpas secas de *Euterpe* spp. Após a oxidação do material vegetal pela digestão nítrico-perclórica, os minerais K, Ca e Mg foram quantificadas em espectrômetro de absorção atômica (modalidade chama) com lâmpada de cátodo oco de K e Ca-Mg e realizadas as leituras. As leituras foram realizadas em triplicata.

#### 4.2.4 Análise Estatística

Os dados foram submetidos a análise de variância (ANOVA) e os parâmetros cujo teste F foi significativo, foram aplicados teste de Tukey ( $P < 0,05$ ), através do software estatístico Sisvar (FERREIRA, 2011).

### 4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 4.3.1 Composição Proximal

Os resultados da composição proximal das polpas dos frutos são expostos na Tabela 1 ( $P < 0,05$ ). A polpa de *E. edulis* apresentou maior teor de CZ (2,65%) em relação as demais espécies (1,13 e 1,40 g 100 g<sup>-1</sup>, *E. oleracea* e *E. precatória*, respectivamente), e maior teor PB (4,99 g 100 g<sup>-1</sup>) em relação a *E. oleracea* (4,18 g

100 g<sup>-1</sup>). Já para no teor de LP, a polpa *E. edulis* apresentou menor concentração (17,89 g 100 g<sup>-1</sup>) em relação as demais amostras, sendo a polpa de *E. oleracea* mais rica no teor de LP, com 35,57 g 100 g<sup>-1</sup>. A polpa de *E. precatoria* apresentou maior teor de FB (52,97 g 100 g<sup>-1</sup>) em relação as demais amostras (44,34 e 41,40 g 100 g<sup>-1</sup>, *E. edulis* e *E. oleracea*, respectivamente). *E. edulis*, por sua vez, apresentou maior teor de CB (30,12 g 100 g<sup>-1</sup>) em relação as polpas de *E. oleracea* e *E. precatoria* (17,72 e 16,00 g 100 g<sup>-1</sup>, respectivamente) (Tabela 1).

**Tabela 1** - Composição proximal de polpas de espécies de *Euterpe* spp. oriundas de diferentes localidades.

	<b>CZ<sup>1</sup></b> <b>(g 100 g<sup>-1</sup>)</b>	<b>PB<sup>2</sup></b> <b>(g 100 g<sup>-1</sup>)</b>	<b>LP<sup>3</sup></b> <b>(g 100 g<sup>-1</sup>)</b>	<b>FB<sup>4</sup></b> <b>(g 100 g<sup>-1</sup>)</b>	<b>CB<sup>5</sup></b> <b>(g 100 g<sup>-1</sup>)</b>
<i>E. edulis</i>	2,65 a	4,99 a	17,89 c	44,34 b	30,12 a
<i>E. oleracea</i>	1,13 b	4,18 b	35,57 a	41,40 b	17,72 b
<i>E. precatoria</i>	1,40 b	4,46 ab	25,16 b	52,97 a	16,00 b
<b>CV (%)</b>	32,74	9,47	3,49	4,83	8,87
<b>DMS</b>	0,74	0,57	1,25	3,05	3,38

<sup>1</sup>cinzas; <sup>2</sup>proteína bruta; <sup>3</sup>lipídeos totais; <sup>4</sup>fibra bruta; <sup>5</sup>carboidratos; médias seguidas por mesma letra minúsculas na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05).

Os dados encontrados na composição proximal da polpa dos frutos de *E. edulis* são próximos aos resultados verificados por demais autores. Novello et al. (2015) encontraram 2,4 g 100 g<sup>-1</sup> de CZ, 6,6 g 100 g<sup>-1</sup> de PB e 18,8 g 100 g<sup>-1</sup> de LP em frutos de *E. edulis*. Borges et al. (2011), por sua vez, reportaram teores de LP entre 18,5 e 44,1 g 100 g<sup>-1</sup>, teores de PB entre 5,1 e 8,2 g 100 g<sup>-1</sup> e teores de CZ entre 1,6 e 3,3 g 100 g<sup>-1</sup>. Menezes, Torres e Srur (2008) também obtiveram dados que corroboram com este trabalho, sendo 3,7 g 100 g<sup>-1</sup> de CZ, 8,1 g 100 g<sup>-1</sup> de PB e 40,8 g 100 g<sup>-1</sup> de LP em frutos de *E. oleracea*. Os valores de CZ e PB da polpa de *E. oleracea* obtida por Costa et al. (2015) também se aproximam dos resultados encontrados neste estudo, com 1,62 g 100 g<sup>-1</sup> de CZ e 3,83 g 100 g<sup>-1</sup> de PB. Entretanto, seus resultados de LP foram inferiores aos valores encontrados neste trabalho, com 16,72 g 100 g<sup>-1</sup>.

Schulz et al. (2016), por sua vez, obtiveram resultados superiores de LP em frutos de *E. edulis* (28,3 a 42,5 g 100 g<sup>-1</sup>), assim como Inada et al. (2015), com resultados de 46,6 g 100 g<sup>-1</sup> de LP, em relação ao teor verificado neste trabalho (17,89 g 100 g<sup>-1</sup>). Portanto, pode-se inferir que a origem dos frutos, bem como as diferenças de cultivo, clima, solo, ponto de maturação dos frutos e demais fatores influenciam a composição de macronutrientes da polpa de frutos, de modo geral, o que também podendo refletir na qualidade final da polpa. Segundo Silveira et al. (2023), essas informações podem ser úteis para as indústrias, uma vez que estas podem ter a

oportunidade de adquirir frutos de locais específicos, de acordo com a composição de macronutrientes desejadas em seus produtos finais.

Segundo Yamaguchi et al. (2015), o perfil lipídico das espécies *E. oleracea* e *E. precatoria* demonstra que ambas as espécies são fontes de ácidos graxos monoinsaturados, como ácido oleico, e apresenta teores de ácidos graxos essenciais, como ácido linoleico e linolênico. Tais resultados ressaltam o impacto positivo do consumo de açaí, uma vez que esses ácidos graxos auxiliam na redução dos colesteróis total e LDL, bem como na redução de triacilglicerídeos, sem alterar os níveis do colesterol HDL (LIMA et al., 2000). Portanto, a composição proximal das polpas das três espécies de *Euterpe* spp. investigadas neste estudo aponta os maiores teores de LT e FB, o que reforça que tais espécies são excelentes fontes energéticas, devido aos teores de lipídeos, conforme já relatado por diversos estudos citados neste trabalho.

Altos teores de fibras, por sua vez, também são associados a uma alimentação saudável. De acordo com Catalani et al. (2003), fibras alimentares são componentes resistentes à digestão e absorção pelo intestino delgado, com fermentação parcial ou completa no intestino grosso, e são agrupadas em fibras solúveis e insolúveis em água, sendo as fibras solúveis aquelas encontradas em frutas e responsáveis pelo aumento do tempo de trânsito intestinal e relacionadas ao retardo da absorção de glicose, diminuição da glicemia sanguínea e redução do colesterol. Sendo assim, frutos como o açaí estão associados a tais benefícios ao organismo proporcionados pelas fibras alimentares.

#### **4.3.2 Ácido Ascórbico Titulável (AAT), Acidez Total Titulável (ACT), Sólidos Solúveis (SS) e *Ratio***

Os valores de AAT, ACT, SS e *ratio* são apresentados na Tabela 2 ( $P < 0,05$ ), onde é possível observar que a polpa de *E. edulis* também foi detentora do maior teor de AAT, seguido pelas polpas de *E. oleracea* e *E. precatoria* (34,50, 24,75 e 12,66 mg ácido cítrico  $100 \text{ g}^{-1}$  amostra seca, respectivamente). A polpa de *E. edulis* também apresentou maior teor de ACT, juntamente com a polpa de *E. precatoria* (0,22 e 0,20 mg ácido cítrico  $100 \text{ g}^{-1}$  amostra seca, respectivamente), semelhantes entre si.

**Tabela 2** – Ácido ascórbico titulável (AAT), acidez total titulável (ACT) e sólidos solúveis (SS) das polpas dos frutos de três espécies de *Euterpe* spp.

	<b>AAT (mg ácido ascórbico 100 g<sup>-1</sup> amostra seca)</b>	<b>ACT (g ácido cítrico 100 g<sup>-1</sup> amostra seca)</b>	<b>SS (°Brix)</b>	<b>Ratio*</b>
<i>E. edulis</i>	34,50 a	0,22 a	1,00 b	4,56 c
<i>E. oleracea</i>	24,75 b	0,12 b	1,15 b	10,11 b
<i>E. precatoria</i>	12,66 c	0,20 a	2,92 a	15,25 a
<b>CV (%)</b>	12,41	21,27	6,02	33,46
<b>DMS</b>	3,89	0,05	0,16	4,37

\*Relação sólidos solúveis (SS)/acidez total titulável (ACT); médias seguidas por mesma letra minúsculas na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05).

Rufino et al. (2010) apontam que uma porção de 100 g de *E. edulis* pode conter 147 mg ácido ascórbico, sendo este valor superior a dose diária de ácido ascórbico recomendado, que pode variar de 15 a 120 mg. Neste sentido, 100 g das polpas de *E. edulis* e *E. oleracea* analisadas neste estudo apresentam os valores de AAT dentro da margem recomendada diariamente, diferente da média verificada em *E. precatoria*.

