

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ANNA MARIA FORCELINI BONIN

CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DA GRUMIXAMA (MYRTACEAE  
*Eugenia brasiliensis* Lam.) E AVALIAÇÃO DOS COMPOSTOS FENÓLICOS E  
ATIVIDADE ANTIOXIDANTE DO FRUTO LIOFILIZADO ANTES E APÓS  
DIGESTIBILIDADE *IN VITRO*

CURITIBA

2022

ANNA MARIA FORCELINI BONIN

CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DA GRUMIXAMA (MYRTACEAE  
*Eugenia brasiliensis* Lam.) E AVALIAÇÃO DOS COMPOSTOS FENÓLICOS E  
ATIVIDADE ANTIOXIDANTE DO FRUTO LIOFILIZADO ANTES E APÓS  
DIGESTIBILIDADE *IN VITRO*

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Alimentação e Nutrição, Área de Concentração: Qualidade dos Alimentos e Nutrição, departamento de Nutrição, Setor de Ciências da Saúde, Universidade Federal do Paraná, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Alimentação e Nutrição.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Claudia Carneiro Hecke  
Krüger  
Coorientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Suelen Ávila

CURITIBA

2022

Bonin, Anna Maria Forcelini  
Caracterização físico-química da Grumixama (Myrtaceae *Eugenia brasiliensis* Lam.) e avaliação dos compostos fenólicos e atividade antioxidante do fruto liofilizado antes e após digestibilidade *in vitro* [recurso eletrônico] / Anna Maria Forcelini Bonin – Curitiba, 2022.  
1 recurso online: PDF.

Dissertação (mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Alimentação e Nutrição. Setor de Ciências da Saúde, Universidade Federal do Paraná, 2022.

Orientador: Profa. Dra. Claudia Carneiro Hecke Kruger  
Coorientador: Profa. Dra. Suelen Avilla

1. Nutrição. 2. Frutas. 3. Sementes. 4. Liofilização. I. Kruger, Claudia Carneiro Hecke. II. Avilla, Suelen. III. Universidade Federal do Paraná. IV. Título.

CDD 612.3



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
SETOR DE CIÊNCIAS DA SAÚDE  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO ALIMENTAÇÃO E  
NUTRIÇÃO - 40001016074P7

## TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação ALIMENTAÇÃO E NUTRIÇÃO da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da dissertação de Mestrado de **ANNA MARIA FORCELINI BONIN** intitulada: **CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DA GRUMIXAMA (MYRTACEAE *Eugenia brasiliensis* Lam.) E AVALIAÇÃO DOS COMPOSTOS FENÓLICOS E ATIVIDADE ANTIOXIDANTE DO FRUTO LIOFILIZADO ANTES E APÓS DIGESTIBILIDADE *IN VITRO***, que após terem inquirido a aluna e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua **APROVAÇÃO** no rito de defesa.

A outorga do título de mestra está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 30 de Setembro de 2022.

Assinatura Eletrônica

13/10/2022 16:50:57.0

SUELEN ÁVILA

Presidente da Banca Examinadora

Assinatura Eletrônica

17/10/2022 16:47:12.0

SILA MARY RODRIGUES FERREIRA

Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Assinatura Eletrônica

13/10/2022 16:57:35.0

VIVIAN CRISTINA ITO

Avaliador Externo (UNICESUMAR - PONTA GROSSA)

Av. Prof. Lothário Meissner, 632 - CURITIBA - Paraná - Brasil  
CEP 80210-170 - Tel: (41) 3360-4010 - E-mail: pgnutricao@ufpr.br

Documento assinado eletronicamente de acordo com o disposto na legislação federal Decreto 8539 de 08 de outubro de 2015.  
Gerado e autenticado pelo SIGA-UFPR, com a seguinte identificação única: 226734

Para autenticar este documento/assinatura, acesse <https://www.prrpg.ufpr.br/siga/visitante/autenticacaoassinaturas.jsp>  
e insira o código 226734

*Dedico este estudo ao meu esposo Eduardo,  
por todo amor e apoio irrestrito.*

*Aos meus amados filhos, Arthur, André e Lorena, alegrias da  
minha vida.*

*E a todos os guardiões de sementes crioulas e nativas,  
por salvaguardarem a biodiversidade do planeta.*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu esposo, Eduardo, e aos meus filhos, Arthur André e Lorena pelo amor, compreensão e apoio incondicional.

Aos meus pais, Ivone e Leonildo, por terem forjado os alicerces da minha vida pessoal e profissional.

Ao meu sogro, Luiz Fernando, por ter fornecido os frutos utilizados no trabalho.

À minha sogra, Anamaria, por cuidar dos meus filhos na minha ausência.

À minha orientadora, Profa. Dra. Claudia Krüger, cuja paciência e acolhimento me trouxeram serenidade para realizar este estudo durante a pandemia. Sempre será um grande exemplo de pessoa para mim.

À minha coorientadora, Profa. Dra. Suelen Ávila, pela ajuda imensurável em todas as etapas do estudo. Não tenho palavras para te agradecer.

Ao Jair, técnico do laboratório de pós-graduação em Nutrição, cujo apoio técnico e prático foi fundamental para a caracterização do fruto estudado.

À Mayara Padovan dos Santos e ao Departamento de Química da UFPR, por concretizar a análise de minerais do estudo.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Farmacêuticas, cujo apoio analítico possibilitou o alcance dos resultados obtidos.

Às professoras Sila Mary Rodrigues Ferreira, Vivian Ito, Christiane Queiroz e Helayne Maieves pelas ricas contribuições enquanto banca avaliadora.

Aos colegas do mestrado, pelo apoio mútuo e trabalhos em equipe.

Aos amigos, cujas palavras de apoio trouxeram mais leveza durante a condução deste estudo.

A todos, a minha imensa gratidão!

*“Diz o mestre:*

*Escreva. Seja uma carta, ou um diário, ou algumas anotações enquanto fala ao telefone – mas escreva. Escrever nos aproxima de Deus e do próximo. Se você quiser entender melhor o seu papel no mundo, escreva. Procure colocar a sua alma por escrito, mesmo que ninguém leia – ou, o que é pior, mesmo que alguém termine lendo algo que você não queria. O simples fato de escrever nos ajuda a organizar o pensamento e ver com clareza o que nos cerca. Um papel e uma caneta operam milagres – curam dores, consolidam sonhos, levam e trazem a esperança perdida.*

*A palavra tem poder.”*

**Paulo Coelho**

## RESUMO

A grumixama (*Eugenia brasiliensis* Lam.) é uma fruta pertencente à família Myrtaceae, fonte de fitoquímicos importantes como compostos fenólicos, flavonoides e antocianinas, que se apresentam em quantidades variáveis conforme o estágio de maturação. Esses compostos apresentam atividades biológicas importantes desde que estejam bioacessíveis após o processo fisiológico da digestão. Os objetivos deste estudo foram caracterizar as propriedades físico-químicas das frações do fruto grumixama (semente, polpa e casca) e avaliar o conteúdo de compostos fenólicos (TPC), flavonoides (TFC), antocianinas (TAC) e atividade antioxidante (DPPH, ABTS e FRAP) antes e após digestibilidade *in vitro*. Os frutos foram colhidos no município de São José dos Pinhais (Paraná), separados em maduro (M) e semimaduro (S) e fracionados em semente (S), polpa e casca (P). Os macronutrientes (proteína, lipídeo, carboidrato), fibras, açúcares redutores, minerais, cor e a toxicidade frente *Artemia salina* foram avaliados nas frações liofilizadas. A quantificação dos compostos fenólicos e flavonoides foi realizada por HPLC. A bioacessibilidade dos bioativos (TPC, TFC e TAC) e atividade antioxidante (DPPH, ABTS, FRAP) foi aferida após digestibilidade *in vitro*. Maiores conteúdos de açúcares redutores, fibras insolúveis, L\*, TFC, miricetina, quercetina, ácido cinâmico e atividade antioxidante foram verificados na fração S. Com destaque para as fibras solúveis, carboidratos e cinzas na fração S madura (SM) e lipídeos e TFC na S semimadura (SS). A fração P madura (PM) foi superior em açúcares redutores, fibras solúveis, carboidratos e TAC enquanto a semimadura (PS) em fibras insolúveis e TPC. O conteúdo dos minerais Ca, K, Mn, Ba e S foi maior na PS e ambas são fontes de Se. As frações não apresentaram toxicidade. Os compostos bioativos e atividade antioxidante da grumixama diminuíram após a digestão *in vitro*, com bioacessibilidade do TPC na fração P superior a 50% na fase gástrica e 20% na fase intestinal. Os resultados sugerem que as frações liofilizadas da grumixama apresentam propriedades nutricionais relevantes para utilização na indústria alimentícia e farmacêutica. Assim, o fruto e seus subprodutos podem promover a soberania e segurança alimentar e nutricional de populações regionais e fomentar a agricultura familiar.

Palavras-chave: Nutrição; frutas; sementes; liofilização.

## ABSTRACT

The grumixama (*Eugenia brasiliensis* Lam.) is a fruit belonging to the Myrtaceae family, source of important phytochemicals such as phenolic compounds, flavonoids and anthocyanins, which are presented in variable quantities according to the ripening stage. These compounds play important biological activities in organism as long as they are bioaccessible after the physiological process of digestion. The objective of this study was to characterize the physicochemical properties of the grumixama fruit fractions (seed, pulp and peel) and to evaluate the content of phenolic compounds (TPC), flavonoids (TFC), anthocyanins (TAC) and antioxidant activity (DPPH, ABTS and FRAP) before and after in vitro digestibility. The fruits were harvested in the municipality of São José dos Pinhais (Paraná), separated in ripe (M) and semi-ripe (S) and fractionated in seed (S), pulp and peel (P). The macronutrients (protein, lipid, carbohydrate), fiber, reducing sugars, minerals, color and toxicity against *Artemia salina* were evaluated in the freeze-dried fractions. The quantification of phenolic compounds and flavonoids was performed by HPLC. The bioaccessibility of bioactives (TPC, TFC and TAC) and antioxidant activity (DPPH, ABTS, FRAP) were measured after in vitro digestibility. Higher contents of reducing sugars, insoluble fibers, L\*, TFC, myricetin, quercetin, cinnamic acid and antioxidant activity were verified in the S fraction. The mature P fraction (PM) was higher in reducing sugars, soluble fibers, carbohydrates and TAC while the semi-ripe (PS) in insoluble fibers and TPC. The content of the minerals Ca, K, Mn, Ba and S was higher in the PS and Se was presented in both fractions. The *Artemia salina* assay showed no toxicity. The bioactive compounds and antioxidant activity of grumixama decreased after in vitro digestion, with bioaccessibility of TPC in the P fraction greater than 50% in the gastric phase and 20% in the intestinal phase. The results suggest that the freeze-dried fractions of grumixama present relevant nutritional properties for use in the food and pharmaceutical industries. Thus, the fruit and its by-products can promote food and nutritional sovereignty and security for regional populations and contribute to family farming.

Keywords: Nutrition; fruits; seeds; lyophilization.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1	– MAPA MUNDIAL DE OCORRÊNCIA DA FAMÍLIA <i>Myrtaceae</i> .....	17
FIGURA 2	– <i>Eugenia brasiliensis</i> Lam., MUNICÍPIO DE SÃO JOSÉ DOS PINHAIS, PR. ....	18
FIGURA 3	– FLORAÇÃO E FRUTIFICAÇÃO DO FRUTO GRUMIXAMA, SÃO JOSÉ DOS PINHAIS, PR. ....	19
FIGURA 4	– ESTRUTURA QUÍMICA DOS FLAVONOIDES.....	24
FIGURA 5	– COMPOSTOS BIOATIVOS IDENTIFICADOS NAS FRAÇÕES SEMENTE E POLPA/CASCA DA <i>Eugenia brasiliensis</i> Lam. ....	26
FIGURA 6	– LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DA <i>Eugenia brasiliensis</i> Lam. UTILIZADA PARA O ESTUDO E SUA EXSICATA. ....	34
FIGURA 7	– DIAGRAMA DESCRITIVO DOS MATERIAIS E MÉTODOS.....	36
FIGURA 8	– ESTÁDIOS DE MATURAÇÃO E FRAÇÕES DO FRUTO GRUMIXAMA. ....	37
FIGURA 9	– METODOLOGIA DESCRITIVA DA DIGESTIBILIDADE IN VITRO.....	42
FIGURA 10	– FRAÇÕES LIOFILIZADAS DA GRUMIXAMA ANALISADAS NA COLORIMETRIA. ....	50
FIGURA 11	– ENSAIO DE TOXICIDADE FRENTE <i>Artemia salina</i> Leach. PROPORÇÕES DE MORTE OBSERVADAS E ESTIMATIVA DA PROBABILIDADE DE MORTE DE ACORDO COM A DOSE DO EXTRATO.....	56