Os teores de AAT verificados neste trabalho estão abaixo das médias dos valores encontrados em outros estudos. As polpas de *E. oleracea* e *E. precatoria* apresentaram teores de AA entre 45 e 84 mg 100 g<sup>-1</sup> nos estudos de De Souza et al. (2009) e Rufino et al. (2010), e de 68,5 mg 100 g<sup>-1</sup> no estudo de Neves et al. (2015). O ácido ascórbico é um dos compostos mais sensíveis as condições adversas de armazenamento e manuseio, sendo facilmente degradado por processos que proporcionem estresse ao órgão vegetal, como exposição ao calor e oxigênio, levando a formação de radicais hidroxila, que oxidam o ácido ascórbico, desencadeando a formação de enzimas envolvidas na rota oxidativa, como o peróxido de hidrogênio (BASAK; SHAIK; CHAKRABORTY, 2023; LI; ZHANG, 2015). Isso sugere que os processos de colheita, manuseio, secagem e armazenamento dos frutos, que antecederam as análises, podem ter contribuído para a degradação do ácido ascórbico presentes nas polpas.

Nos resultados de ACT, *E. edulis* e *E. precatoria* apresentaram valores semelhantes (0,22 e 0,20 g ácido cítrico 100 g<sup>-1</sup>, respectivamente), seguido por *E. oleracea* (0,12 g ácido cítrico 100 g<sup>-1</sup>), com menor teor de ACT (Tabela 2). A acidez indica sabor ácido ou azedo dos frutos, o que é representado pela presença de ácidos orgânicos nos órgãos vegetais (AROUCHA et al. 2010), portanto, a baixa acidez indica, sobretudo, a baixa presença de ácidos orgânicos, que reflete diretamente no sabor pouco ou não ácido do fruto, como a polpa de açaí, por exemplo.

A polpa de *E. precatoria*, por sua vez, apresentou teor de SS superior (2,92 °Brix) em relação as polpas de *E. oleracea* e *E. edulis* (1,00 e 1,15 °Brix,



respectivamente), que foram semelhantes entre si, conforme apresentado na Tabela 2. Os teores de SS representa o conteúdo de açúcares, principalmente glicose, frutose e sacarose, ácidos orgânicos e demais constituintes menores, sendo cerca de 85% da constituição dos SS composta por açúcares, representando relação direta com a doçura da amostra (CEAGESP, 2016; YAHIA; ORGANELAS-PAZ; GONZALEZ-AGUILAR, 2011), portanto, os baixos teores de SS indicam, sobretudo, menores teores de açúcares solúveis nas polpas de *E. edulis* e *E. oleracea*, e conseqüentemente, menor doçura, condizendo com o sabor da polpa *in natura* das espécies estudadas.

O *ratio* das amostras três espécies também (Tabela 2) apresentou valores que variaram de 15,25 a 4,56. *E. precatoria* (15,25) foi aquela que apresentou maior valor de *ratio*, seguindo por *E. oleracea* (10,11), e por último, *E. edulis* (4,56). Oliveira et al. (2023) verificou valores de *ratio* em polpas de açaí entre 10,85 até 14,61, sendo estes próximos aos encontrados neste trabalho para as polpas das duas espécies de açaí. O *ratio* é um parâmetro representado pela relação SS/ACT e trata-se de uma das melhores formas de avaliação do sabor, maturação e palatabilidade de frutos, que se dá pelo balanço dos ácidos orgânicos e açúcares (CASTRO et al., 2015). Altos valores de *ratio* representam frutos em bom grau de maturação, momento este em que há queda do teor de acidez e aumento do conteúdo de SS (OLIVEIRA et al., 2023).

#### 4.3.3 Potássio (K), Cálcio (Ca) e Magnésio (Mg)

A escolha dos minerais K, Ca e Mg está fundamentada em sua importância nutricional e relevância para a saúde humana. K desempenha papel crucial na regulação da pressão arterial (FONSECA; ZAMITH; MACHADO, 2015), enquanto o Ca é essencial para a saúde óssea (CASTRO et al., 2022), enquanto o Mg atua em diversas funções metabólicas (SEVERO et al., 2015). O açaí, como alimento amplamente consumido, pode ser uma fonte significativa desses minerais, uma vez que são seus minerais majoritários (SILVEIRA et al., 2023), justificando sua análise detalhada.

Os teores de K, Ca e Mg têm seus dados expostos na Tabela 3 ( $P < 0,05$ ). A polpa de *E. edulis* apresentou os maiores de teores para os três minerais analisados, com 1,85, 2,26 e 1,52 g kg<sup>-1</sup> massa seca para K, Ca e Mg respectivamente, seguido

por *E. oleracea* (1,09, 1,87 e 0,75 g kg<sup>-1</sup> massa seca, respectivamente). A polpa de *E. precatoria* apresentou os menores teores minerais, com 0,62, 1,24 e 0,42 g kg<sup>-1</sup> massa seca, respectivamente.

**Tabela 3** - Potássio (K), Cálcio (Ca) e Magnésio (Mg) das polpas dos frutos de três espécies de *Euterpe* spp.

	<b>K</b> <b>(g kg<sup>-1</sup> massa seca)</b>	<b>Ca</b> <b>(g kg<sup>-1</sup> massa seca)</b>	<b>Mg</b> <b>(g kg<sup>-1</sup> massa seca)</b>
<i>E. edulis</i>	1,85 a	2,26 a	1,52 a
<i>E. oleracea</i>	1,09 b	1,87 b	0,75 b
<i>E. precatoria</i>	0,62 c	1,24 c	0,42 c
<b>CV (%)</b>	1,16	4,74	4,10
<b>DMS</b>	0,02	0,11	0,05

Médias seguidas por mesma letra minúsculas na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05).

Conforme apresentado na Tabela 3, *E. edulis* apresentou maiores valores de K, Ca e Mg em relação a *E. oleracea* e *E. precatoria*, assim como Schulz et al. (2016). Silva et al. (2020) obteve resultados ligeiramente mais altos de Mg em amostras de *E. oleracea*, que variaram de 1,01 a 1,19 g kg<sup>-1</sup>. Seus valores maiores provavelmente se justificam pela natureza de suas amostras liofilizadas, enquanto neste estudo foi utilizado amostras secas. Os mesmos autores também observaram valores mais altos de Ca, entre 4,95 e 5,54 g kg<sup>-1</sup>.

O amadurecimento e as condições ambientais têm grande influência no conteúdo mineral dos frutos, que podem estar relacionadas a mobilidade dos minerais pelos elementos crivados do floema e suas translocações (SCHULZ et al., 2015). Neste sentido, os mesmos autores verificaram que houve aumento dos valores de K em frutos de *E. edulis* em diferentes estágios de maturação, que pode estar relacionado ao fato do K participar do processo de translocação dos açúcares nos frutos, processo esse mais intenso no final do ciclo de maturação, de acordo com Taiz et al. (2017).

Portanto, as polpas das três espécies de *Euterpe* spp. se apresentam como boas fontes de macro e micronutrientes, uma vez que *E. edulis* apresentou maiores teores de CZ, PB e CB, e também os maiores teores minerais (potássio, cálcio e magnésio), *E. oleracea* apresentou os melhores teores de LP, enquanto *E. precatoria* deteve os maiores valores de FB. Embora este trabalho tenha apresentado teores de AAT abaixo dos valores presentes na literatura, provavelmente, devido a degradação do ácido ascórbico, *E. edulis* foi a polpa que apresentou os maiores teores, demonstrando que pode ser uma boa fonte desta vitamina. *E. precatoria* também

apresentou os maiores valores de SS e *ratio*, que reflete, principalmente nos maiores teores de açúcares solúveis e na relação destes açúcares com a acidez (*ratio*), influenciando diretamente no sabor da polpa.

#### 4.4 CONCLUSÕES

A polpa de *E. edulis* apresentou maiores teores de CZ, PB, CB, AAT e ACT, sendo este último (ACT) semelhante ao teor encontrado na polpa de *E. precatoria*. *E. edulis* também apresentou maior concentração dos minerais potássio, cálcio e magnésio. A polpa de *E. oleracea*, por sua vez, apresentou maior teor de LP. Por fim, a polpa de *E. precatoria* apresentou os maiores valores de FB, SS e *ratio*. Estes resultados demonstram que a polpa de juçara (*E. edulis*) apresenta potencial nutricional e antioxidante comparável ou superior as polpas das duas espécies de açai, o que evidencia o potencial de expansão de sua cadeia produtiva, como ocorre com o açai.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AQUINO, C. M.; MOREIRA, L. F.; MENDES, A. H. L.; SANTOS, S. M. L.; MONTE, A. L. S. Avaliação físico-química e microbiológica de açai (*Euterpe oleracea*) congelado pronto para o consumo comercializado em Limoeiro do Norte-Ceará. **Biota Amazônia**, v. 9, n. 3, p. 35-40, 2019.
- AROUCHA, E. M. M.; GOIS, V. A.; LEITE, R. H. L.; SANTOS, M. C. A.; SOUSA, M. S. Acidez em frutas e hortaliças. **Revista Verde**, v. 5, n. 2, p. 1-4, 2010.
- BASAK, S.; SHAIK, L. S.; CHAKRABORTY, S. Effect of ultraviolet and pulsed light treatments on ascorbic acid content in fruit juices – a review of the degradation mechanism. **Food Chemistry Advances**, v. 2, n. 1, 100333, 2023.
- BENASSI, M. T.; ANTUNES, A. J. A comparison of metaphosphoric and oxalic acids as extractant solutions for the determination of vitamin C in selected vegetables. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 31 n. 4, p. 507-513, 1988.
- BICHARA, C. M. G.; ROGEZ, H. Açai (*Euterpe oleracea* Martius). In: YAHIA, E. M. (Ed.). **Postharvest Biology and Technology of Tropical and Subtropical Fruits**. 3.ed. Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2011. cap. 1, p. 1-27.
- BORGES, G. D. C.; VIEIRA, F. G. K.; COPETTI, C.; GONZAGA, L. V.; ZAMBIAZI, R. C.; MANCINI, J.; FETT, R. Chemical characterization, bioactive compounds, and antioxidant capacity of jussara (*Euterpe edulis*) fruit from the Atlantic Forest in southern Brazil. **Food Research International**, v. 44, n. 7, p. 2128-2133, 2011.
- CASTRO, L. A.; CORREIA, L. S.; SANTOS, M. M. S.; FERREIRA, J. C. S.; FREITAS, F. M. N. O. A importância do cálcio na prevenção do desenvolvimento da osteoporose

para um envelhecimento saudável. **Brazilian Journal of Development**, v. 8, n. 5, p. 36193-36205, 2022.