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1	– FRUTOS NATIVOS DE COLORAÇÃO ESCURA, TEOR DE ANTOCIANINAS E COMPOSTOS FENÓLICOS TOTAIS.....	28
TABELA 2	– PARÂMETROS INSTRUMENTAIS ICP OES .....	39
TABELA 3	– PARÂMETROS DE VALIDAÇÃO PARA O MÉTODO HPLC .....	43
TABELA 4	– CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DAS FRAÇÕES DA GRUMIXAMA EM DIFERENTES ESTÁDIOS DE MATURAÇÃO (EM 100G).....	47
TABELA 5	– PARÂMETROS RESULTANTES DA ANÁLISE DE COLORIMETRIA .....	50
TABELA 6	– CONTEÚDO DE MINERAIS NAS FRAÇÕES DO FRUTO GRUMIXAMA .....	51
TABELA 7	– CONCENTRAÇÃO DE MINERAIS NA PORÇÃO DE 1 COLHER DE SOPA* DAS FRAÇÕES LIOFILIZADAS DA GRUMIXAMA MADURA.....	52
TABELA 8	– COMPOSTOS BIOATIVOS DAS FRAÇÕES DA GRUMIXAMA EM DIFERENTES ESTÁDIOS DE MATURAÇÃO .....	56
TABELA 9	– ÁCIDOS FENÓLICOS CARACTERIZADOS NAS FRAÇÕES DA GRUMIXAMA EM DIFERENTES ESTÁDIOS DE MATURAÇÃO.....	59
TABELA 10	– ATIVIDADE ANTIOXIDANTE DAS FRAÇÕES DA GRUMIXAMA EM MMOL/100G* .....	60

## LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 – COMPOSTOS BIOATIVOS DAS FRAÇÕES DA GRUMIXAMA EM DIFERENTES ESTÁDIOS DE MATURAÇÃO, APÓS ENSAIO DE DIGESTIBILIDADE <i>IN VITRO</i> .....	63
GRÁFICO 2 – CONTEÚDO TOTAL DE ANTOCIANINAS (TAC) NA FRAÇÃO POLPA E CASCA DA GRUMIXAMA EM DIFERENTES ESTÁDIOS DE MATURAÇÃO APÓS DIGESTIBILIDADE <i>IN VITRO</i> .....	65
GRÁFICO 3 – ATIVIDADE ANTIOXIDANTE APÓS DIGESTIBILIDADE <i>IN VITRO</i> DAS FRAÇÕES DA GRUMIXAMA EM DIFERENTES ESTÁDIOS DE MATURAÇÃO.....	66

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	11
1.2	OBJETIVOS .....	12
1.2.1	Objetivo geral .....	12
1.2.2	Objetivos específicos .....	12
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	14
2.1	FRUTOS NATIVOS NO CONTEXTO DO SISTEMA AGROALIMENTAR ATUAL .....	14
2.2	CLASSIFICAÇÃO CIENTÍFICA E LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DA <i>EUGENIA BRASILIENSIS</i> LAM. ....	15
2.3	FRUTO GRUMIXAMA .....	18
2.3.1	Características físico-químicas e composição centesimal .....	21
2.3.2	Conteúdo de Vitaminas e Minerais .....	22
2.3.3	Compostos Bioativos .....	23
2.3.3.1	<i>Compostos Fenólicos e Flavonoides</i> .....	23
2.3.3.2	<i>Antocianinas</i> .....	23
2.3.4	Atividade antioxidante .....	29
2.3.5	Bioacessibilidade dos compostos bioativos e atividade antioxidante após digestão simulada .....	31
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	34
3.1	COLHEITA DO FRUTO .....	34
3.2	ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICA DAS FRAÇÕES FRESCAS .....	36
3.3	DETERMINAÇÃO DOS MACRONUTRIENTES .....	37
3.4	COLORIMETRIA .....	38
3.5	QUANTIFICAÇÃO DE MINERAIS .....	38
3.6	TOXICIDADE FRENTE <i>ARTEMIA SALINA</i> LEACH .....	39
3.7	DIGESTIBILIDADE <i>IN VITRO</i> .....	40
3.8	CÁLCULO DA BIOACESSIBILIDADE .....	41
3.9	ELABORAÇÃO DOS EXTRATOS .....	42
3.10	QUANTIFICAÇÃO DOS COMPOSTOS FENÓLICOS TOTAIS, FLAVONOIDES E ANTOCIANINAS .....	42
3.11	CARACTERIZAÇÃO DE COMPOSTOS INDIVIDUAIS (HPLC) .....	43
3.12	DETERMINAÇÃO DA ATIVIDADE ANTIOXIDANTE .....	44

3.13	ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	45
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>46</b>
4.1	CARACTERÍSTICA FÍSICA DO FRUTO MADURO .....	46
4.2	CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DAS FRAÇÕES MADURA E SEMIMADURA .....	46
4.3	DETERMINAÇÃO DO CONTEÚDO DE MINERAIS.....	50
4.4	TOXICIDADE FRENTE <i>ARTEMIA SALINA</i> LEACH .....	53
4.5	COMPOSTOS FENÓLICOS, FLAVONOIDES E ANTOCIANINAS TOTAIS.....	55
4.6	CARACTERIZAÇÃO DOS COMPOSTOS FENÓLICOS INDIVIDUAIS (HPLC).....	57
4.7	ATIVIDADE ANTIOXIDANTE DAS FRAÇÕES DA GRUMIXAMA.....	60
4.8	COMPOSTOS BIOATIVOS APÓS DIGESTIBILIDADE <i>IN VITRO</i> .....	62
4.9	ATIVIDADE ANTIOXIDANTE APÓS DIGESTIBILIDADE <i>IN VITRO</i> .....	65
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>68</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>69</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A grumixama (grumixaba, cumbixaba ou ibaporoiti) é um fruto nativo brasileiro descrito primeiramente por Lamarck e Poiret (1789) ainda no século XVIII. A *Eugenia brasiliensis* Lam. (ou *Eugenia brasiliensis* Lamarck) é conhecida como grumixama preta. Apresenta formato globoso, coloração negro-violácea, casca lisa e brilhante e polpa succulenta com sabor doce e agradável. Outras variedades da espécie são a grumixama-vermelha (*Eugenia brasiliensis* var. *erythrocarpa* Cambess) e grumixama-amarela ou branca (*Eugenia brasiliensis* var. Cambess) (INTERNATIONAL PLANT NAMES INDEX; LORENZI *et al.*, 2015).

O fruto pertence ao gênero *Eugenia* e à família Myrtaceae, a qual engloba cerca de sete mil espécies distribuídas no mundo todo. No Brasil, são 1.253 espécies encontradas nos diferentes biomas, sendo algumas produtoras de frutos comestíveis conhecidos como cerejas nativas brasileiras (“*brazilian wild berries*”). São frutos que contém compostos bioativos, os quais apresentam atividades antioxidante e anti-inflamatória. Como exemplo as antocianinas presentes na grumixama e em outros frutos de coloração vermelha (REYNERTSON *et al.*, 2008; NASCIMENTO *et al.*, 2017; TEIXEIRA *et al.*, 2017; ARAÚJO *et al.*, 2019; INFANTE *et al.*, 2016).

Variações no conteúdo destes compostos são observadas durante o amadurecimento, fato decorrente de mudanças físico-químicas inerentes ao processo de maturação. Fatores ambientais relacionados ao local de cultivo também influenciam o conteúdo de compostos fenólicos e a atividade antioxidante (NEHRING *et al.*, 2022). Em frutos nativos a maturação ocorre de forma desuniforme, sendo comum a ocorrência de frutos maduros, semimaduros e imaturos no mesmo galho. O entendimento da composição físico-química de estádios precedentes ao maduro é importante para aprimorar a cadeia produtiva destes frutos (BARROS *et al.*, 2020).

Considerando a elevada produção de resíduos oriundos do processamento de hortifruti, pesquisadores têm estudado as sementes e cascas de frutos da família Myrtaceae. Os resultados indicam que essas frações residuais apresentam conteúdo de compostos fenólicos totais considerável, com importante atividade antioxidante e anti-inflamatória (CARMO *et al.*, 2021; RODRIGUES *et al.*, 2021; GIRARDELO *et al.*, 2020, ARAÚJO *et al.*, 2021a; INFANTE *et al.*, 2016). Na semente fresca da grumixama os compostos já identificados foram a catequina, ácido elágico e miricetina (TEIXEIRA *et al.*, 2015).

No entanto, para que compostos bioativos exerçam a atividade biológica no organismo, é necessário que sejam absorvidos no lúmen intestinal após o processo fisiológico de digestão. Modelos experimentais que mimetizam a digestão humana vêm permitindo o estudo do comportamento de componentes alimentares frente à diferentes etapas do processo de digestão (MINEKUS *et al.*, 2014; THAKUR *et al.*, 2020). A digestibilidade *in vitro* é um método experimental aplicado em alimentos que permite o cálculo da bioacessibilidade destes compostos (QUATRIN *et al.*, 2020; ARAÚJO *et al.*, 2021a; STAFUSSA *et al.*, 2021; FARIAS *et al.*, 2021).

Até a presente data não existem estudos acerca da bioacessibilidade dos compostos fenólicos da grumixama. Além disso, são escassos os dados que elucidem a composição química das sementes do fruto. Diante do pressuposto, o presente estudo teve como objetivo caracterizar as frações semente e polpa/casca liofilizadas da grumixama e investigar o comportamento dos compostos bioativos frente à digestibilidade *in vitro*.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo geral

Caracterizar as propriedades físico-químicas das frações semente, polpa e casca de grumixama em dois estádios de maturação e determinar a composição fenólica e a atividade antioxidante das frações antes e após digestibilidade *in vitro*.

### 1.2.2 Objetivos específicos

- Determinar as propriedades físico-químicas das frações do fruto grumixama nos dois estádios de maturação (maduro e semimaduro);
- Quantificar o conteúdo de minerais das frações nos estádios de maturação;
- Analisar a toxicidade das frações frente *Artemia salina* Leach;
- Estimar o conteúdo de compostos fenólicos totais (TPC), flavonoides totais (TFC) e antocianinas totais (TAC) das frações nos estádios de maturação;
- Quantificar os compostos fenólicos individuais presentes nas frações dos estádios de maturação;

- Investigar a atividade antioxidante *in vitro* (FRAP, DPPH e ABTS) das frações;
- Avaliar a bioacessibilidade dos compostos fenólicos, flavonoides e antocianina das frações por meio da digestibilidade *in vitro*;
- Verificar o impacto da digestibilidade *in vitro* na atividade antioxidante das frações do fruto grumixama.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 FRUTOS NATIVOS NO CONTEXTO DO SISTEMA AGROALIMENTAR ATUAL

O sistema agroalimentar que tece o regime alimentar contemporâneo foi moldado a partir da história política e econômica pela qual o mundo perpassou. Seu marco histórico foi a revolução verde, onde uma nova política agrícola foi instituída sob o argumento de enfrentamento da pobreza mundial (FRIEDMANN; MCMICHAEL, 1989). Sementes, fertilizantes químicos, aparatos tecnológicos, insumos e inseticidas passaram a fazer parte de um pacote vendido para agricultores, o qual alargou a produção de *commodities* no Hemisfério Sul (AZEVEDO; RIGON, 2012; VASCONCELOS, 2005).

A decorrente uniformização de sementes levou à redução da biodiversidade ambiental e instituiu um modelo hegemônico de produção de alimentos, com diminuição da diversidade alimentar e expropriação da cultura alimentar de povos tradicionais (BARROS; ARAÚJO, 2016; BEZERRA; DE PAULA, 2021). Na lógica contra hegemônica tem-se a agroecologia, construída a partir da junção entre as ciências da agronomia e da ecologia, a qual considera interações da natureza e preservação do ecossistema, com cultivos mais sustentáveis e diversos (SOUZA FILHO *et al.*, 2021). A agricultura familiar também se baseia em um modelo sustentável de produção agrícola, onde existe a incorporação de valores culturais e de práticas ambientais e tradicionais (NEPOMOCENO; EXIME; AHLERT, 2022). Prática agrícola sustentável no que se refere às diferentes esferas (cultura, ambiental, econômica e social), contribuindo para a segurança alimentar e nutricional de populações regionais e tradicionais (BRASIL, 2016).

A produção agroecológica ou familiar de alimentos contribui para a garantia do direito humano à alimentação adequada, o qual é definido como sendo: (AÇÃO BRASILEIRA PELA NUTRIÇÃO E DIREITOS HUMANOS, 2013, p. 15)

O direito à alimentação adequada é um direito humano inerente a todas as pessoas de ter acesso regular, permanente e irrestrito, quer diretamente ou por meio de aquisições financeiras, a alimentos seguros e saudáveis, em quantidade e qualidade adequadas e suficientes, correspondentes às tradições culturais do seu povo e que garanta uma vida livre do medo, digna e plena nas dimensões física e mental, individual e coletiva.