CASTRO, T. M. N.; ZAMBONI, P. V.; DOVADONI, S.; CUNHA NETO, A.; RODRIGUES, L. J. Parâmetros de qualidade de polpas de frutas congeladas. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, v. 74, n. 4, p. 426-436, 2015.

CATALANI, L. A.; KANG, E. M.; DIAS, M. C. G.; MACULEVICIUS, J. Fibras alimentares. **Revista Brasileira de Nutrição Clínica**, v. 18, n. 4, p. 178-182, 2003.

CEAGESP - Companhia de entrepostos e armazéns gerais de São Paulo. **A medida da doçura dos frutos**. Cartilha técnica nº 8, 2016. 17 p.

COSTA, R. G.; ANDREOLA, K.; MATTIETTO, R. A.; FARIA, L. J. G.; TARANTO, O. P. Effect of operating conditions on the yield and quality of açai (*Euterpe oleracea* Mart.) powder produced in spouted bed. **LWT - Food Science and Technology**, v. 64, n. 1, p. 1196-1203, 2015.

DE SOUZA, M. C.; FIGUEIREDO, R. W.; MAIA, G. A.; ALVES, R. E.; MOURA, C. F. H.; RUFINO, M. S. M. Bioactive compounds and antioxidant activity on fruits from different açai (*Euterpe oleracea* Mart.) progenies. **Acta Horticulturae**, v. 841, p. 455-458, 2009.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

FONSECA, H. A. R.; ZAMITH, T. P.; MACHADO, V. A. Relações entre o potássio da dieta e a pressão arterial. **Revista Brasileira de Hipertensão**, v. 22, n. 1, p. 9-12, 2015.

INADA, K. O. P.; OLIVEIRA, A. A.; REVORÊDO, T. B.; MARTINS, A. B. N.; LACERDA, E. C. Q.; FREIRE, A. S.; BRAZ, B. F.; SANTELLI, R. E.; TORRES, A. G.; PERRONE, D.; MONTEIRO, M. C. Screening of the chemical composition and occurring antioxidants in jaboticaba (*Myrciaria jaboticaba*) and jussara (*Euterpe edulis*) fruits and their fraction. **Journal of Functional Foods**, v. 17, n. 1, p. 422-433, 2015.

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

LI, T.; ZHANG, M. Effects of modified atmosphere package (MAP) with a silicon gum film window on the quality of stored green asparagus (*Asparagus officinalis* L) spears. **LWT – Food Science and Technology**, v. 60, n. 2, p. 1046-1053, 2015.

LIMA, F. E. L.; MENEZES, T. N.; TAVARES, M. P.; SZARFARC, S. C.; FISBERG, R. M. Ácidos graxos e doenças cardiovasculares: uma revisão. **Revista de Nutrição**, v. 13, n. 2, p. 73-80, 2000.

LORENZI, H.; NOBLICK, L.; KAHN, F.; FERREIRA, E. **Flora brasileira**: Arecaceae (palmeiras). Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2010. 368 p.

MENEZES, E. M. S.; TORRES, A. T.; SRUR, A. U. S. Valor nutricional da polpa de açai (*Euterpe oleracea* Mart) liofilizada. **Acta Amazonica**, v. 38, n. 2, p. 311-316, 2008.

NEVES, L. C.; TOSIN, J. M.; BENEDETTE, R. M.; CISNEROS-ZEVALLOS, L. Post-harvest nutraceutical behaviour during ripening and senescence of 8 highly perishable fruit species from the Northern Brazilian Amazon region. **Food Chemistry**, v. 174, n. 1, p. 188-196, 2015.

NOVELLO, A. A.; CONCEIÇÃO, L. L.; DIAS, M. M. S.; CARDOSO, L. M.; CASTRO, C. A.; RICCI-SILVA, M. E.; LEITE, J. P. V.; PELUZIO, M. C. G. Chemical characterization, antioxidant and antiatherogenic activity of anthocyanin-rich extract from *Euterpe edulis* Mart. in mice. **Journal of Food and Nutrition Research**, v. 54 n. 2, p. 101-112, 2015.

OLIVEIRA, K. A. M.; SANTOS, A. L. R.; CHAVES, K. S.; DODO, S. J.; OLIVEIRA, G. V. Caracterização microbiológica e físico-química de polpas de açai comercializadas em Barra do Garças-MT. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v.6, n.1, p. 355-369, 2023.

POZZAN, M. S.; BRAGA, G. C.; SALIBE, A. B. Teores de antocianinas, fenóis totais, taninos e ácido ascórbico em uvas 'bordô' sobre diferentes porta-enxertos. **Revista Ceres**, v. 59, n. 5, p. 701-708, 2012.

RUFINO, M. D. S. M.; ALVES, R. E.; DE BRITO, E. S.; PÉREZ-JIMÉNEZ, J., SAURACALIXTO, F.; MANCINI-FILHO, J. Bioactive compounds and antioxidant capacities of 18 non-traditional tropical fruits from Brazil. **Food Chemistry**, v. 121, n. 4, p. 996-1002, 2010.

SCHULZ, M.; BORGES, G. S. C.; GONZAGA, L. V.; SERAGLIO, S. K. T.; OLIVO, I. S.; AZEVEDO, M. S.; NEHRING, P.; GOIS, I. S.; ALMEIDA, T. S.; VITALI, L.; SPUDEIT, D. A.; MICKE, G. A.; BORGES, D. L. G.; FETT, R. Chemical composition, bioactive compounds and antioxidant capacity of juçara fruit (*Euterpe edulis* Martius) during ripening. **Food Research International**, v. 77, part 2, p. 125-131, 2015.

SCHULZ, M.; BORGES, G. S. C.; GONZAGA, V.; COSTA, A. C. O. FETT, R. Juçara fruit (*Euterpe edulis* Mart.): sustainable exploitation of a source of bioactive compounds. **Food Research International**, v. 89, n. 1, p. 14-26, 2016.

SEVERO, J. S.; MORAIS, J. B. S.; FREITAS, T. E. C.; CRUZ, K. J. C.; OLIVEIRA, A. R. S.; POLTRONIERI, F.; MARREIRO, D. N. Aspectos Metabólicos e nutricionais do magnésio. **Nutrición Clínica Dietética Hospitalaria**, v. 35, n. 2, p. 67-74, 2015.

SILVA, D. J.; QUEIROZ, A. C. **Análises de alimentos: métodos químicos e biológicos**. 3.ed. Viçosa: Editora UFV. 2005, 235 p.

SILVA, M. P.; SOUSA, S. H. B.; CUNHA, V. M. B.; SALAZAR, M. A. R.; AMARANTE, C. B.; ARAUJO, M. E.; CARVALHO JUNIOR, R. N. Avaliação da estrutura morfológica, química elementar, parâmetros de cor e composição em minerais da polpa de açai

(*Euterpe oleracea* Mart.) de três diferentes localidades da região Amazônica. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 4, p. 18793-18803, 2020.

SILVEIRA, J. T.; ROSA, A. P. C.; MORAIS, M. G.; VICTORIA, F. N.; COSTA, J. A. V. An integrative review of açai (*Euterpe oleracea* and *Euterpe precatoria*): traditional uses, phytochemical composition, market trends, and emerging applications. **Food Research International**, v. 173, n. 1, 113304, 2023.

SOUZA, M. A.; VALADARES FILHO, S. C.; DETMANN, E. Avaliação das cinzas ou matéria mineral. In: DETMANN, E.; SOUZA, M. A.; VALADARES FILHO, S. C.; QUEIROZ, A. C.; BERCHIELLI, T. T.; SALIBA, E. O. S.; CABRAL, L. S.; PINA, D. S.; LADEIRA, M. M.; AZEVEDO, J. A. G. (Ed.). **Métodos para análise de alimentos**. Visconde do Rio Branco – MG: Suprema, 2012. cap. 3, p. 41-50.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6.ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 858 p.

YAHIA, E. M.; ORGANELAS-PAZ, J. D. J.; GONZALEZ-AGUILAR, G. A. Nutritional and health-promoting properties of tropical and subtropical fruits. In: YAHIA, E. M. (Ed.). **Postharvest Biology and Technology of Tropical and Subtropical Fruits**. 3.ed. Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2011. cap. 2, p. 21-78.

YAMAGUCHI, K. K. L.; PEREIRA, L. F. R.; LAMARÃO, C. V.; LIMA, E. S.; VEIGA-JUNIOR, V. F. Amazon açai: chemistry and biological activities: a review. **Food Chemistry**, v. 179, n. 1, p. 137-151, 2015.