Também converge com os objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS) preconizados pelas Nações Unidas (PEREZ-CASSARINO, 2012; NAÇÕES UNIDAS, 2022). Para o Brasil, 17 ODS formam a agenda 2030, sendo que a agricultura familiar e agroecológica pode contribuir para ao menos 6: fome zero e agricultura sustentável, saúde e bem-estar, cidades e comunidades sustentáveis, consumo e produção sustentáveis, ação contra a mudança global do clima e vida terrestre (NAÇÕES UNIDAS, 2022).

A preservação ambiental praticada pelas famílias de agricultores faz com espécies vegetais locais e silvestres sejam preservadas e muitas delas valorizadas como bens de consumo, a incluir frutíferas nativas e seus frutos (PEREZ-CASSARINO, 2012). Fruto nativo não se refere apenas àquele oriundo de espécies de ocorrência natural a um bioma específico, mas também, como colocado por Silva (2018, p. 102), um “símbolo para necessidade de aproximação entre as perspectivas das ciências agrárias, ambientais e sociais com os saberes dos agricultores.” Favorece a soberania alimentar, a qual diz respeito ao abastecimento alimentar saudável, de qualidade e de direito para todos os povos, com respeito ao meio ambiente (XAVIER *et al.*, 2018).

O consumo de frutos nativos pela população é resultado de um conhecimento adquirido dentro do ambiente familiar (SILVA *et al.*, 2018). Complementarmente, a Academia, por meio de estudos técnico-científicos, aprofunda o entendimento das qualidades nutricionais e estuda métodos que otimizem a cadeia produtiva. O compilado de conhecimentos tradicionais e científicos pode contribuir para a disseminação de espécies nativas importantes no resgate da biodiversidade. Além disso, a valorização de frutos nativos reforça a produção agroecológica e familiar de alimentos como alternativa contra hegemônica ao sistema agroalimentar vigente.

## 2.2 CLASSIFICAÇÃO CIENTÍFICA E LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DA *Eugenia brasiliensis* Lam.

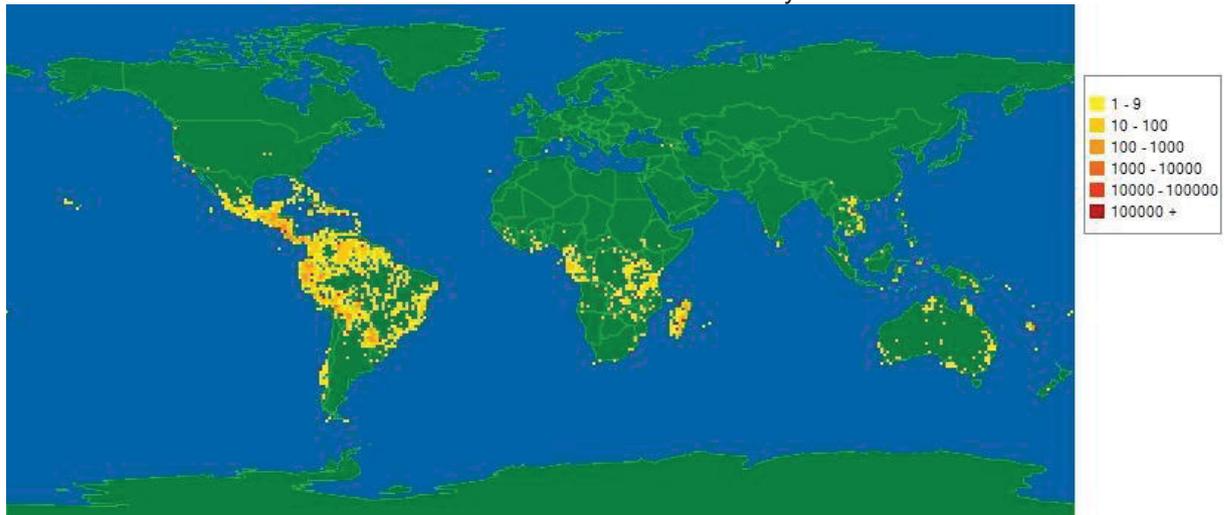
O Bioma Mata Atlântica é um complexo florestal reconhecido como patrimônio nacional, abrigo de 15.700 espécies vegetais. Um ecossistema que se destaca no contexto da biodiversidade mundial pelo banco genético de espécies vegetais e animais e por contribuir para a manutenção climática. No Brasil é lar de mais de 165 milhões de brasileiros que usufruem de seus serviços ecossistêmicos (SOS MATA

ATLÂNTICA, 2021; RESERVA DA BIOSFERA DA MATA ATLÂNTICA, 2020; JOLY; METZGER; TABARELLI, 2014). É o bioma que mais concentra estudos relacionados a restauração ecológica focados tanto em técnicas de monitoramento da fauna e flora, como no reflorestamento (GUERRA *et al.*, 2020). Também é berço de comunidades tradicionais que utilizam recursos faunísticos locais como fonte de renda para suas famílias, para fins medicinais e fonte de nutrientes, com destaque à coleta de frutos que são consumidos localmente (CAZZELA; BONAL; MALUF, 2009; MARTINOT; PEREIRA; SILVA, 2017).

A extensão territorial da Mata Atlântica no Brasil abrange desde o Sul da Bahia até o estado do Rio Grande do Sul, com microclimas distintos que definem espécies predominantes de cada região. Nas regiões Sul e Sudeste do Brasil a Mata Atlântica é dominada pela conífera *Araucária angustifolia*, árvore que fornece condições para o crescimento de outras plantas, perfazendo assim a floresta Ombrófila Mista (também chamada Floresta Araucária). Região que abriga diferentes famílias botânicas como a *Myrtaceae*, *Fabaceae*, *Melastomataceae*, *Lauraceae*, *Asteraceae* e *Rubiaceae* (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2022; DUARTE; CARLUTTI; PILLAR, 2009).

A família *Myrtaceae* compreende um grupo de aproximadamente 140 gêneros e 6.000 espécies, espalhadas tanto nas Américas tropicais e temperadas como na Austrália e Sul da Ásia (FIGURA 1). No Brasil, as Mirtáceas apresentam como domínio fitogeográfico os diferentes biomas do país (Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica, Pampa, Pantanal), perfazendo 29 gêneros e 1.192 espécies de ocorrência nacional (FLORA DO BRASIL, 2022a; WILSON *et al.*, 2001).

FIGURA 1 – MAPA MUNDIAL DE OCORRÊNCIA DA FAMÍLIA Myrtaceae



FONTE: Trópicos (2022). Disponível em: <https://www.tropicos.org/name/42000198>

Dentro da taxonomia botânica da família *Myrtaceae*, aproximadamente um terço pertence ao gênero *Eugenia*, sendo estimado que 350 plantas deste gênero são nativas do Brasil. Espécies pertencentes ao gênero *Eugenia* apresentam uma grande variedade de fitoquímicos presentes em diferentes partes da planta, a citar os triterpenos, flavonoides e taninos em partes aéreas (SOUZA *et al.*, 2018; BRACK *et al.*, 2020).

A *Eugenia brasiliensis* Lam. é uma espécie natural o bioma da Mata Atlântica, árvore de copa piramidal densa que mede entre 8-15m de altura e produz frutos caracterizados como pequenas cerejas (*berries*) (FIGURA 2) (LORENZI *et al.*, 2015; NEHRING *et al.*, 2022). A mesma espécie engloba outras duas subespécies ou variedades que apresentam frutos com diferenças morfológicas. A *Eugenia brasiliensis* var. *erythrocarpa* Cambess produz frutos de coloração vermelha e a *Eugenia brasiliensis* leucocarpa Cambess é conhecida como grumixama-amarela ou grumixama-branca (FLORA DO BRASIL, 2022b; LORENZI *et al.*, 2015). As espécies apresentam características distintas na coloração dos frutos e nos constituintes bioquímicos dos óleos essenciais extraídos dos frutos e folhas (MORENO *et al.*, 2007).

A propagação da grumixameira é comumente feita por sementes e a frutificação inicia a partir do quinto ano de plantio. Por ser uma espécie nativa utilizada para fins de reflorestamento, estudos investigam técnicas para otimizar a atividade germinativa de sementes por meio de tratamentos pré-plantio e substratos específicos (CÉCEL; BARBEDO, 2021; SUGUINO *et al.*, 2011).

FIGURA 2 – *Eugenia brasiliensis* Lam., MUNICÍPIO DE SÃO JOSÉ DOS PINHAIS, PR



FONTE: A autora (2020).

### 2.3 FRUTO GRUMIXAMA

Registros históricos, realizados por viajantes europeus e naturalistas que passaram pelo Brasil no século XIX, confirmam a longínqua tradição no uso de espécies vegetais nativas como alimento, das quais muitas ainda não foram estudadas com detalhes (OLIVEIRA *et al.*, 2012).

Corroborando com esse dado, a descrição botânica da *Eugenia brasiliensis* realizada por Saint-Hilaire e colaboradores em 1829, traz a citação: “Essa espécie é originária da floresta virgem, mas existe cultivado na região do Rio de Janeiro, onde os frutos são chamados de Grumichama e são expostos nas feiras desta cidade”. (SAINT-HILAIRE *et al.*, 1829, p. 355). Nome que teve origem do vocabulário Tupi-Guarani, sendo derivado do “*guamichã*” que significa “o que pega na língua”, fazendo referência ao sabor peculiar do fruto (CORREIA; PROCHNOW, 2013).

Tais frutos são chamados popularmente de grumixama-preta, grumixama, grumixaba, cumbixaba, ibaporoiti e são considerados cerejas brasileiras (*brazilian*

*berries*). Possui sabor agradável, doce e adstringente sendo apreciada para consumo *in natura* ou em sucos e geleias (LORENZI *et al.*, 2015; NASCIMENTO *et al.*, 2017; TEIXEIRA *et al.*, 2015).

A frutificação da grumixama ocorre de outubro a dezembro, em torno de 28 dias após a floração, dependendo do índice pluviométrico e clima regional (KOHOMA *et al.*, 2006). No estágio de maturação completo, o fruto apresenta o pericarpo de coloração escura, em tom de negro-violáceo, similar ao fruto Jaboticaba (*Myrciara cauliflora* (Mart.) O. Berg). (LORENZI *et al.*, 2015).

FIGURA 3 – FLORAÇÃO E FRUTIFICAÇÃO DO FRUTO GRUMIXAMA, SÃO JOSÉ DOS PINHAIS, PR



FONTE: A autora (2020).

O amadurecimento ocorre de maneira não uniforme, sendo comum a presença de frutos semimaduros e até verdes no mesmo galho (BARROS *et al.*, 2020). A grumixama se assemelha ao fruto jaboticaba no quesito perecibilidade. Quando colhido maduro o fruto apresenta uma vida de prateleira curta com durabilidade estimada de 3 dias para consumo *in natura* (INADA *et al.*, 2021). Desta forma, tanto a colheita de frutos em estádios intermediários de maturação quanto o processamento

no pós-colheita, poderiam estender a vida útil do fruto após a colheita (FREITAS, 2017).

A elaboração de doces ou compotas é uma forma de viabilizar a comercialização da grumixama em períodos fora da safra. O aquecimento e meio ácido resulta na hidrólise da sacarose da polpa em glicose e frutose, conferindo brilho e evitando a cristalização. Resultado que juntamente com a coloração arroxeadada do fruto, contribui para as qualidades sensoriais e aceitação do produto (AGUIAR; SABAA-SRUR; SMITH, 2016).

Outro método de conservação aplicada em frutos é a liofilização, também conhecida como criosecagem (*freeze-drying*). A liofilização caracteriza-se pela remoção da água presente nos alimentos por meio de sublimação, ou seja, conversão da água em estado sólido para o estado gasoso. O alimento deve ser previamente congelado e ser mantido em câmaras com pressão controlada, baixa temperatura e ausência de oxigênio (vácuo), durante um tempo que varia de acordo com a matriz alimentar. Condições que permitem maior conservação das propriedades químicas e sensoriais do alimento (CARELLE; CÂNDIDO, 2015).

A farinha do fruto açaí obtida por meio da liofilização manteve as características nutricionais e coloração do fruto fresco, com incremento importante em sua vida útil. Um produto que amplia as formas de consumo e possibilita que pessoas de outras regiões do Brasil também tenham acesso ao fruto (MENEZES; TORRES SRUR, 2008). No entanto, dada às condições tecnológicas inerentes ao método, a liofilização exige um equipamento especializado e apresenta um gasto energético elevado, o que implica em um alto custo de utilização. Desta forma, é uma técnica que deve ser aplicada para o desenvolvimento de produtos alimentícios com funcionalidades específicas, como corantes naturais oriundos de compostos antocianídicos e farinhas fontes de vitaminas (ARAÚJO *et al.*, 2017; RÓŻYŁO, 2020).

Dados acerca do rendimento da grumixama são importantes para o estudo de métodos que viabilizem sua comercialização tanto para consumo *in natura* como para processamento agroindustrial. Estudos indicam que a polpa e a casca quando juntas correspondem a 65% da massa total, valor superior ao 59,10% de polpa de pitangado-cerrado (*Eugenia calycina*), mas inferior aos frutos cereja-do-rio-grande (*Eugenia involucrata*) (84,30%) e uvaia (*Eugenia pyriformis*) (80%) (ZOLA *et al.*, 2019; ANTONIA, 2020; FREITAS, 2017; BORGES *et al.*, 2010).

Para a jabuticaba, fruto com características similares à grumixama, tanto a semente como a casca correspondem a aproximadamente um terço do fruto (31,9% e 30,79% respectivamente). Já a polpa, fração consumida a partir do fruto *in natura*, o rendimento equivale a 36,46% da massa total do fruto. Esse resultado levanta a importância da pesagem das sementes de frutos, tanto para o cálculo do rendimento como também, para estimativa dos resíduos produzidos a partir do processamento industrial (BROCHADO *et al.*, 2018; SEMENSATO *et al.*, 2020).

### 2.3.1 Características físico-químicas e composição centesimal

O teor de umidade da polpa de grumixama pode variar de 83,70% a 95,29% (ZOLA *et al.*, 2014; AGUIAR; SABAA-SRUR; SMITH, 2016; SILVA *et al.*, 2014). Ao analisar as frações do fruto separadamente, estudos indicam que o teor de umidade da polpa varia de 83,90% a 90,70% e da casca de 77,40% a 88,40%. Já na semente o teor de umidade descrito é de 49,90% (ARÉVALO *et al.*, 2014; NASCIMENTO *et al.*, 2017).

Em relação à acidez, o fruto de grumixama é ácido com pH em torno de 4,34 (ZOLA *et al.*, 2014). A cereja-do-rio-grande apresenta maior acidez, com pH em torno de 3,41 (ANTONIA, 2020). De forma geral, frutos apresentam o pH abaixo de 4,40, característica que do ponto de vista microbiológico pode favorecer o crescimento de fungos e bolores (KALIA; GUPTA, 2006).

Açúcares em frutos correspondem pela maior parte dos sólidos solúveis totais (SST), sendo representados majoritariamente pela frutose, glicose e sacarose (CORDEIRO *et al.*, 2015). Quanto maior a doçura do fruto maior o SST e, por conseguinte, maior o °Brix, aferido pelo refratômetro. Apesar de mais atrativos no sabor, frutos com elevado °Brix no momento da colheita são mais susceptíveis a ataques de insetos (ASSIS *et al.*, 2011).

Conforme estudo de Aguiar, Sabaa-Srur e Smith (2016), a polpa da grumixama madura apresentou 5° Brix e possibilitou a elaboração de geleia com 65° a 70°Brix. Apesar do SST ser inferior a frutos como Jabuticaba (13°Brix), a geleia de grumixama apresentou aceitação superior a 80%. Com relação aos açúcares redutores quantificados pelo método cromatográfico, maior concentração de glicose foi verificada no fruto totalmente maduro. Além disso, o fruto maduro pode conter 7,40%

de açúcares totais e 3,08% a 4,08% de carboidratos (ZOLA *et al.*, 2014; AGUIAR; SABAA-SRUR; SMITH, 2016).

A polpa da grumixama pode conter de 0,27g a 0,66g de proteína e 0,01g a 0,26g de lipídeos por 100g de fruto fresco (ZOLA *et al.*, 2014; AGUIAR; SABAA-SRUR; SMITH, 2016). Comparando o conteúdo de proteína por 100g com outras frutas da família Myrtaceae, a grumixama encontra-se abaixo da pitanga (0,93g), da goiaba (1,09g) e da jabuticaba (0,61g) (NÚCLEO DE ESTUDOS E PESQUISAS EM ALIMENTAÇÃO, 2011).

A localidade de cultivo da grumixama pode influenciar na composição físico-química do fruto, resultado consequente das condições climáticas locais. Como exemplo, frutos colhidos em regiões com menor índice pluviométrico podem apresentar maior conteúdo de açúcares e menor umidade (XU *et al.*, 2020). Diferenças físico-químicas também são evidenciadas em frutos colhidos em diferentes estádios de maturação (NEHRING *et al.*, 2022).

### 2.3.2 Conteúdo de Vitaminas e Minerais

Por meio de diferentes metodologias estudos quantificaram os teores de minerais na polpa e casca da grumixama, identificando como mais expressivos o cálcio (3,23mg/g), seguido do ferro (1,54mg/g), potássio (0,84mg/g) (ZOLA *et al.*, 2014) e na casca o fósforo (4,70mg/g) (ARÉVALO *et al.*, 2014). Aguiar e colaboradores (2016) utilizaram o método espectrofotometria de massa com fonte de plasma (ICP-MS) para analisar a polpa fresca da grumixama. O resultado mais relevante foi para o potássio (1,60mg/g), seguido do cálcio (0,19mg/g), magnésio (0,66 mg/g) e cromo (0,42mg/100g).

Observa-se variações no teor de minerais em frutos de diferentes estádios de maturação, os quais são mais predominantes nos estágios iniciais de amadurecimento (NEHRING, 2016). A adaptabilidade ao ambiente no qual a planta é cultivada também pode contribuir para o teor de minerais totais (ARÉVALO *et al.*, 2014). Nesse contexto, a variação no índice pluvial que ocorre em diferentes regiões pode interferir na disponibilidade de nutrientes para a planta e, por conseguinte, nos minerais contidos nos frutos (RIBEIRO *et al.*, 2016). Um exemplo é o maior conteúdo de magnésio encontrado em grumixamas colhidas no Cerrado (Goiás), quando comparado com frutas colhidas no Rio de Janeiro (XU *et al.*, 2020).

A polpa e casca do fruto grumixama também são fontes de carotenoides. Os compostos violaxantina, luteína, zeaxantina,  $\beta$ -criptoxantina, 13-cis  $\beta$ -caroteno,  $\alpha$ -caroteno,  $\beta$ -caroteno e -cis  $\beta$ -caroteno já foram identificados. O destaque é a  $\beta$ -criptoxantina, correspondente a 71% dos carotenoides que compõem a casca e 66% a polpa. Traduzindo em microgramas, são 32.90 $\mu$ g/g de carotenoides totais e 22.27 $\mu$ g/g de  $\beta$ -criptoxantina na polpa e casca fresca, ambos expressos em equivalente de retinol (NASCIMENTO *et al.*, 2017).

Com relação à vitamina C, de acordo com Nascimento *et al.* (2017), a polpa e casca contém  $10.55 \pm 1.35$  mg/100g peso fresco. Diferenças foram observadas entre as frações casca e polpa (122,2mg/100g e 78,80mg/100g fruto fresco respectivamente) (ARÉVALO *et al.*, 2014). Considerando que a recomendação de ingestão de vitamina C é em torno de 75mg para mulheres (INSTITUTE OF MEDICINE, 2004), 100g da polpa de grumixama supriria as necessidades diárias. Entretanto, quando comparada com a acerola (941,40/100g fruto fresco) (NÚCLEO DE ESTUDOS E PESQUISAS EM ALIMENTAÇÃO, 2011), a grumixama apresenta menor conteúdo desta vitamina.

### 2.3.3 Compostos Bioativos

Compostos ou substâncias bioativas são componentes químicos presentes nos alimentos em quantidades variáveis, que exercem efeitos biológicos quando consumidos (DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2019). Tais componentes são oriundos do metabolismo secundário das plantas, de onde provém substâncias protetivas contra injúrias e estresses ambientais. Dentre esses, cita-se a defesa antioxidante contra radiações ultravioletas (FINTELMANN; WEISS, 2010; LIN *et al.*, 2016).

De acordo com a Anvisa (BRASIL, 2016), a alegação de funcionalidade como propriedade antioxidante pode ser atribuída à presença dos compostos licopeno, luteína e zeaxantina. Entretanto, fitoquímicos de outras classes têm sido isolados de alimentos e suas propriedades estudadas, dentre eles estão os carotenoides e compostos polifenólicos (DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2019).

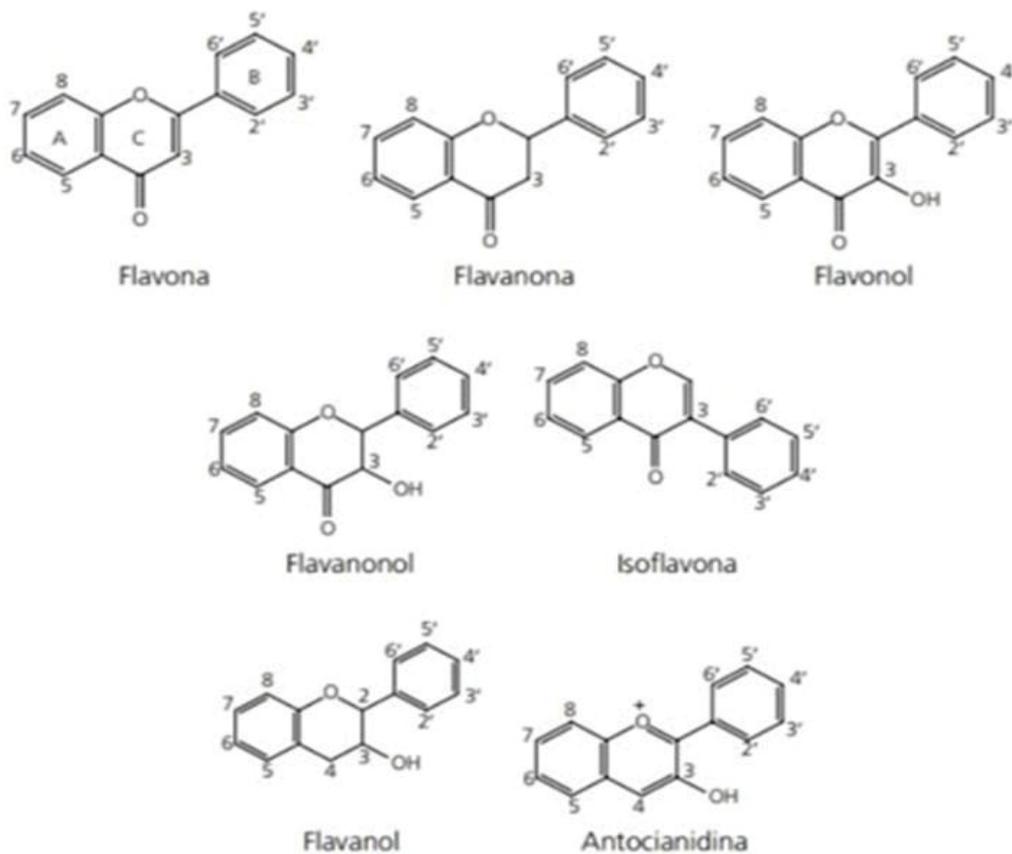
Os frutos nativos brasileiros apresentam composição química complexa e por isso são fontes de componentes fitoquímicos variados, incluindo antioxidantes

naturais como tocoferóis, vitamina C, carotenoides e compostos fenólicos. (CARVALHO; CONTE-JUNIOR, 2021; SUCUPIRA *et al.*, 2012).

### 2.3.3.1 Compostos Fenólicos e Flavonoides

Os compostos fenólicos são quimicamente definidos como substâncias que apresentam um anel aromático ligado a duas ou mais hidroxilas, além do seu grupo funcional. Fazem parte desta classe a ampla gama de flavonoides naturalmente encontrados nas plantas (mais de 4.000 compostos identificados). A FIGURA 4 abaixo ilustra a estrutura química dos flavonoides (DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2019).

FIGURA 4 – ESTRUTURA QUÍMICA DOS FLAVONOIDES



FONTE: DAMODARAM; PARKIN; FENNEMA (2019).

A relação dos flavonoides com outros componentes integrantes da planta contribui para sua variabilidade estrutural, no grau de polimerização e na disponibilidade e funcionalidade (ANGELO; JORGE, 2007).