## 5. CAPÍTULO IV: COMPOSIÇÃO NUTRICIONAL E ANTIOXIDANTE DE POLPAS “IN NATURA” E PRODUTOS INDUSTRIAIS DE AÇAÍ

### RESUMO

A produção e consumo de açaí são atividades de grande relevância para a região Norte brasileira. A crescente demanda da polpa do açaí em demais regiões do país reflete seu potencial econômico. Contudo, o consumo do açaí em regiões distantes do centro de produção inclui a adição de ingredientes, como xarope de guaraná, açúcar e outros ingredientes de baixo valor nutricional. Essa prática, embora atenda as preferências de alguns consumidores, pode comprometer as propriedades nutricionais do açaí e, conseqüentemente, seus benefícios à saúde. O propósito deste estudo foi comparar o valor nutricional e antioxidante de polpas *in natura* (*Euterpe oleracea*) e produtos industriais de açaí. Foram determinados os teores de minerais (potássio, cálcio e magnésio), sólidos solúveis totais, matéria seca, compostos fenólicos, antocianinas e atividade antioxidante (DPPH e ABTS) de duas amostras *in natura* e oito amostras de produtos industriais de açaí (sorvete). De acordo com os resultados, as amostras *in natura* apresentaram maiores concentração dos minerais analisados em relação as amostras industriais, com valores máximos de 10,55, 71,67 e 9,23 g kg<sup>-1</sup> de potássio, cálcio e magnésio, respectivamente, nas amostras *in natura*, ao passo que as amostras industriais apresentaram valores máximos de 2,56, 40,04 e 4,69 g kg<sup>-1</sup> dos mesmos minerais, respectivamente. As amostras industriais, por sua vez, apresentaram maior teor de sólidos solúveis (24,79 °Brix) e matéria seca (32,51 g 100 g<sup>-1</sup>) em relação as amostras *in natura* (3,23 °Brix e 21,04 g 100 g<sup>-1</sup>, respectivamente). Maiores concentrações de compostos fenólicos foram encontradas nas amostras *in natura* (6,36 mg EAG g<sup>-1</sup>) em relação as amostras industriais (3,75 mg EAG g<sup>-1</sup>). Porém, a mesma tendência não foi verificada para o teor de antocianinas. As avaliações da atividade antioxidante mostraram que as amostras *in natura* foram superiores (DPPH e ABTS - 18,55 e 14,38 µmol EqT g<sup>-1</sup>) em relação as amostras industriais (DPPH e ABTS - 12,02 e 7,35 µmol EqT g<sup>-1</sup>). Os resultados demonstram que o processamento industrial da polpa de açaí, com a adição de ingredientes e aditivos alimentares, diminui sua composição nutricional e antioxidante, a levando a reduções significativas dos teores minerais e bioativos.

Palavras-chave: *Euterpe oleracea*, qualidade nutricional, atividade antioxidante, processamento industrial.

### ABSTRACT

The production and consumption of açai are activities of great relevance to the North of Brazil. The growing demand for açai pulp in other regions of the country reflects its economic potential. However, the consumption of açai in regions far from the production center includes the addition of ingredients such as guaraná syrup, sugar and other ingredients of low nutritional value. This practice, although it meets the preferences of some consumers, can compromise the nutritional properties of açai and, consequently, its health benefits. The purpose of this study was to compare the nutritional and antioxidant value of in natura pulp (*Euterpe oleracea*) and industrial açai products. The mineral content (potassium, calcium and magnesium), total soluble solids, dry matter, phenolic compounds, anthocyanins and antioxidant activity (DPPH and ABTS) of two in natura samples and eight samples of industrial açai products (ice cream) were determined. According to the results, the in natura samples showed higher concentrations of the minerals analyzed compared to the industrial samples, with maximum values of 10.55, 71.67 and 9.23 g kg<sup>-1</sup> of potassium, calcium and magnesium, respectively, in natural samples, while industrial samples presented maximum values of 2.56, 40.04 and 4.69 g kg<sup>-1</sup> of the same minerals, respectively. The industrial samples, in turn, presented a higher content of soluble solids (24.79 °Brix) and dry matter (32.51 g 100 g<sup>-1</sup>) compared to the in natura samples (3.23 °Brix and 21.04 g 100 g<sup>-1</sup>, respectively). Higher concentrations of phenolic compounds were found in in natura samples (6.36 mg EAG g<sup>-1</sup>) compared to industrial samples (3.75 mg EAG g<sup>-1</sup>). However, the same trend was not observed for anthocyanin content. Assessments of antioxidant activity showed that in natura samples were superior (DPPH and ABTS - 18.55 and 14.38 µmol EqT g<sup>-1</sup>) compared to industrial samples (DPPH and ABTS - 12.02 and 7.35 µmol EqT g<sup>-1</sup>). The results demonstrate that the industrial processing of açai pulp, with the addition of ingredients and food additives, reduces its nutritional and antioxidant composition, leading to significant reductions in mineral and bioactive contents.



Key-words: *Euterpe oleracea*, nutritional quality, antioxidant activity, industrial processing.

## 5.1 INTRODUÇÃO

O açaizeiro (*Euterpe oleracea* Mart.) é uma palmeira nativa do Bioma Amazônico brasileiro. Seus frutos apresentam uma polpa de intensa coloração roxa, rica em fibras, vitaminas, minerais, ácidos graxos e compostos bioativos. Na região Amazônica, o estado do Pará se destaca como líder na produção de açaí, ocupando um papel central no cenário da fruticultura local. Essa atividade contribui significativamente para a inclusão social e o desenvolvimento econômico da região, gerando renda e oportunidades para mais de 25 mil pessoas no mercado de trabalho (FURLANETO et al., 2020).

Os produtos de açaí têm ganhado notoriedade tanto no mercado alimentício nacional quanto no internacional. Países como os Estados Unidos, Japão, China e nações europeias se destacam como os principais mercados internacionais nos quais o valor do açaí está intrinsecamente relacionado as suas propriedades funcionais e bioativas (YAMAGUCHI et al., 2015). A crescente demanda pelo açaí reflete o seu substancial potencial econômico, estabelecido por meio de uma cadeia produtiva que se encontra bem desenvolvida e valorizada.

Os principais benefícios à saúde derivados da polpa de açaí são atribuídos à sua riqueza em polifenóis, com destaque para as antocianinas (MATTA et al., 2020). Entre as antocianinas presentes na polpa de açaí, destacam-se a cianidina 3-glicosídeo e a cianidina 3-rutinosídeo, cujas propriedades biológicas estão associadas a capacidade de combater radicais livres, agindo na prevenção dos processos oxidativos, além de demonstrarem potenciais efeitos anti-inflamatórios, antiproliferativos e cardioprotetores (CEDRIM; BARROS; NASCIMENTO, 2018; CARVALHO et al., 2017).

Além das propriedades bioativas, a polpa de açaí é uma fonte significativa de minerais, como potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg), os quais são majoritários na sua composição (MENEZES; TORRES; SRUR, 2008). Esses minerais desempenham funções cruciais no organismo humano. O magnésio, por exemplo, tem um papel fundamental no metabolismo de carboidratos, proteínas e lipídeos. Sendo assim, a análise da composição mineral fornece informações relevantes sobre

os benefícios do consumo da polpa de açaí para o organismo humano (OLIVEIRA; MARCHINI, 1998; SILVEIRA et al., 2023).

A polpa dos frutos maduros, incluindo o epicarpo e o mesocarpo, é obtida por meio de despulpamento mecânico. Devido à sua elevada perecibilidade, a polpa do açaí é comercializada congelada ou em pó, os quais são amplamente utilizados como ingredientes na indústria de alimentos, na produção de diversos produtos, como sorvetes, cremes e licores (CARVALHO et al., 2017; ALMICO et al., 2018).

Produtos processados de açaí, consumidos em regiões distantes de onde a fruta é colhida, passam por processos na indústria de alimentos que incluem a adição de xarope de guaraná e ingredientes, como emulsificantes, espessantes, conservantes e açúcares, os quais são considerados de valor nutricional reduzido. A composição final desses produtos processados pode resultar na diminuição das propriedades funcionais e antioxidantes. A presente pesquisa busca contribuir para a compreensão dos impactos do processamento industrial sobre o valor nutricional do açaí, fornecendo informações relevantes para consumidores e profissionais da área da saúde.

O objetivo desse estudo foi realizar uma avaliação comparativa do valor nutricional entre produtos processados e polpas *in natura* de açaí, com foco nos teores dos minerais K, Ca e Mg, sólidos solúveis (SS), teor de massa seca (MS), atividade antioxidante, antocianinas totais (AT) e compostos fenólicos totais (CFT).

## 5.2 MATERIAL E MÉTODOS

Amostras de produtos de açaí (*E. oleracea*), incluindo polpas *in natura* e produtos processados (sorvetes) foram utilizadas. As amostras das polpas *in natura* de açaí foram adquiridas em pontos de venda em seus respectivos locais de origem, São Luiz - MA e São Miguel do Guamá - PA. Após terem sido congeladas a -18 °C, estas amostras foram transportadas em caixas térmicas por via aérea até o Laboratório de Tecnologia de Alimentos, UNIOESTE, Campus Marechal Cândido Rondon - PR. As amostras processadas foram adquiridas em sorveterias e supermercados locais, sendo armazenadas em freezer a -18 °C, até o momento das análises. No total, foram adquiridas 2 amostras *in natura* de açaí (*E. oleracea*) e 8 amostras de produtos processados de açaí, perfazendo um conjunto de 10 amostras

experimentais. A Tabela 1 apresenta a composição de ingredientes das amostras de açaí *in natura* e industriais.