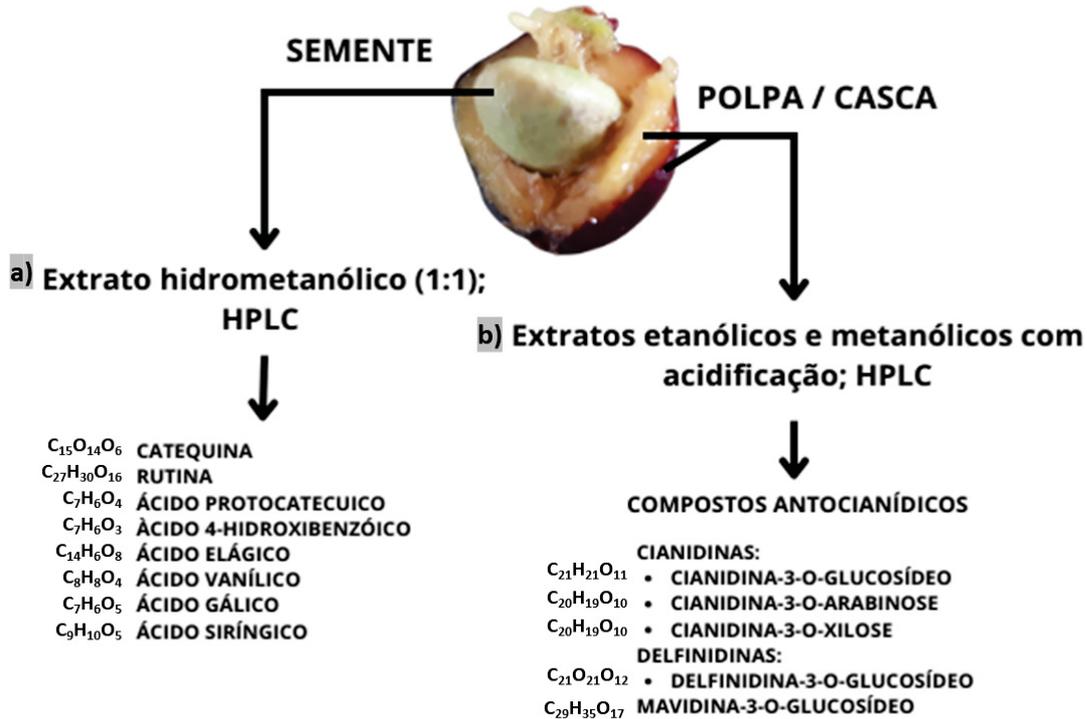
A quantificação dos compostos fenólicos em amostras de alimentos é realizada por meio da extração com solvente. A extração alcoólica ou hidroalcoólica com etanol e metanol tem sido comumente empregadas (FREIRE *et al.*, 2013). Para otimizar a capacidade extratora, misturas de solventes ou mesmo a acidificação do meio extrator vêm sendo utilizados para aumentar a quantificação de compostos fenólicos de frutos arroxeados, como a amora-preta (*Rubus* sp.) (VIZZOTTO; PEREIRA, 2011).

Os flavonoides já detectados em frutos frescos de *E. Brasiliensis* foram: o ácido elágico (0,26mg/g), miricetina (0,06mg/g), quercetina (0,04mg/g), rutina (0,08mg/g) e kaempferol (abaixo de 0,01mg/g). Sendo o perfil dos compostos variável de acordo com o estágio de maturação dos frutos (REYNERTSON *et al.*, 2008; NEHRING, 2022). Avaliando o extrato de diferentes partes de plantas da família Myrtaceae, Infante *et al.* (2016) identificaram a presença de ácido elágico em maior quantidade na semente dos frutos *E. brasiliensis* e epicatequinas, tanto na polpa como na semente (FIGURA 5).

Estudos apontam a semente da grumixama como uma fração fonte de compostos bioativos (FIGURA 5). A semente apresentou maior teor de compostos fenólicos totais (TPC) e atividade antioxidante quando comparada com a polpa, sendo fonte de flavonoides das classes flavanol e flavonol. Desses, o ácido elágico (elagitanina) foi o composto mais predominante, correspondendo a 38% do TPC estimado na semente (TEIXEIRA *et al.*, 2015). Corroborando com esse achado, os fenólicos totais quantificados na grumixama foi de 1,5 vezes mais na semente que na polpa e a epicatequina e ácido gálico corresponderam a aproximadamente 70% dos fenólicos totais (INFANTE *et al.*, 2016).

Estes achados motivaram o desenvolvimento de novas pesquisas acerca da utilização e segurança no uso de extrato das sementes. Sardi *et al.* (2017) observaram uma forte atividade antifúngica do extrato etanólico (4:1 EtOH:H<sub>2</sub>O) da semente de grumixama contra *Candida albicans* e relacionaram com o teor de epicatequina e ácido gálico presentes nesta fração. Complementarmente, os ensaios de citotoxicidade *in vitro* e *in vivo* (*G. mellonema* e macrófagos) demonstraram baixo nível de toxicidade.

FIGURA 5 – COMPOSTOS BIOATIVOS IDENTIFICADOS NAS FRAÇÕES SEMENTE E POLPA/CASCA DA *Eugenia brasiliensis* Lam.



FONTE: a) TEIXEIRA *et al.* (2015); b) FLORES *et al.* (2012); b) NASCIMENTO *et al.* (2017).

### 2.3.3.2 Antocianinas

As antocianinas perfazem uma classe de flavonoides largamente distribuída na natureza. Nas plantas, principalmente flores e frutos, as antocianinas são responsáveis pela pigmentação variável entre o vermelho, laranja, roxo, magenta e violeta. São pigmentos resultantes da grande diversidade estrutural deste composto, comumente encontradas na forma glicosilada, ou seja, conjugadas com açúcares, e assim armazenadas nos vacúolos celulares das partes vegetais (DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2019). A ligação com açúcares confere maior solubilidade e estabilidade a esses compostos (PASCUAL-TERESA; MORENO; GARCIA-VIGUEIRA, 2010).

Framboesa, mirtilo, uva, além de algumas hortaliças (repolho roxo, berinjela) são as principais fontes de antocianinas (WU *et al.*, 2006). Outros exemplos são o *E. aggregata*, *M. cauliflora*, *M. vexator*, *S. curranii*, *S. malaccense*, e *S. samarangense var. Taiwan pink*, que se destacam no teor dos compostos cianidina 3-glicosídeo e delphinidina-3-glicosídeo (REYNERTSON *et al.*, 2008). O pigmento destes frutos é uma característica importante para a definição do ponto de colheita e decorre da redução

da clorofila, bem como da ação de enzimas que atuam na síntese e glicosilação da antocianina (ROSA *et al.*, 2019; PATEL; RAO, 2014). Ao avaliar o conteúdo de antocianinas em alimentos comumente consumidos nos EUA, Wu *et al.* (2006) verificaram que o teor de antocianinas diminuiu significativamente em alimentos à base de frutos vermelhos que sofreram algum tipo de processamento, como é o caso de papinhas infantis (WU *et al.*, 2006).

Tal achado deve-se à instabilidade da antocianina a componentes intrínsecos da matriz alimentar e a fatores ambientais. A capacidade de pigmentação oscila conforme o pH, sendo mais intensa em pH ácido (<3,0) com redução conforme ocorre o aumento da alcalinidade. Em pH 4.5, soluções aquosas como sucos apresentam cor próxima à nulidade, devido às formas quinonoidais azuladas que surgem com o aumento do pH. Outros fatores como temperatura, oxidação, luminosidade, presença de açúcares, vitamina C e complexos metálicos também interferem na degradação estrutural das antocianinas (DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2019).

Em diferentes cultivares de amoras e framboesas, o conteúdo total de antocianina (TAC) expressa em cianidina-glicosídeo por grama de peso fresco variou de 1,2mg a 211,3mg, sendo maior para a coloração escura. Identificou-se também a existência de correlação positiva dos ensaios de atividade antioxidante com o TAC e o TPC. Tendo em vista a alta variabilidade nos resultados entre os cultivares, estudos sobre o genoma de cloroplastos podem nortear o melhoramento genético e permitir a seleção de plantas com maior expressão de antocianinas (TOSHIMA; HIRANO; KUNITAKE, *et al.*, 2021).

Frutos fontes de antocianinas (com coloração vermelha a preta) nativos do Brasil têm ganhado atenção. Uma recente revisão realizada por Schulz *et al.* (2020) compilou informações acerca da composição fitoquímica de espécies pouco exploradas e conhecidas no país. A TABELA 1 sumariza o conteúdo de antocianinas e compostos fenólicos dos frutos estudados. Dentre as ações biológicas, destaca-se a atividade anti-inflamatória, antioxidante, quimiopreventiva, de proteção cardiovascular e antimicrobiana (SCHULZ *et al.*, 2020).

Dentre os frutos nativos de coloração violácea inclui-se a Jabuticaba (*Myrciaria cauliflora*). O extrato etanólico acidificado (ácido cítrico, 0.1%) da casca de jabuticaba apresentou um conteúdo de 5mg/g de antocianinas, sendo a cianidina-3-glicosídeo a majoritária. Ademais, já foram identificados 14 compostos fenólicos não antocianídicos e um derivado de quercetina na casca da jabuticaba, o que explica a

elevada atividade antioxidante deste resíduo que poderia ser mais bem explorado pela indústria alimentícia e farmacêutica (ALBUQUERQUE *et al.*, 2020).

As antocianinas são os compostos predominantes no estágio final de amadurecimento de grande parte de frutos com coloração vermelha e violácea, como morangos (FECKA *et al.*, 2021), jabuticaba, guabiju e jambolão (SERAGLIO *et al.*, 2018). A grumixama também compõe o grupo de frutos fontes em compostos antocianídicos. O extrato hidroetanólico elaborado a partir da polpa liofilizada contém mais de 50% de compostos fenólicos pertencentes à classe das antocianinas. O extrato quando testado em células do tipo RAW-264,7 demonstrou efeito anti-inflamatório com baixa toxicidade, além de atividade antibacteriana contra *L. acidophilus* (LAZARINI *et al.*, 2018).

A casca da grumixama é a fração mais rica em antocianinas, podendo ser utilizada industrialmente como aditivo ou corante em produtos alimentícios. Estima-se que esta fração apresenta 4837.2mg de antocianinas monoméricas por 100g peso seco. Destas, foram identificadas a delphinidina-3-O- glicosídeo, cianidina, cianidina-3-O-glicosídeo, petunidina-3- O-glicosídeo, derivado de pelargonidina e peonidina (FIGURA 5, c). A delphinidina-3-O-glicosídeo e a cianidina-3-O-glicosídeo corresponderam a mais de 96% do total, (concentrações de 949,10mg/100g e 3729,50mg/100g respectivamente) (NASCIMENTO *et al.*, 2017).

TABELA 1 – FRUTOS NATIVOS DE COLORAÇÃO ESCURA, TEOR DE ANTOCIANINAS E COMPOSTOS FENÓLICOS TOTAIS

Fruto	Família e nome popular	Antocianinas Monoméricas Totais <sup>a</sup>	TPC <sup>b</sup>
<i>Bactris setosa</i> Martius	<i>Aricaceae</i> . Tucum, tucum-do-cerrado, jacum, tucum-do-brejo, tucum-piranga.	376	23594
<i>Eugenia brasiliensis</i> Lamarck	<i>Myrtaceae</i> . Grumixama, grumixaba, cumbixaba, ibaporiti, Brazilian cherry.	252–1316	837–4930
<i>Eugenia involucrata</i> DC	<i>Myrtaceae</i> . Cereja-do-rio-grande, cereja-do-mato, cereja preta.	660–1609	1836
<i>Euterpe edulis</i> Martius	<i>Aricaceae</i> . Juçara, Içara.	245–531	5672–7500
<i>Myrcianthes pungens</i> (O. Berg) D. Legrand	<i>Myrtaceae</i> . Guabiju, guabiroba-açu, guabiju-açu, guabiju-guaçu, guabira-guaçu, guavira-guaçu	245–531	1739–4613
<i>Myrciaria cauliflora</i> (Mart.) O. Berg	<i>Myrtaceae</i> . Jabuticaba, jabuticaba-paulista, jabuticaba-açu, jabuticaba-híbrida	278–930	1443–3160
<i>Myrciaria jaboticaba</i> (Vell.) O. Berg	<i>Myrtaceae</i> . Jabuticaba, jabuticaba-paulista, jabuticaba-açu, jabuticaba-híbrida Jabuticaba, jabuticaba-sabará, jabuticaba-murta, jabuticaba-rajada	783	6000

<sup>a</sup> mg ácido gálico equivalente / 100g peso seco

<sup>b</sup> mg cianidina-3-glucosídeo equivalente / 100g peso seco

FONTE: Schulz *et al.* (2020).

#### 2.3.4 Atividade antioxidante

O processo natural de transferência de elétron que ocorre continuamente nas células resulta na produção de radicais livres, que, estando em desequilíbrio promovem o dano oxidativo (ALVES *et al.*, 2010). Tal evento está presente no mecanismo fisiopatológico de diferentes doenças crônicas, como as cardiovasculares e a obesidade. Neste sentido, em razão da habilidade antioxidante inerente a fitoquímicos, estudos demonstram que partes edíveis e resíduos de frutos parecem promissores (ARNOSO *et al.*, 2022; CARVALHO; CONTE-JUNIOR, 2021).

Ensaio *in vitro* são amplamente empregados no âmbito científico por predizerem a capacidade antioxidante de uma substância orgânica, sendo ferramenta útil na área de alimentos. Entretanto, apesar da existência de diferentes métodos, ensaios experimentais devem ser complementados com métodos de avaliação *in vivo*, dada a influência de fatores extrínsecos aos componentes químicos comumente avaliados (ALVES *et al.*, 2010).

Os métodos para investigação da atividade antioxidante são baseados em diferentes mecanismos. A citar a capacidade da amostra em transferir um elétron para um composto químico e assim reduzir (inativar) o oxidante. Este comportamento pode ser avaliado pelo método FRAP, onde mede-se a capacidade de redução dos íons férricos ( $\text{Fe}^{3+}$ ). Outro mecanismo refere-se à habilidade da amostra em sequestrar radicais livres, a qual pode ser avaliada pelos ensaios de ABTS e DPPH. A escolha bem como a combinação de diferentes ensaios é uma etapa metodológica importante para fidedignidade dos resultados experimentais (GULCIN, 2020).