**Tabela 1** - Composição das amostras experimentais de polpas *in natura* e processadas de açaí.

<b>Amostra</b>	<b>Composição<sup>1</sup></b>
<b>In natura 1</b>	Polpa de açaí e água.
<b>In natura 2</b>	Polpa de açaí e água.
<b>Processada 1</b>	Polpa de açaí, água, açúcar, glucose de milho, extrato de guaraná, fibra de laranja, estabilizante carboximetilcelulose sódica, aromatizante, acidulante ácido cítrico, emulsificante mono e diglicerídeos de ácidos graxos.
<b>Processada 2</b>	Polpa de açaí, água, açúcar, extrato de guaraná, estabilizante carboximetilcelulose sódica, aroma idêntico ao natural de guaraná, acidulante ácido cítrico, emulsificante mono e diglicerídeos de ácidos graxos.
<b>Processada 3</b>	Polpa de açaí, água, açúcar, estabilizante (açúcar, espessantes goma guar carboximetilcelulose e goma tara), extrato natural de guaraná, acidulante ácido cítrico, aroma idêntico ao natural de guaraná, corante (açúcar, glucose, corantes artificiais amaranço e azul brilhante FCF) e espessante goma xantana.
<b>Processada 4</b>	Polpa de açaí e xarope de guaraná.
<b>Processada 5</b>	Polpa de açaí, açúcar, goma xantana e glucose de milho.
<b>Processada 6</b>	Água, polpa de açaí, açúcar, base sweet [açúcar, xarope de glucose, água, ácido fosfórico (INS 338)], cremosidade (gordura vegetal em pó, concentrado proteico de soro de leite em pó e maltodextrina), liga para açaí (emulsificante mono e diglicerídeos de ácidos graxos, estabilizantes goma lacusta, goma tara, goma guar, goma xantana e carboximetilcelulose), extrato de guaraná, aroma de guaraná e conservante ácido cítrico.
<b>Processada 7</b>	Polpa de açaí, água, açúcar, glucose de milho, extrato de guaraná, estabilizante carboximetilcelulose sódica, aromatizante, emulsificante mono e diglicerídeo de ácidos graxos e acidulante ácido cítrico.
<b>Processada 8</b>	Polpa de açaí, água, açúcar, glicose de milho, aroma de guaraná com extrato, ácido cítrico, espessantes goma guar, carboximetilcelulose e goma xantana, emulsificante monoglicerídeos de ácidos graxos destilados, sal de ácidos graxos, monoestearato de sorbitana e polioxietileno de monoestearato de sorbitana, corantes artificiais amaranço e azul brilhante.

<sup>1</sup>Informações obtidas através dos rótulos e embalagens das amostras *in natura* e processadas de polpa de açaí.

O plano experimental foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado (DIC), contendo as 10 amostras frescas dos produtos de açaí (2 amostras *in natura* e 8 amostras industriais), com 5 repetições por amostra. Foram determinados SS, MS, SS/MS, atividade antioxidante (capacidade de sequestro dos radicais oxidantes DPPH e ABTS), CFT e AT. As quantificações dos minerais K, Ca e Mg foram realizadas com 3 repetições por amostra. Todas as análises foram realizadas em triplicata.

### 5.2.1 Potássio (K), Cálcio (Ca) e Magnésio (Mg)

Para a determinação dos minerais K, Ca e Mg foi realizada a digestão nitro-perclórica das amostras frescas das polpas *in natura* e dos produtos industriais de açaí. Após a oxidação do material vegetal pela digestão nítrico-perclórica, os minerais K, Ca e Mg foram quantificadas em espectrômetro de absorção atômica (modalidade

chama) com lâmpada de cátodo oco de K e Ca-Mg e realizadas as leituras. As leituras foram realizadas em triplicata.

### **5.2.2 Sólidos Solúveis (SS) e Teor de Matéria Seca (MS)**

A análise de SS foi realizada de acordo com Pozzan, Braga e Salibe (2012), utilizando uma alíquota de cada amostra fresca do produto da polpa de açaí, tanto integral quanto processada. As medidas foram realizadas em um refratômetro digital (Atago, PAL-1), com leituras repetidas em triplicata, e os resultados expressos em °Brix.

Os teores de MS (%) de todas as amostras foram determinados através de método de secagem em estufa ventilada a 60 °C por 24h, seguida de 105 °C por 24h. Os resultados de todas as análises foram calculados com base na matéria seca obtida.

A partir dos teores de SS e MS foi calculada a relação SS/MS.

### **5.2.3 Preparo do Extrato Etanólico**

Um extrato etanólico foi preparado para as análises de CFT, AT e atividade antioxidante (DPPH e ABTS). As amostras frescas foram misturadas com etanol 80% na proporção 1/10 (m/v), submetidas a agitação em banho ultrassônico (Unique, USC-2850 a) por 20 minutos e centrifugadas a 20.000 xg em centrífuga (MPW 350-350R) a 4 °C, durante 20 minutos. Após a centrifugação, os extratos foram filtrados em papel filtro qualitativo e transferidos para tubos de ensaio. Os extratos foram armazenados a -18 °C até o momento das análises.

### **5.2.4 Compostos Fenólicos Totais (CFT) e Antocianinas Totais (AT)**

A análise de CFT das amostras frescas das polpas *in natura* e dos produtos industriais de açaí foi realizada pelo método espectrofotométrico de Folin-Ciocalteau, conforme descrito por Cheng et al. (2013). As leituras das absorbâncias foram realizadas em espectrofotômetro UV-visível (Shimadzu, UV-1800) a 760 nm. Os resultados foram expressos em mg g<sup>-1</sup> amostra seca, equivalente ao ácido gálico (EqAG) e calculados por meio de curvas de calibração ( $y = 76,6663x - 3,1120$ , R<sup>2</sup> 0,9980). As análises foram realizadas em triplicata.

As AT das amostras frescas das polpas *in natura* e dos produtos industriais de açaí foram determinadas através do método de pH diferencial proposto por Lee et al. (2005), em soluções tampão de pH 1 (KCl 0,025 M) e pH 4,5 (C<sub>2</sub>H<sub>3</sub>NaO<sub>2</sub> 0,4 M). As

leituras das absorvâncias de ambas as diluições foram realizadas em espectrofotômetro UV-Vis a 510 e 700 nm. Os resultados foram expressos em mg cianidina-3-glicosídeo g<sup>-1</sup> amostra seca, calculados através da (Equação 1):

$$AT = (A \times 449,2 \times FD \times 1000) \div 26900 \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

A: (absorvância 510 nm - absorvância 700 nm) pH 1 - (absorvância 510 nm - absorvância 700 nm) pH 4,5; 449,2: massa molecular da antocianina cianidina-3-glicosídeo (g<sup>-1</sup> mol); FD: fator de diluição; 1000: fator de conversão de gramas para miligramas; 26900: coeficiente de extinção molar.

## 5.2.5 Atividade Antioxidante

### 5.2.3.1 Sequestro do Radical Livre DPPH

A determinação do sequestro do radical livre DPPH nas amostras frescas das polpas *in natura* e dos produtos industriais de açaí foi realizada segundo Siripatrawan e Harte (2010). As leituras das absorvâncias foram realizadas em espectrofotômetro UV-visível a 517 nm. Os resultados foram expressos em µmol g<sup>-1</sup> da amostra seca, em equivalente Trolox (EqT), e foram calculados por meio de curvas de calibração ( $y = -421,1x + 230,35$ , R<sup>2</sup> 0,9973). As análises foram realizadas em triplicata.

### 5.2.3.2 Sequestro do Radical Livre ABTS

A determinação do sequestro do radical livre ABTS das amostras frescas das polpas *in natura* e dos produtos industriais de açaí foram realizadas segundo Rufino et al. (2007). As leituras foram realizadas em espectrofotômetro UV-visível a 734 nm. Os resultados foram expressos em µmol g<sup>-1</sup> amostra seca, em equivalente Trolox (EqT), e calculados por meio de curvas de calibração ( $y = -0,9125x + 0,6569$ , R<sup>2</sup> 0,9992). As análises foram realizadas em triplicata.

### 5.2.6 Análise Estatística

Os dados foram submetidos a análise de variância (ANOVA), e aos parâmetros cujo teste F foi significativo foi aplicado teste de Tukey ( $P < 0,05$ ). O software estatístico Sisvar (FERREIRA, 2011) foi utilizado.

## 5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.3.1 Potássio (K), Cálcio (Ca) e Magnésio (Mg)

Os minerais K, Ca e Mg foram analisados de amostras de produtos *in natura* e industriais de açaí. As amostras *in natura*, compostas apenas por polpa de açaí e água foram contrastadas com produtos industriais de composições mais complexas, incorporando açúcares, estabilizantes, emulsificantes e outros aditivos, conforme composição mostrada na Tabela 1.

A escolha dos minerais K, Ca e Mg está fundamentada em sua importância nutricional e relevância para a saúde humana. K desempenha papel crucial na regulação da pressão arterial (FONSECA; ZAMITH; MACHADO, 2015), enquanto o Ca é essencial para a saúde óssea (CASTRO et al., 2022), enquanto o Mg atua em diversas funções metabólicas (SEVERO et al., 2015). O açaí, como alimento amplamente consumido, pode ser uma fonte significativa desses minerais, uma vez que são seus minerais majoritários (SILVEIRA et al., 2023), justificando sua análise detalhada.

Os resultados para os minerais K, Ca e Mg ( $\text{g kg}^{-1}$  massa seca) dos produtos *in natura* e industriais de açaí são apresentados na Tabela 2. Os resultados revelaram contrastes significativos entre os produtos *in natura* e industriais. Notadamente, as amostras *in natura* apresentaram teores mais elevados dos três minerais analisados em comparação com os produtos industriais. As amostras *in natura* demonstraram concentrações de K (integral 1 -  $8,80 \text{ g kg}^{-1}$ ; integral 2 -  $10,55 \text{ g kg}^{-1}$ ) significativamente mais elevadas do que as amostras industriais (média processada -  $1,97 \text{ g kg}^{-1}$ ). Similarmente, os conteúdos de Ca das amostras *in natura* (integral 1 -  $71,77 \text{ g kg}^{-1}$ ; integral 2 -  $46,66 \text{ g kg}^{-1}$ ) superou significativamente as amostras industriais, cujo maior conteúdo foi  $40,04 \text{ g kg}^{-1}$  (processada 1). Resultados para Mg seguiram a mesma tendência, com amostras *in natura* (integral 1 -  $9,23 \text{ g kg}^{-1}$ ; integral 2 -  $6,04 \text{ g kg}^{-1}$ ) exibindo quantidades significativamente mais elevadas em comparação com as

amostras industriais, que variaram de 1,93 g kg<sup>-1</sup> (processada 8) a 4,69 g kg<sup>-1</sup> (processada 1).

**Tabela 2** - Potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) de polpas *in natura* e processadas de açaí.

	K (g kg <sup>-1</sup> massa seca)	Ca (g kg <sup>-1</sup> massa seca)	Mg (g kg <sup>-1</sup> massa seca)
<b><i>In natura 1</i></b>	8,80 b	71,67 a	9,23 a
<b><i>In natura 2</i></b>	10,55 a	46,66 b	6,04 b
<b>Processada 1</b>	1,56 c	40,04 c	4,69 c
<b>Processada 2</b>	2,46 c	35,55 d	3,79 d
<b>Processada 3</b>	2,56 c	34,02 d	4,25 cd
<b>Processada 4</b>	2,07 c	27,54 e	2,95 e
<b>Processada 5</b>	2,04 c	21,74 fg	2,34 f
<b>Processada 6</b>	1,76 c	19,54 gh	2,07 f
<b>Processada 7</b>	1,22 c	22,91 f	2,33 f
<b>Processada 8</b>	1,88 c	16,82 h	1,93 f
<b>CV (%)</b>	14,91	3,11	4,54
<b>DMS</b>	1,52	3,07	0,53

Médias seguidas por mesma letra minúsculas na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05).

A presença de aditivos, como adição de açúcares e estabilizantes nos produtos industriais, em decorrência dos processos industriais contribuíram para a redução dos teores desses minerais nos produtos finais. Em suma, a influência dos ingredientes adicionados durante o processamento processada pode explicar as reduções desses minerais.

Os teores de minerais no açaí podem variar em função de diversos fatores, como solo, clima e estágio de maturação, que podem ter contribuído para a variabilidade encontrada nos resultados das polpas *in natura*. No caso das polpas industriais, o armazenamento e o processamento processada são as principais causas. Durante o processamento, os minerais presentes no fruto são expostos a umidade, oxigênio e técnicas de processamento, como moagem e aquecimento, influenciando a biodisponibilidade dos minerais devido a degradação parcial destes compostos. Tratamentos térmicos, por exemplo, são capazes de reduzir significativamente os minerais K, Ca e Mg (GHARIBZAHEDI; JAFARI, 2017), portanto, o emprego desses tratamentos nos produtos industriais de açaí, como a pasteurização, é um fator que pode levar a degradação desses minerais, muito embora, os baixos teores de minerais estejam diretamente relacionados a quantidade reduzida de polpa integral de açaí presente nos produtos industriais.

### 5.3.2 Sólidos Solúveis (SS) e Teor de Matéria Seca (MS)

A escolha das variáveis SS, MS e SS/MS reflete a importância de compreender não apenas a quantidade total de SS, mas também a relação entre estes e a MS. Esses parâmetros são cruciais para avaliar a qualidade e a composição dos produtos de açaí, podendo representar indicadores relevantes de sua densidade nutricional e potencial impacto na saúde, uma vez que sólidos solúveis refletem a quantidade de açúcares presente.

A Tabela 3 mostra os resultados de SS, MS e SS/MS dos produtos *in natura* e industriais de açaí. O teor de SS das amostras industriais de açaí, que variou de 19,72 a 30,80 °Brix, foi significativamente mais elevado do que as amostras *in natura* (integral 1 - 2,96; integral 2 - 3,50 °Brix). Esse contraste evidencia a influência do processamento processada no aumento da concentração de substâncias solúveis, majoritariamente açúcares, conforme informado na Tabela 1. No que diz respeito ao teor de MS, novamente as amostras industriais superaram as amostras *in natura*. Os produtos industriais exibiram valores mais elevados de MS (variação de 26,95 a 38,54 g 100 g<sup>-1</sup>) em relação as amostras *in natura* (integral 1 - 18,72 g 100 g<sup>-1</sup>; integral 2 - 23,36 g 100 g<sup>-1</sup>), indicando uma maior quantidade de SS, quando comparados aos produtos *in natura*.

**Tabela 3** - Sólidos solúveis (SS), teor de massa seca (MS) e relação SS/MS de polpas *in natura* e processadas de açaí.

Amostra	SS (°Brix)	MS (g 100 g <sup>-1</sup> )	SS/MS
<i>In natura</i> 1	2,96 g	18,72 j	0,16 c
<i>In natura</i> 2	3,50 g	23,36 i	0,15 c
Processada 1	23,08 de	28,60 g	0,81 a
Processada 2	26,94 b	35,07 c	0,77 ab
Processada 3	25,44 c	32,66 d	0,78 ab
Processada 4	19,72 f	26,95 h	0,73 b
Processada 5	23,28 d	31,50 e	0,74 b
Processada 6	27,16 b	36,60 b	0,74 b
Processada 7	21,94 e	30,18 f	0,73 b
Processada 8	30,80 a	38,54 a	0,80 a
CV (%)	2,93	1,69	4,02
DMS	1,28	1,09	0,05

Médias seguidas por mesma letra minúsculas na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05).

Embora tenham apresentado menores teores de SS e MS, as amostras *in natura* exibiram relação SS/MS (integral 1 - 0,15; integral 2 - 0,16) significativamente mais baixa do que as amostras industriais (variação de 0,73 a 0,81) (Tabela 3), ou seja, os teores de açúcares naturalmente encontrados nas polpas das amostras *in*



*natura* representam apenas 15% e 16% de suas matérias secas totais, respectivamente. Isto reforça a ideia de que o processo industrial reduz o teor de MS inerente a polpa de açaí no produto final, o que, em tese, reduz seu valor nutricional.

Os teores de SS estão diretamente relacionados com os teores de açúcares e ácidos orgânicos, sendo cerca de 85% de sua constituição composta por açúcares (YAHIA; ORGANELAS-PAZ; GONZALEZ-AGUILAR, 2011), portanto, os baixos teores de SS nas polpas *in natura* indicam, sobretudo, menores teores de açúcares solúveis nas polpas. De acordo com as listas de ingredientes dos produtos industriais de açaí (Tabela 1), todos apresentam adição de açúcares e derivados em sua composição, contribuindo para os maiores valores °Brix de SS nas amostras, conforme Tabela 3.

Os teores de MS verificados nas amostras *in natura* 1 e 2 (18,72 e 23,36 g 100 g<sup>-1</sup>, respectivamente) (Tabela 3) indicam que a água é o constituinte principal das polpas (81,28 e 76,64%, respectivamente). Tais resultados refletem o maior potencial de deterioração destas amostras, uma vez que se trata de polpas *in natura* livre de aditivos, com alto teor de umidade e menores teores de SS, principalmente açúcares solúveis, conforme evidenciado na Tabela 3.

### 5.3.3 Compostos Fenólicos Totais (CFT) e Antocianinas Totais (AT)

Houve uma forte diferença de resultados de CFT e AT entre as amostras *in natura* e industriais (Tabela 4). As amostras *in natura* 1 e 2 apresentaram significativamente maiores concentrações de CFT (6,45 e 6,27 mg EAG g<sup>-1</sup>, respectivamente) quando comparadas às amostras industriais, cujo maior conteúdo de CFT foi 5,36 mg EAG g<sup>-1</sup> (processada 4). Com relação a AT, apenas a amostra integral 2 apresentou conteúdo significativamente maior do que todas as amostras industriais, no entanto, o conteúdo de AT da integral 1 (3,32 mg cianidina 3-glicosídeo g<sup>-1</sup>) foi superior apenas às amostras industriais 1, 2 e 7 (0,64, 1,82 e 2,13 mg cianidina 3-glicosídeo g<sup>-1</sup>). Os contrastes mais evidentes para as amostras *in natura* foram observados nos produtos industriais 1, 2 e 7, os quais apresentaram os menores valores para CFT e AT, ressaltando a influência negativa de certos aditivos, como xarope de guaraná, sobre a concentração desses compostos.

**Tabela 4** - Compostos fenólicos totais (CFT) e antocianinas totais (AT) de polpas *in natura* e processadas de açaí.

Amostra	CFT	AT
	(mg EAG g <sup>-1</sup> amostra seca)	(mg cianidina 3-glicosídeo g <sup>-1</sup> amostra seca)
<i>In natura</i> 1	6,45 a	3,32 cd
<i>In natura</i> 2	6,27 a	7,53 a
Processada 1	1,71 f	0,64 e
Processada 2	2,87 e	1,82 de
Processada 3	4,33 c	5,57 b
Processada 4	5,36 b	5,42 b
Processada 5	4,66 c	6,21 ab
Processada 6	3,37 d	5,06 bc
Processada 7	3,30 de	2,13 de
Processada 8	4,39 c	4,53 bc
CV (%)	5,44	19,88
DMS	0,49	1,79

Médias seguidas por mesma letra minúsculas na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05).

Embora o conteúdo de AT da amostra integral 1 tenha se mostrado inferior a algumas amostras industriais (Tabela 4), os resultados de CFT e AT sugerem que a presença de aditivos nos produtos industriais reduz os teores de compostos bioativos. A composição das amostras industriais (Tabela 1) revela a presença de açúcares, estabilizantes, aromatizantes e corantes, elementos que podem influenciar diretamente nas concentrações de CFT e AT. A diluição desses compostos nas amostras industriais é um fenômeno esperado devido à presença desses aditivos.