No estudo de Zola *et al.* (2019), a concentração do extrato da polpa de grumixama capaz de inibir 50% da absorbância (IC50) do DPPH foi de 26,03g/L (peso seco). Já o IC50 do FRAP foi de 42,11 $\mu\text{mol/g}$  e do ABTS 11,60  $\mu\text{mol/g}$ , ambos em peso fresco. Haminiuk e colaboradores (2011), observaram um IC50 do DPPH no valor de 94,74 $\mu\text{g/mL}$  ao avaliarem o extrato etanólico (polpa e casca) da grumixama, evidenciando uma atividade antioxidante maior que a jabuticaba (47.04  $\mu\text{g/mL}$ ) e a uvaia (45,49  $\mu\text{g/mL}$ ), similar ao cambuci (94,71  $\mu\text{g/mL}$ ) e inferior ao da guabiroba e da feijoa (121,24  $\mu\text{g/mL}$  e 108,58  $\mu\text{g/mL}$ ) (HAMINIUK *et al.*, 2011).

A técnica de extração empregada pode contribuir para as diferenças na capacidade antioxidante observadas nos estudos. Dentre estas, a extração de fase sólida é uma técnica que contempla a remoção de compostos não fenólicos, hidrossolúveis (açúcares e ácidos orgânicos), os quais mascaram a atividade redutora de compostos de interesse (ZOLA *et al.*, 2019).

O estágio de maturação do fruto também parece interferir no potencial antioxidante. Ao estudar o processo de amadurecimento da cereja-do-rio-grande, evidenciou-se que, apesar da colheita ser estabelecida quando o fruto atinge a cor violácea na sua totalidade, a capacidade antioxidante é maior nos estádios precedentes (ANTONIA, 2020). Contrariamente, com o amadurecimento da grumixama, a atividade antioxidante aumentou progressivamente. Os frutos no ponto ótimo para consumo (casca na cor violeta escuro) são os que apresentaram maior potencial antioxidante (NEHRING, 2016).

### 2.3.5 Bioacessibilidade dos compostos bioativos e atividade antioxidante após digestão simulada

Para que os compostos presentes nos alimentos atuem em benefício da saúde humana é necessário que estes estejam disponíveis em sítios ou receptores específicos (NERI-NUMA, 2013). A biodisponibilidade é o termo que reflete a capacidade de um componente dietético de ser utilizado pelo organismo. Após a absorção, o componente é distribuído para os tecidos em condições fisiológicas normais e exerce sua atividade biológica. (JOHANNINSGMEIER; HARRIS, 2011).

Entretanto, antes de se tornarem biodisponíveis, os compostos bioativos e nutrientes devem ser liberados no intestino a partir da matriz alimentar e estarem acessíveis para absorção após o processo de digestão, condição chamada de bioacessibilidade. Desta forma, para inferir que um composto é benéfico para a saúde é importante entender como a digestão afeta sua estabilidade e absorção (THAKUR *et al.*, 2020; CARBONELL-CAPELLA *et al.*, 2014).

Fatores inerentes ao alimento podem contribuir ou dificultar o processo de absorção. Dentre eles podemos citar a estrutura bioquímica do bioativo, a conjugação (lipídica ou glicosídica), o peso molecular, a interação com outros componentes efetores da absorção e a natureza do alimento (sólido, líquido, animal, vegetal). Ainda, diferentes tratamentos industriais utilizados para preservar as qualidades sensoriais dos alimentos também impactam de maneira negativa ou positiva, a exemplo o processamento térmico, a liofilização e o congelamento (REIN *et al.*, 2013; PORRINI; RISO, 2008).

A partir do consumo, a interação do alimento com o hospedeiro deve ser compreendida, a qual também responde de acordo com condições fisiológicas ou patológicas, estado nutricional e genética do indivíduo. No que se refere ao consumo, a quantidade do composto, duração e frequência são pontos levantados em estudos populacionais que podem nortear a indicação de certos alimentos para fins terapêuticos. No entanto, pouco se sabe sobre o efeito dessas variáveis na biodisponibilidade de compostos bioativos (PORRINI; RISO, 2008).

Apesar de não mimetizar completamente o processo humano de digestão, ensaios de digestibilidade *in vitro* vêm sendo utilizados como ferramenta para uma melhor compreensão acerca do comportamento de diferentes compostos frente às etapas da digestão. Dentre as vantagens do método, ressalta-se menor tempo e

trabalho despendido para o ensaio, baixo custo e isenção de restrições éticas inerentes a estudos *in vivo* (MINEKUS *et al.*, 2014).

Com base nestes ensaios, estudos vêm elucidando o trajeto de frutos nativos, seus subprodutos e compostos bioativos no percurso da digestão. No estudo de Inada *et al.* (2020), as frações de casca e semente da jaboticaba foram combinadas, liofilizadas e caracterizadas, perfazendo um subproduto fonte de compostos fenólicos e antocianídicos. Entretanto, após a fase gástrica simulada (com redução do pH, aumento da temperatura, agitação e adição de pepsina), apenas 47% da composição total de fenólicos permaneceram acessíveis (INADA *et al.*, 2020).

Por outro lado, ao estudar sementes de 11 frutos do mercado local da China, Chen *et al.* (2016) observaram que sementes de frutos, consideradas resíduos, podem ser fontes de bioativos acessíveis para absorção e utilização tecidual.

Ao avaliar o impacto da digestão em frutos miniprocessados (congelados na forma de purê), Stafussa *et al.* (2021) verificou que a alcalinidade do pH intestinal é um fator que contribui para a degradação de fenólicos, visto que altera a configuração química, levando à formação de novos compostos. Porém, em alimentos do grupo de cereais, enzimas digestivas hidrolisam açúcares complexos e proteínas da matriz alimentar, liberando compostos bioativos e tornando a atividade antioxidante mais efetiva após a fase intestinal da digestão (KOEHNLEIN *et al.*, 2016).

Dentre os frutos nativos, a bioacessibilidade dos TPC na semente da *Eugenia pyriformis* (uvaia) apresentou redução de 50% na fase intestinal enquanto a polpa apresentou 41% de degradação. Em contrapartida, o teor de flavonoides totais da polpa aumentou após a fase intestinal (FARIAS *et al.*, 2021). Uma tendência oposta foi observada após digestibilidade *in vitro* da *Eugenia spittata* (araçá-boi), sobretudo com relação ao TPC, que teve um aumento de 123% após a fase gástrica. Quanto ao teor de flavonoides totais, observou-se que 93% estavam disponíveis para absorção na fase intestinal (ARAÚJO *et al.*, 2021b).

Como resultado da instabilidade estrutural das antocianinas, seu conteúdo é modificado pelas diferentes etapas da digestão, influenciando na sua bioacessibilidade. A jaboticaba apresentou redução de antocianinas já na fase gástrica, o que pode ser explicado pela fase oral antecedente, na qual o protocolo de digestão *in vitro* é iniciado. Apesar de rápida (2 minutos) a fase oral é caracterizada por fluidos de pH neutro (7) e aumento da temperatura (37°C), fatores que podem

contribuir para a degradação dos compostos antocianídicos (INADA *et al.*, 2020, DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2019).

Até a presente data não existem estudos acerca da digestibilidade simulada do fruto grumixama. Entretanto, Teixeira *et al.* (2019) identificaram mudanças nos metabólitos exógenos presentes na urina de indivíduos que consumiram uma dose única do suco de grumixama, o que indica que compostos do suco foram metabolizados. Complementarmente, 3 antocianidinas foram identificadas na urina, além das urolitinas A, B, C e D. Já no plasma verificou-se a presença de ácidos fenólicos modificados, resultantes da degradação de antocianidinas (TEIXEIRA *et al.*, 2015).

As urolitinas são metabólitos produzidos a partir da degradação colônica de elagitaninas (TEIXEIRA *et al.*, 2015), reforçando o papel das bactérias do cólon na metabolização de compostos considerados não bioacessíveis, os quais são transportados para a porção distal do intestino (CROZIER; DEL RIO; CLIFFORT, 2010).

A compreensão detalhada do fruto grumixama frente aos diferentes ambientes do processo digestório, mesmo que simulado experimentalmente, é crucial para embasar futuros estudos acerca da recomendação nutricional deste como fonte de compostos promotores em saúde.

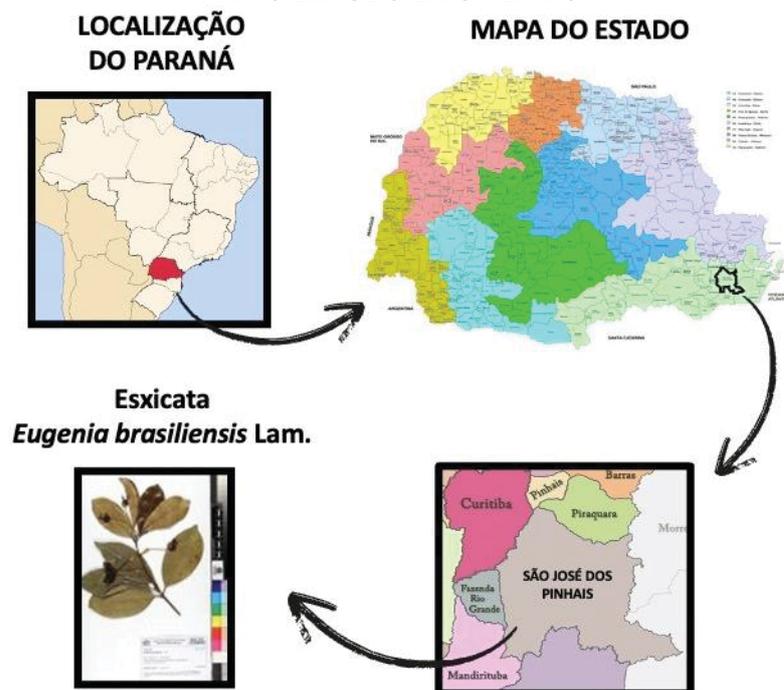
### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Este estudo experimental teve como objeto de pesquisa o fruto grumixama (ou grumixama preta) coletado na região metropolitana de Curitiba (Paraná, Brasil), cujo nome científico é *Eugenia brasiliensis* Lam. As farinhas das frações do fruto foram elaboradas a partir da técnica de liofilização para as análises físico-químicas individuais. As etapas metodológicas estão descritas nos tópicos subsequentes.

#### 3.1 COLHEITA DO FRUTO

Os frutos foram coletados na safra de 2020, que compreendeu o período de dezembro de 2020 a janeiro de 2021. O local de coleta foi uma propriedade rural localizada na cidade de São José dos Pinhais, estado do Paraná, Brasil (coordenadas geográficas:  $25^{\circ}44'27''S$ ,  $49^{\circ}08'34''W$ ), na Floresta Ombrófila Mista Montana (FIGURA 6). A exsicata foi registrada e depositada no Museu Botânico Municipal de Curitiba sob número 77501. A pesquisa foi realizada sob autorização de acesso ao patrimônio genético com o número de cadastro AE85BBE junto ao SisGen, regido pelos regulamentos da Lei n° 13.123 de 2015 (BRASIL, 2015).