As variações nos teores de AT mensurados neste estudo (Tabela 4) podem estar relacionados aos efeitos decorrentes da extração e do processamento da polpa para obtenção dos produtos industriais, principalmente, devido a incorporação de oxigênio durante o processamento da polpa, ou ainda, devido a ação desses compostos em estabilizar espécies reativas de oxigênio, ocasionando a inativação do grupo hidroxila devido a sua reação com radicais livres formados, levando a inativação das AT (BARROS et al., 2015).

Os altos teores de polifenóis tornam a polpa de açaí uma das frutas brasileiras de maior potencial antioxidante, principalmente no combate das espécies reativas de oxigênio. Além das propriedades antioxidantes, o açaí também faz parte do grupo de alimentos funcionais e com propriedades anti-inflamatórias (CEDRIM; BARROS; NASCIMENTO, 2018). Diversos estudos apontam os benefícios de polifenóis à saúde humana e sugerem o consumo regular de uma dieta rica em polifenóis a fim de reduzir a ocorrência de doenças cardiovasculares, diabetes e doenças neurodegenerativas (KESAVAN et al., 2018). O consumo de açaí, além de ser associado a uma dieta saudável, devido a seu alto teor energético, também atua como fonte de polifenóis,

que estão diretamente relacionados à prevenção de doenças devido seu potencial antioxidante, principalmente em polpas *in natura*.

Schultz (2008) avaliou que a polpa de juçara (*E. edulis*) pasteurizada apresentou maior teor de AT em relação a polpa não pasteurizada, concluindo que a pasteurização garante maior estabilidade ao produto, pois elimina a oxidação enzimática, a qual gera uma maior perda em comparação a amostra não processada termicamente. Por outro lado, Barros et al. (2015) relataram que a degradação de antocianinas é considerada um dos efeitos mais comuns após o processamento térmico de açaí, uma vez que temperaturas elevadas podem levar a polimerização destes compostos, causando, inclusive, alterações na coloração da polpa.

As alterações de teores de antocianinas em produtos industriais das espécies *Euterpe* spp. podem ser ocasionadas por diferentes fatores, mas possivelmente, o processamento térmico seja um dos fatores de maior relevância. Por outro lado, o armazenamento congelado prolongado pode levar a uma diminuição mais lenta das antocianinas, assim como demais compostos bioativos (WEBER; LARSEN, 2017).

#### **5.3.4 Atividade Antioxidante**

Os resultados das análises de atividade antioxidante das amostras *in natura* e industriais de açaí, baseados nos sequestros dos radicais livres DPPH e ABTS, estão apresentados na Tabela 5. Os resultados indicam que houve um significativo contraste entre os produtos *in natura* e industriais. As amostras *in natura* apresentaram valores mais elevados de atividade antioxidante DPPH em comparação com as industriais. As amostras *in natura* 1 e 2 registraram, respectivamente, 20,51 e 16,59  $\mu\text{mol EqT g}^{-1}$ . Em contraste, as amostras industriais variaram entre 9,99 e 14,63  $\mu\text{mol EqT g}^{-1}$ . Essas diferenças significativas sugerem que a presença de ingredientes adicionais nas amostras industriais (Tabela 1) influenciam negativamente a capacidade de sequestro do radical DPPH, destacando a importância dos componentes antioxidantes naturais presentes nas amostras *in natura*, como compostos fenólicos e antocianinas. A atividade antioxidante medida pelo sequestro do radical ABTS mostrou resultados semelhantes. As amostras *in natura* exibiram valores consideravelmente mais altos em comparação com as industriais, contando com 14,24 e 14,52  $\mu\text{mol EqT g}^{-1}$  (integral 1 e 2, respectivamente), enquanto as amostras industriais variaram entre 3,78 e 9,33  $\mu\text{mol EqT g}^{-1}$ .

**Tabela 5** - Atividade antioxidante DPPH e ABTS de polpas *in natura* e processadas de açaí.

<b>Amostra</b>	<b>Atividade antioxidante DPPH (<math>\mu\text{mol EqT g}^{-1}</math> amostra seca)</b>	<b>Atividade antioxidante ABTS (<math>\mu\text{mol EqT g}^{-1}</math> amostra seca)</b>
<i>In natura</i> 1	20,51 a	14,24 a
<i>In natura</i> 2	16,59 b	14,52 a
Processada 1	13,21 d	3,78 e
Processada 2	10,85 h	5,05 e
Processada 3	11,76 g	8,97 bc
Processada 4	14,63 c	8,59 bcd
Processada 5	12,27 f	9,33 b
Processada 6	10,54 i	7,83 cd
Processada 7	12,84 e	7,27 d
Processada 8	9,99 j	7,99 bcd
<b>CV (%)</b>	0,12	7,94
<b>DMS</b>	0,03	1,48

Médias seguidas por mesma letra minúsculas na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

A maior atividade antioxidante das amostras *in natura* (Tabela 5) tem uma forte associação com a sua composição significativamente mais abundante de CFT e AT (Tabela 4), conhecidos por suas propriedades antioxidantes. A adição de açúcares e outros aditivos nas amostras industriais pode diluir a concentração desses compostos, impactando negativamente a capacidade antioxidante.

Campos et al. (2017) também verificaram que a atividade antioxidante nos produtos industriais é menor em relação a polpa integral de açaí. Isso acontece, pois o processamento dos produtos industriais pode ocasionar maior degradação dos compostos antioxidantes da polpa de açaí devido aos diversos processos envolvidos na produção de um produto processada, como tratamentos térmicos, pH, período de armazenamento, alterações de pH, dentre outros fatores causadores de estresse oxidativo (WEBER; LARSEN, 2017; BARROS et al., 2015).

Segundo dados do IBGE (2019), o consumo de açaí ganhou maior notoriedade a nível nacional a partir da década de 1990, principalmente nas regiões Sul e Sudeste, entre praticantes de esportes, devido suas propriedades energéticas e antioxidante. Conforme verificado neste trabalho, as amostras apresentam elevados níveis de atividade antioxidante (Tabela 5), principalmente as polpas *in natura*. Entretanto, grande parte do açaí consumido nas regiões Sul e Sudeste são produtos industriais, munidas de aditivos como açúcares, xarope de guaraná e conservantes, como os produtos industriais de açaí utilizadas neste estudo. Entretanto, as amostras industriais 4 e 5, apresentaram maiores teores de atividade antioxidante DPPH e ABTS dentre as oito amostras industriais utilizadas.

Foi verificado nas análises de atividade antioxidante CFT, AT (Tabela 4), DPPH e ABTS (Tabela 5), que as amostras de produtos industriais de açaí apresentaram valores inferiores as amostras *in natura*. De acordo com Barros et al. (2015), a qualidade da polpa de frutas, em geral, está relacionada a preservação de fatores como composição nutricional, características microbiológicas, físico-químicas e sensoriais, que devem ser próximas as da polpa da fruta *in natura*. Entretanto, durante o processamento e armazenamento, as polpas podem sofrer degradações de seus componentes nutricionais, além de prejuízos de características sensoriais, como a degradação de antocianinas, ocasionadas por tratamentos térmicos, bem como demais prejuízos de compostos antioxidantes à permeabilidade de oxigênio na embalagem.

As amostras *in natura* 1 e 2 apresentaram os maiores valores de CFT, atividade antioxidante, K, Ca e Mg. E por outro lado, as mesmas apresentaram os menores valores de SS e MS. O maior teor de AT também foi verificado na amostra integral 2. Portanto, é recomendável o consumo do açaí integral para desfrutar das potencialidades antioxidantes e nutricionais, sem os riscos associados ao consumo excessivo de açúcar, uma vez que o melhor perfil antioxidante e mineral, dentro das variáveis analisadas, foram detectadas nas amostras *in natura*, além de apresentarem os menores teores de SS, os quais estão diretamente relacionados aos açúcares presentes na amostra. Por outro lado, as amostras industriais 4 e 5 apresentaram os melhores valores de atividade antioxidante, CFT e AT dentre as amostras industriais utilizadas neste estudo. Esses resultados ressaltam a importância de considerar os efeitos do processamento processada na composição e nas propriedades nutricionais dos alimentos, especialmente em relação a produtos conhecidos por seus benefícios à saúde, como o açaí.

Apesar de ser uma fruta altamente calórica, o açaí pode fazer parte de uma alimentação saudável e balanceada. Como já demonstrado, a polpa é rica em compostos bioativos com propriedades antioxidantes, como CFT e AT. Entretanto, ainda há dificuldade das indústrias alimentícias em comercializar polpas congeladas com menor adição de açúcares em regiões não produtoras de açaí, que não tem o consumo do açaí *in natura* como tradição, como Sul e Sudeste, onde esse tipo de produto processada possui fácil aceitação. No entanto, o processamento da polpa de açaí, incluindo a adição de ingredientes e aditivos alimentares, resulta em uma

diminuição substancial da composição nutricional e das propriedades antioxidantes do produto final. Diante disso, é recomendado optar pelo açaí na forma natural e combiná-lo com ingredientes saudáveis, como demais frutas, para se obter dos benefícios à saúde que a polpa de açaí oferece.

#### 5.4 CONCLUSÕES

O processamento das polpas reduziu seus teores de K entre 2,56% e 1,22%, Ca entre 40,04% e 16,82% e Mg entre 4,69% e 1,93%, em relação às amostras *in natura*. Os maiores teores de SS e MS foram verificados nas amostras industriais, os quais se relacionam com a quantidade de açúcares presentes nas amostras. As amostras *in natura* de açaí também apresentaram teores significativamente mais altos de AT e CFT, bem como maior atividade antioxidante, em comparação com as amostras industriais. Este trabalho mostrou que o processamento da polpa de açaí, em virtude da adição de açúcares e demais ingredientes, ocasiona prejuízos na sua composição nutricional e antioxidante.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMICO, J. D.; FERREIRA, I. M.; RAMOS, G. D.; OLIVEIRA E SILVA, A. M.; CARVALHO, M. G. Avaliação da qualidade microbiológica, físico-química e química de polpas de açaí (*Euterpe oleracea* Mart) pasteurizadas congeladas comercializadas em Aracaju-SE. **Revista Brasileira de Higiene e Sanidade Animal**, v. 12, n. 2, p. 156-168, 2018.
- BARROS, E. C. M.; COSTA, N. S.; RIBEIRO, L. O.; MENDES, M. F.; PEREIRA, C. S. S. Efeitos da pasteurização sobre características físico-químicas, microbiológicas e teor de antocianinas da polpa de juçará (*Euterpe edulis* Martius). **Revista Eletrônica TECCEN**, v. 8, n. 1, p. 21-26, 2015.
- CAMPOS, D. C. S.; NEVES, L. T. B. C.; FLACH, A.; COSTA, L. A. M. A.; SOUSA, B. O. Post-acidification and evaluation of anthocyanins stability and antioxidant activity in açaí fermented milk and yogurts (*Euterpe oleracea* Mart.). **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 39, n. 5, e-871, 2017.
- CARVALHO, A. V.; SILVEIRA, T. F.; MATTIETTO, R. A.; OLIVEIRA, M. S. P.; GODOY, H. T. Chemical composition and antioxidant capacity of açaí (*Euterpe oleracea*) genotypes and commercial pulps. **Journal of Science of Food and Agriculture**, v. 97, n. 5, p. 1467-1474, 2017.
- CASTRO, L. A.; CORREIA, L. S.; SANTOS, M. M. S.; FERREIRA, J. C. S.; FREITAS, F. M. N. O. A importância do cálcio na prevenção do desenvolvimento da osteoporose

para um envelhecimento saudável. **Brazilian Journal of Development**, v. 8, n. 5, p. 36193-36205, 2022.

CEDRIM, P. C. A. S.; BARROS, E. M. A.; NASCIMENTO, T. G. Propriedades antioxidantes do açaí (*Euterpe oleracea*) na síndrome metabólica. **Brazilian Journal do Food Technology**, v. 21, e2017092, 2018.

CHENG, K. C.; WU, J. Y.; LIN, J. T.; LIU, W. H. Enhancements of isoflavone aglycones, total phenolic content, and antioxidant activity of black soybean by solid-state fermentation with *Rhizopus* spp. **European Food Research and Technology**, v. 236, n. 6, p. 1107-1113, 2013.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

FONSECA, H. A. R.; ZAMITH, T. P.; MACHADO, V. A. Relações entre o potássio da dieta e a pressão arterial. **Revista Brasileira de Hipertensão**, v. 22, n. 1, p. 9-12, 2015.

FURLANETO, F. P. B.; SOARES, A. A. V. L.; FURLANETO, L. B. Parâmetros tecnológicos, comerciais e nutracêuticos do açaí (*Euterpe oleracea*). **Revista Internacional de Ciências**, v. 10, n. 1, p. 91-107, 2020.

GHARIBZAHEDI, S. M. T.; JAFARI, S. M. The importance of minerals in human nutrition: Bioavailability, food fortification, processing effects and nanoencapsulation. **Trends in Food Science and Technology**, v. 62, n. 1, p. 119-132, 2017.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção da extração vegetal e da silvicultura**. 2019. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/producao-da-extracao-vegetal-e-da-silvicultura>>. Acesso em: 20 jun. 2023.

KESAVAN, P.; BANERJEE, A., BANERJEE, A.; MURUGESAN, R.; MAROTTA, F.; PATHAK, S. An overview of dietary polyphenols and their therapeutic effects. In: WATSON, R. R.; PREEDY, V. R.; ZIBADI, S. (Ed.). **Polyphenols: mechanisms of action in human health and disease**. 2.ed. v. 1. Cap. 17. Academic Press: Elsevier. 2018. 452 p.

MATTA, F. V.; XIONG, J.; LILA, M. A.; WARD, N. I.; FELIPE-SOLETO, M.; ESPOSITO, D. Chemical composition and bioactive properties of commercial and non-commercial purple and white açaí berries. **Foods**, v. 9, n. 10, 1481, 2020.

MENEZES, E. M. S.; TORRES, A. T.; SRUR, A. U. S. Valor nutricional da polpa de açaí (*Euterpe oleracea* Mart) liofilizada. **Acta Amazonica**, v. 38, n. 2, p. 311-316, 2008.

OLIVEIRA, J. E. D.; MARCHINI, J. S. **Ciências Nutricionais**. São Paulo: Ed. Sarvier. 403 p. 1998.

POZZAN, M. S., BRAGA, G. C., SALIBE, A. B. Teores de antocianinas, fenóis totais, taninos e ácido ascórbico em uvas 'bordô' sobre diferentes porta-enxertos. **Revista Ceres**, v. 59, n. 5, p. 701-708, 2012.

RUFINO, M. S. M.; ALVES, R. E.; BRITO, E. S.; MORAIS, S. M.; SAMPAIO, C. G.; PÉREZ-JIMÉNEZ, J.; SAURA-CALIXTO, F. D. Metodologia científica: determinação da atividade antioxidante total em frutas pela captura do radical livre ABTS<sup>•+</sup>. **Comunicado Técnico Online**, v. 128, p. 1-4, 2007.

SEVERO, J. S.; MORAIS, J. B. S.; FREITAS, T. E. C.; CRUZ, K. J. C.; OLIVEIRA, A. R. S.; POLTRONIERI, F.; MARREIRO, D. N. Aspectos Metabólicos e Nutricionais do Magnésio. **Nutrición Clínica Dietética Hospitalaria**, v. 35, n. 2, p. 67-74, 2015.

SCHULTZ, J. **Compostos fenólicos, antocianinas e atividade antioxidante de açais de *Euterpe edulis* Martius e *Euterpe oleracea* Martius submetidos a tratamentos para sua conservação**. 2008. 50 p. Monografia (Trabalho de conclusão de curso - Agronomia) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

SILVEIRA, J. T.; ROSA, A. P. C.; MORAIS, M. G.; VICTORIA, F. N.; COSTA, J. A. V. An integrative review of Açaí (*Euterpe oleracea* and *Euterpe precatoria*): traditional uses, phytochemical composition, market trends, and emerging applications. **Food Research International**, v. 173, n. 1, 113304, 2023.

SIRIPATRAWAN, U.; HARTE, B. R. Physical properties and antioxidant activity of an active film from chitosan incorporated with green tea extract. **Food Hydrocolloids**, v. 24, n. 8, p. 770-775, 2010.

WEBER, F.; LARSEN, L. R. Influence of fruit juice processing on anthocyanin stability. **Food Research International**, v. 100, n. 3, p. 354-365, 2017.

YAMAGUCHI, K. K. L.; PEREIRA, L. F. R.; LAMARÃO, C. V.; LIMA, E. S.; VEIGA-JUNIOR, V. F. Amazon acai: chemistry and biological activities: a review. **Food Chemistry**, v. 179, n. 1, p. 137-151, 2015.

YAHIA, E. M.; ORGANELAS-PAZ, J. D. J.; GONZALEZ-AGUILAR, G. A. Nutritional and health-promoting properties of tropical and subtropical fruits. In: YAHIA, E. M. (Ed.). **Postharvest biology and technology of tropical and subtropical fruits**. 3.ed. Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2011. cap. 2, p. 21-78.



## 6. CONCLUSÕES GERAIS

No estudo da bioacessibilidade e citotoxicidade dos compostos bioativos das polpas das três espécies de *Euterpe* spp. foi possível concluir que as espécies *E. precatoria* e *E. edulis*, menos utilizadas e menos valorizadas economicamente, foram aquelas que demonstraram os melhores resultados, com maior concentração de compostos bioativos bioacessíveis e maior ação citotóxica contra as células Caco-2.

Os resultados mostraram que as espécies *E. precatoria* e *E. edulis* apresentam potencial para serem incluídas no mercado da polpa de açaí, assim como já ocorre com a polpa de *E. oleracea*, devido, principalmente, aos seus altos valores nutricionais e antioxidantes, podendo ser uma alternativa para expansão da produção em demais regiões do Brasil, especialmente para a espécie *E. edulis* que está presente no Bioma Mata Atlântica.

No estudo físico-químico e nutricional das polpas das três espécies, *E. edulis* também se destacou na maior parte das variáveis analisadas, com maiores teores minerais, ácido ascórbico, acidez e parte dos macronutrientes analisados na composição proximal (proteínas e carboidratos). *E. precatoria*, além de apresentar maior teor de fibras, também teve maior teor de sólidos solúveis e *ratio*, o que reflete em melhor sabor de polpa e aceitação de consumo. Os resultados deste estudo reforçam, mais uma vez, que a espécie *E. edulis* apresenta potencial de expansão de sua cadeia produtiva, a fim de valorizar sua polpa e preservar a espécie ameaçada de extinção pela exploração indiscriminada do palmito.

No estudo com polpas *in natura* e industriais de açaí foi possível concluir que as polpas *in natura* apresentaram teores mais altos de minerais, compostos fenólicos e maior atividade antioxidante. Antocianinas teve seu teor mais alto em apenas uma das amostras *in natura* analisadas. Este estudo mostrou que polpas de açaí processadas industrialmente, com adição de açúcares e aditivos alimentares, sofrem com perdas nutricionais e antioxidantes consideráveis. Tal fato revela que o consumo da polpa integral de açaí, ou com adição de níveis reduzidos de ingredientes alimentares, conduz ao verdadeiro aproveitamento das suas potencialidades antioxidantes e nutricionais.