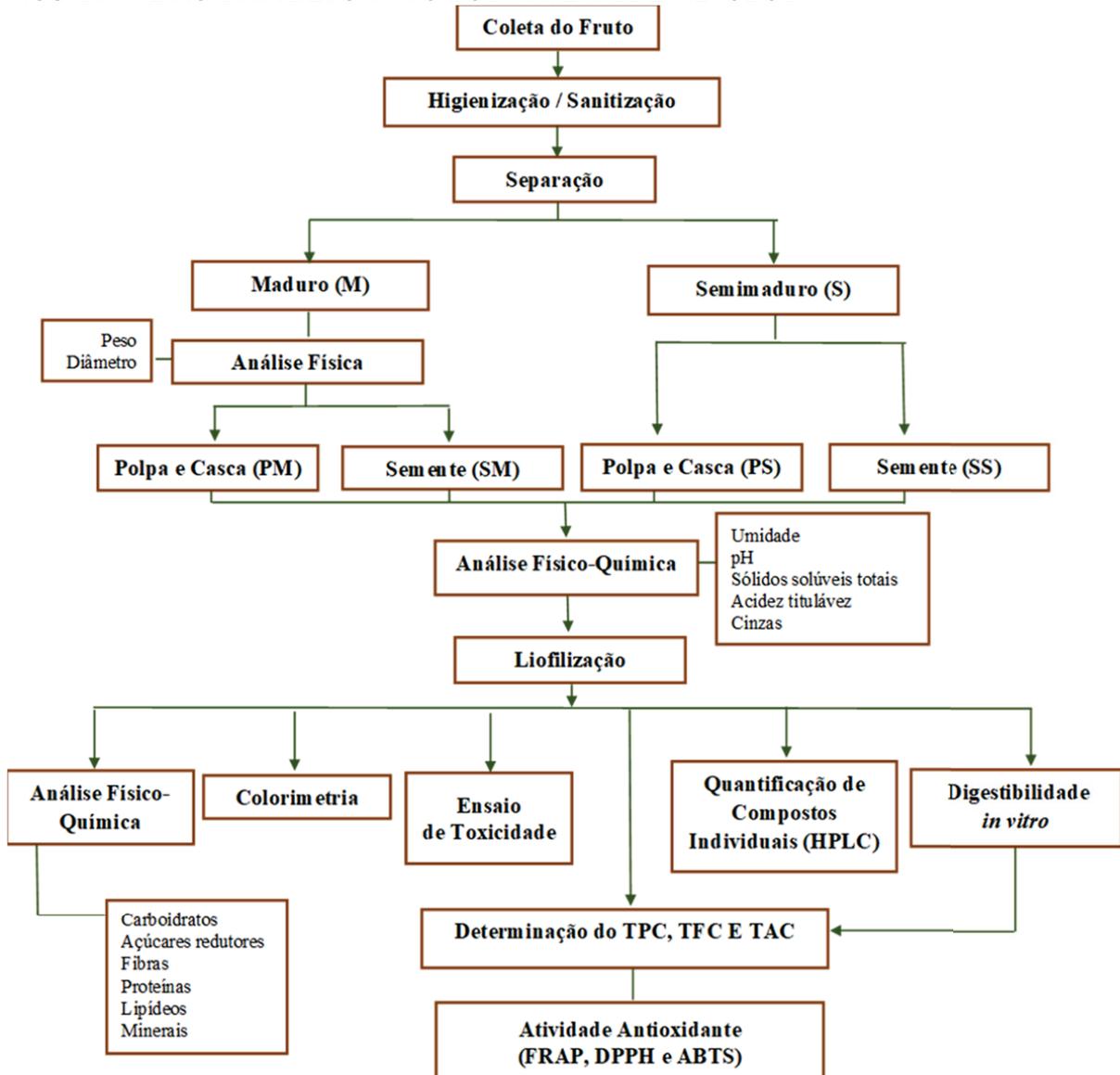
FIGURA 6 – LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DA *Eugenia brasiliensis* Lam. UTILIZADA PARA O ESTUDO E SUA EXSICATA



FONTE: Adaptado de <http://www.guiageo-parana.com/regiao-metropolitana.htm> e <https://mapasblog.blogspot.com/2011/10/mapas-do-parana.html> (2022).

A colheita dos frutos foi diária durante um período de 20 dias, nos horários de temperatura mais amena (final da tarde ou início da manhã). Foi realizada manualmente, com auxílio de um coletor adaptado ao tamanho do fruto, a partir de um único acesso (árvore). A escolha dos frutos se deu por inspeção visual da fase de maturação. Os frutos fora do estágio de amadurecimento definido ou com manchas, deformidades e casca demasiadamente mole foram excluídos no local da coleta. O transporte foi realizado em caixa isotérmica com gelo até o laboratório de Pós-Graduação do Departamento de Nutrição da Universidade Federal do Paraná (UFPR). O diagrama com as etapas metodológicas a partir da colheita pode ser visualizado na Figura 7.

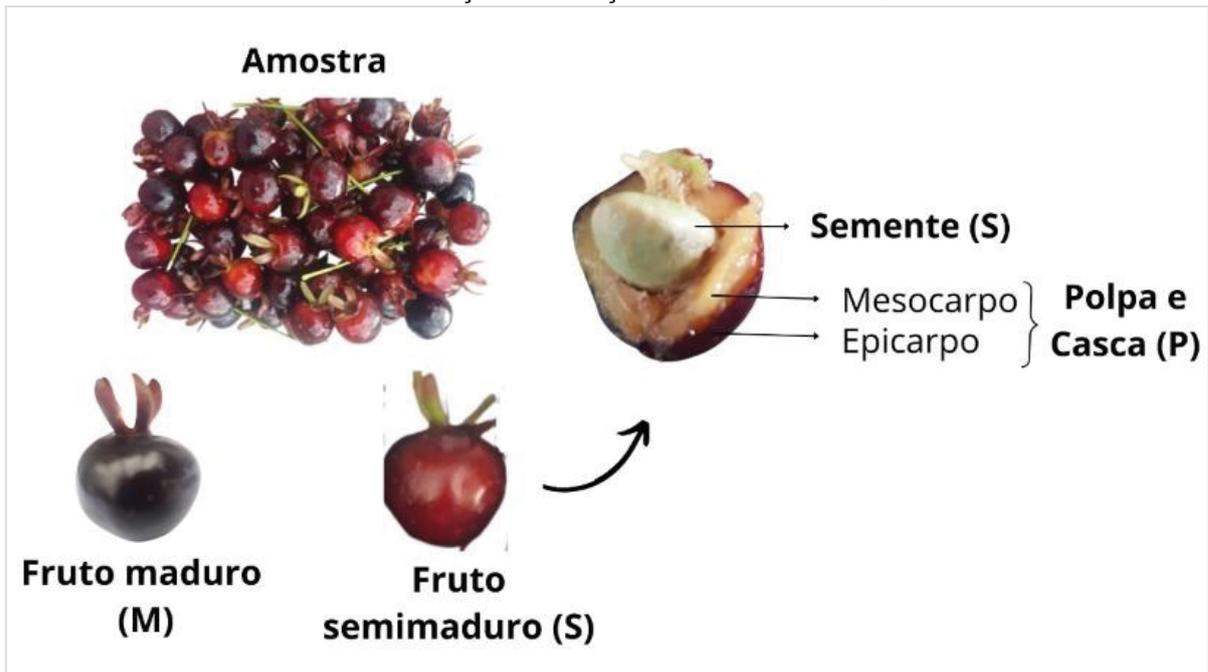
FIGURA 7 – DIAGRAMA DESCRITIVO DOS MATERIAIS E MÉTODOS



FONTE: A autora (2020).

Após a colheita, os frutos foram higienizados e sanitizados por imersão em solução de Cloro (200mg/L) durante 15 minutos (GIBBERT, 2017). Em seguida, por meio da inspeção visual, foram divididos de acordo com o estágio de maturação: frutos maduros (casca 100% violácea); frutos semimaduros (frutos com casca vermelha escura) (FIGURA 8).

FIGURA 8 – ESTÁDIOS DE MATURAÇÃO E FRAÇÕES DO FRUTO GRUMIXAMA



FONTE: A autora (2020).

### 3.2 ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICA DAS FRAÇÕES FRESCAS

O peso e diâmetro foram aferidos nos frutos maduros, em amostragem de 50 frutos. Para o diâmetro longitudinal e transversal do fruto inteiro e das sementes utilizou-se paquímetro digital da marca INSIZE, com precisão de 0.01mm. O peso do fruto inteiro, das sementes e da polpa e casca, foi aferido com balança digital da marca Marte Slim, modelo ML 6K. As análises foram realizadas em triplicata. Em seguida a amostra foi separada nos grupos polpa e casca madura (PM), polpa e casca semimadura (PS), semente madura (SM) e semente semimadura (SS), acondicionadas em embalagens plásticas envoltas com papel alumínio para bloqueio de luz e congeladas a -18°C até análises.

O teor de sólidos solúveis totais foi determinado por meio de leitura direta de gotas do suco das sementes e polpa (filtrados em papel filtro Vetec, Rio de Janeiro),

através de refratômetro digital (AIQ, RTD-95, São Paulo, SP). As frações foram trituradas, diluídas em água destilada e homogeneizadas para possibilitar o gotejamento e aferição. Os resultados foram expressos em °Brix a 20°C. O pH foi determinado pelo método eletrométrico conforme descrito pelo Instituto Adolfo Lutz (2008), utilizando medidor digital (Analyser, pH300, São Paulo, SP), calibrado com soluções-tampões de pH 7 e 4. A acidez total titulável (ATT), expressa em % de ácido cítrico por 100g de fruto fresco, foi quantificada pelo processo de titulação utilizando hidróxido de sódio 0,1N e leitura em pHmetro digital (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2008).

A determinação de umidade foi realizada por secagem em estufa (Quimis, Diadema, SP) a 105°C ± 3°C até peso constante. O teor de resíduo mineral fixo (cinzas) foi obtido pelo método gravimétrico (AOAC, 2005). Foram utilizados 3g da amostra seca (semente) e 5g da amostra úmida (polpa e pele). Realizou-se a calcinação em mufla a 550°C por 8 horas para posterior quantificação. O resultado foi expresso em % de cinzas (AOAC, 2005).

As análises subseqüentes foram conduzidas nas frações liofilizadas do fruto. Para a liofilização, as frações foram congeladas a -20°C e, posteriormente submetidas à criosecação em liofilizador a vácuo (Liobras, L101, São Carlos SP), sob temperatura de -40 a -50 °C, vácuo em 90KPa, por período de 5 dias. Após o procedimento as frações foram trituradas em liquidificador de potência 500W e armazenadas em frascos fechados e protegidos da luz com folha de alumínio a -20°C.

### 3.3 DETERMINAÇÃO DOS MACRONUTRIENTES

As proteínas foram quantificadas por meio do método Kjeldahl, onde 0,5g da amostra foi misturado com 10mL de ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) e submetido a digestão ácida em bloco digestor (Velp Scientifica DK20) por 2 a 3 horas. Após período de resfriamento, a etapa de destilação foi realizada em destilador semiautomático, seguida da titulação com ácido sulfúrico 0,02N. O fator padrão utilizado para cálculo foi o de 5,75 (AOAC, 2005).

A determinação dos lipídeos totais foi realizada no aparelho Soxhlet a partir da extração por fluxo intermitente utilizando éter etílico como solvente. O teor de fibra alimentar total foi separado e quantificado por método enzimático-gravimétrico, conforme método 985.29 da AOAC (2005). Os carboidratos foram obtidos por

diferença:  $100 - (\% \text{ umidade} + \% \text{ proteínas} + \% \text{ extrato etéreo} + \% \text{ resíduo mineral fixo} + \% \text{ fibra alimentar})$  conforme AOAC (2005).

Para os açúcares redutores seguiu-se a metodologia de Smogy-Nelson (NELSON, 1960), onde 0,5g das amostras em pó foram primeiramente diluídas em água destilada e submetidas a digestão com 5ml de HCl 2,5N sob aquecimento a 100°C por 1 hora. A curva foi calculada com base em 5 concentrações de padrão de glicose (10 a 50µg/mL), com a equação de reta de  $y=94,235x + 0,1376$  ( $R^2 = 0,9997$ ). As leituras foram realizadas em espectrofotômetro em 535nm e os resultados expressos por 100g da amostra.

### 3.4 COLORIMETRIA

Para avaliar a tonalidade da cor das frações liofilizadas da grumixama, foi utilizado o espectrofotômetro (Hunter Lab Mini Scan XE Plus, Reston, VA, USA) equipado com D65/10°. A calibração foi feita utilizando discos pretos e brancos ( $X=78.9$ ,  $Y=83.9$ ,  $Z=88.9$ ). Foi utilizado o sistema CIELAB ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ) para descrever os resultados. O valor de  $L^*$  representa luminosidade e reflectância, variando de 0 (branco) até o 100 (preto). O valor  $a^*$  mede a tonalidade entre verde e vermelho e o  $b^*$  entre azul e amarelo (HUNTERLAB, 1998).

### 3.5 QUANTIFICAÇÃO DE MINERAIS

As análises foram realizadas em espectrofotômetro de emissão óptica com plasma acoplado indutivamente (ICP OES) marca Thermo Scientific, modelo iCAP 6500 com vista axial. Para o transporte das soluções foi utilizado capilares de 0,64mm (Meinhard Galss Products, USA). Os parâmetros instrumentais são apresentados na TABELA 2.

A metodologia de preparo da amostra seguiu o preconizado por Llorent-Martínez, Spínola e Castilho (2017), com adaptações. Previamente, 70mg da amostra foram adicionadas em um béquer de 50mL com 6mL de ácido nítrico, submetida ao aquecimento a 70°C e ultrasonificada por 15 minutos. Por conseguinte foi adicionado 1mL de água oxigenada (35%) repetindo o procedimento de aquecimento e homogeneização. Após aquecimento de 20 minutos e resfriamento, a solução foi transferida para o balão volumétrico (25mL) e o volume completado com água

deionizada. Por fim, a solução foi filtrada em seringa (0,45 $\mu$ m) e encaminhada para a análise instrumental.

TABELA 2 – PARÂMETROS INSTRUMENTAIS ICP OES

Radiofrequência	40 MHz
Potência de radiofrequência (RF)	1,15 kW
Vazão do gás do plasma	12,0 L min
Vazão do gás auxiliar	0,5 L min
Vazão do gás de arraste	0,7 L min
Tempo de estabilização	20 s
Replicatas	3
Tocha	Quartzo, vista axial

FONTE: A autora (2021).

As curvas analíticas foram construídas a partir de solução padrão multielementar de 1000mg/L contendo Ba (bário), Ca (cálcio), K (potássio), Mg (magnésio), Mn (manganês) e Se (selênio) e soluções padrão monoelementares de 1000 mg/L contendo S (enxofre) e P (fósforo), marca AccuStard (New Haven, USA). A faixa de concentração da curva analítica foi entre 1 a 6000 mg/L em HNO<sub>3</sub> 4% (v/v). Todas as curvas analíticas apresentaram coeficiente de correlação acima de 0,99. O limite de quantificação (LOQ) para os elementos analisados foi calculado segundo preconizado pela ANVISA, sendo o LOQ 10 vezes o desvio padrão das medidas do branco analítico ( $n \geq 7$ ), dividido pelo valor da inclinação da reta (coeficiente angular) para cada elemento. Para Mn o LOQ foi de 1,0 $\mu$ g/L, para K, Mg, P foi de 10 $\mu$ g/L e para Ca e S 100 $\mu$ g/L.

### 3.6 TOXICIDADE FRENTE *ARTEMIA SALINA* LEACH

A análise de toxicidade perante *Artemia salina* seguiu a metodologia de Meyer (1982), com algumas modificações. Para preparo da água de mar artificial, foram diluídos 14,31g de sal marinho em 400mL de água deionizada em pH na faixa de 8-10. Os ovos foram colocados para eclodir (200mg de cistos) na água salina, sob exposição à luz de 20W e aeração contínua por um período de 48h.

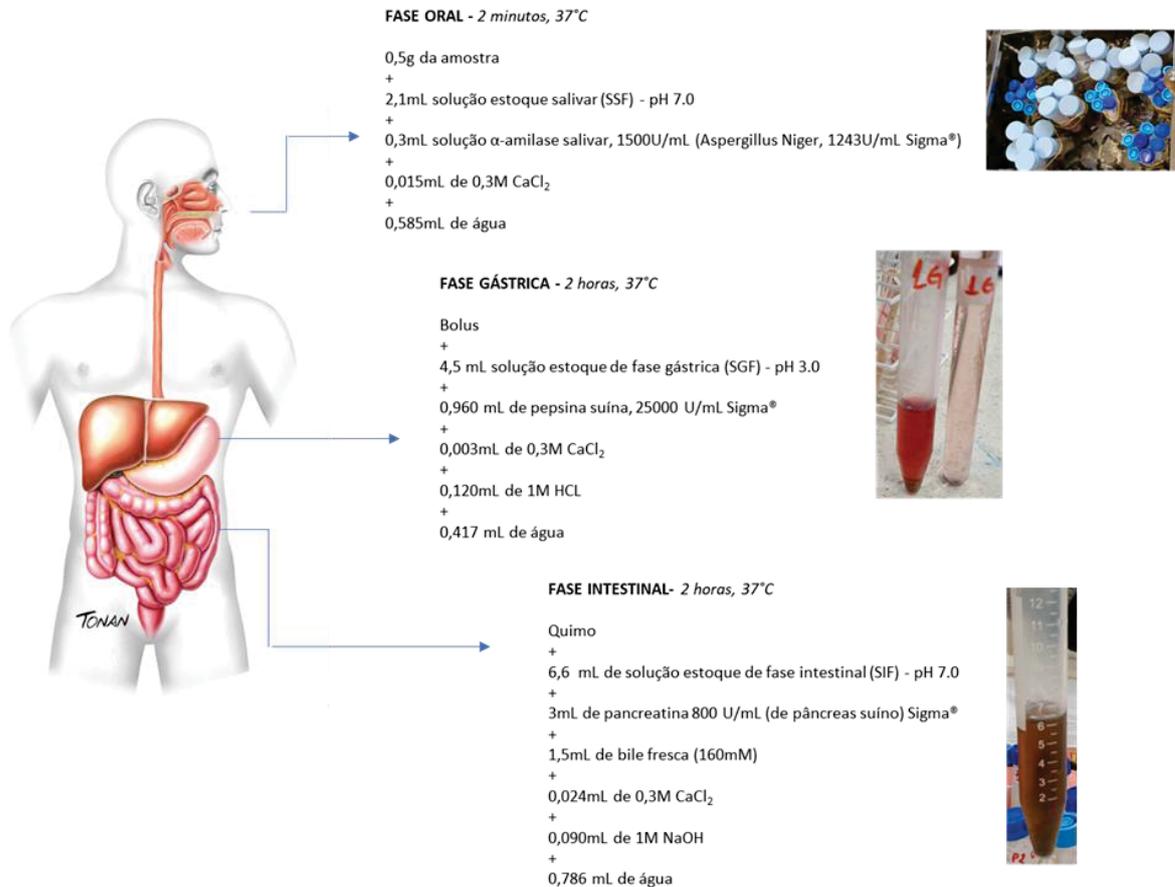
A solução estoque foi preparada com 100mg das amostras diluídas em DMSO e água salina nas concentrações de 1000, 100 e 10  $\mu$ g/mL. No total, 10 náuplios foram adicionados nos frascos de penicilina com 5mL de cada concentração. O controle positivo foi realizado com sulfato de quinidina e o negativo com DMSO (1%), ambos

em água salina e nas mesmas concentrações das amostras. Os frascos com os náuplios foram mantidos em temperatura ambiente por 24 horas. Posteriormente, foi realizada a contagem de náuplios vivos e mortos com auxílio de lupa e iluminação incandescente. Para estimar a concentração de letalidade que leva a 50% de morte (CL50), foi considerado o ajuste do modelo de Regressão Logística. Com base neste modelo, além da estimativa CL50, foram estimados os limites de um intervalo de 95% de confiança.

### 3.7 DIGESTIBILIDADE *IN VITRO*

Para investigar a ação do processo digestivo na atividade antioxidante e nos compostos fenólicos do fruto, foi realizada a digestão simulada *in vitro* de acordo com o modelo padronizado por Minekus *et al.* (2014), com adaptações de Silva *et al.* (2021). A metodologia contempla a fase salivar, gástrica e intestinal, conforme ilustrado na FIGURA 10, com constituintes químicos e condições viáveis para a prática experimental simulando a digestão fisiológica humana. Primeiramente, uma solução estoque foi preparada com os constituintes a fim de ajustar a concentração dos reagentes químicos, seguido de diluição em água destilada para constituir os fluidos de cada fase da digestão (oral, gástrica e intestinal).

Para a fase oral foi pesado 0,5g da amostra em tubo Falcon de 15ml e adicionou-se 2,5ml do fluido salivar. A solução foi homogeneizada no vórtex até obtenção da textura pastosa. Em seguida, foi adicionado ao tubo 2,1mL do fluido salivar e 0,3mL da enzima alfa-amilase (Sigma) pré-aquecidos a 37°C. Após serem homogeneizados no vórtex o pH foi aferido e ajustado com HCl ou NaOH até neutralidade (pH 7). Os tubos então foram posicionados no banho-maria em temperatura de 37°C sob agitação por 2 minutos.

FIGURA 9 – METODOLOGIA DESCRITIVA DA DIGESTIBILIDADE *IN VITRO*

FONTE: TONAN (2022), elaborado pela autora (2022).

Para a fase gástrica, o fluido gástrico foi adicionado junto de pepsina e HCl e o pH da solução foi ajustado em 3. Os tubos foram retornados no banho maria, em temperatura de 37°C por mais 2 horas. Nos tubos de fase intestinal foram adicionados a pancreatina (3mL), bile (1,5mL), CaCl<sub>2</sub> (0,24mL) e NaOH (0,09mL). O pH foi neutralizado em 7 e os tubos retornado para o banho-maria por mais 2 horas a 37°C. Ao término, a atividade enzimática foi cessada com banho de gelo, seguido do congelamento a -20C para posterior liofilização.

### 3.8 CÁLCULO DA BIOACESSIBILIDADE

O ensaio de digestibilidade *in vitro* permitiu avaliar a bioacessibilidade dos fenólicos totais, flavonoides totais e dos ensaios de atividade antioxidante nos extratos gástrico e intestinal. Para o cálculo foi aplicada a seguinte fórmula (ANDRADE *et al.*, 2022):

$$\% \text{ de Bioacessibilidade} = \left( \frac{\text{Teor do composto no extrato cru}}{\text{Teor do composto no extrato digerido}} \right) \times 100$$

### 3.9 ELABORAÇÃO DOS EXTRATOS

Os extratos foram preparados conforme García-Cruz *et al.* (2017), com modificações. Em tubo Falcon, 0,5g das amostras digeridas e cruas foram adicionadas de 5mL de metanol 80% acidificado com 0,01% HCl. A solução foi homogeneizada em vórtex até completa diluição da amostra. Posteriormente os tubos foram submetidos ao banho ultrassônico em temperatura ambiente ( $20^{\circ}\text{C} \pm 5$ ) por 10 minutos e foram centrifugados por 10 minutos. O sobrenadante foi coletado e a fase sólida foi submetida a uma segunda extração similar. Ao final, os sobrenadantes foram combinados e armazenados a  $-20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ , até as análises.

### 3.10 QUANTIFICAÇÃO DOS COMPOSTOS FENÓLICOS TOTAIS, FLAVONOIDES E ANTOCIANINAS

A determinação dos compostos fenólicos totais (TPC) foi baseada no método espectrofotométrico com reagente Folin-Ciocalteu. Em microplacas, foram adicionados 10 $\mu\text{L}$  da amostra e 15 $\mu\text{L}$  do reagente Folin-Ciocalteu e 240 $\mu\text{L}$  de água destilada. As microplacas foram incubadas por 3 minutos, com posterior adição de 15 $\mu\text{L}$  de solução  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  20% (SINGLETON; ROSSI, 1965). Após 30 minutos de repouso ao abrigo de luz a absorbância foi medida em 720nm. Os resultados foram expressos em ácido gálico equivalente.

O teor de flavonoides totais (TFC) foi quantificado por meio da metodologia descrita por Zhishen, Mengcheng e Jianming (1999). A primeira etapa foi o preparo dos reagentes Nitrito de Sódio 5% ( $\text{NaNO}_2$ ), cloreto de alumínio 10% ( $\text{AlCl}_3$ ) e hidróxido de sódio 1ml/L ( $\text{NaOH}$ ). Para a análise, inicialmente foram adicionados em microplacas 10 $\mu\text{L}$  da amostra e 90 $\mu\text{L}$  de  $\text{NaNO}_2$ , a microplaca foi incubada por 5 minutos. Após, adicionou-se 10 $\mu\text{L}$  de  $\text{AlCl}_3$  seguido de nova incubação por 50 minutos. Por fim, foram adicionados 90 $\mu\text{L}$  de  $\text{NaOH}$ . Após 60 minutos de repouso ao abrigo de luz a absorbância foi aferida em 540nm, com resultados expressos em equivalentes de catequina.

Para estabelecer o conteúdo de antocianinas nas frações estudadas, o método pH diferencial, descrito por Giusti e Wrolstad (2001) para as antocianinas monoméricas totais foi utilizado como referência. Foram preparados os tampões pH 1,0 e pH 4,5 de cloreto de potássio 0,025M e acetato de sódio 0,4M respectivamente, e o fator de diluição foi determinado com o tampão 1,0 até absorvância entre 0,2 e 1,4 em 540nm. As amostras foram preparadas em ambos os tampões e a absorvância aferida a 540nm e 690nm. A concentração dos pigmentos de antocianinas foi expressa em equivalentes de cianidina-3-glicosídeo.

### 3.11 CARACTERIZAÇÃO DE COMPOSTOS INDIVIDUAIS (HPLC)

A identificação de compostos individuais foi realizada por meio de curvas calibradas com os padrões de cada composto, com resultados expressos em mg/100g peso seco. As equações de regressão linear foram realizadas plotando as áreas de pico contra as quantidades injetadas de compostos padrão. A linearidade foi obtida pelo coeficiente de determinação ( $R^2$ ). Os limites de detecção (LOD) e quantificação (LOQ) foram definidos como  $3S/a$  e  $10S/a$ , respectivamente, (onde S é o desvio padrão da baixa concentração de soluções padrão e m é a inclinação do gráfico de calibração). Os picos cromatográficos foram confirmados comparando seu tempo de retenção com os dos padrões de referência. As curvas de calibração padrão foram geradas usando seis diluições padrão variando de 1  $\mu\text{g/mL}$  a 350  $\mu\text{g/mL}$  com um coeficiente de correlação de pelo menos 0,9697 (TABELA 3).

TABELA 3 – PARÂMETROS DE VALIDAÇÃO PARA O MÉTODO HPLC

Composto	Banda UV (nm)	Tempo de retenção (min)	Equação de regressão linear	$R^2$	LOD ( $\mu\text{g}$ )	LOQ ( $\mu\text{g}$ )
Ácido gálico	280	12,363	$y = 434057x + 891718$	0,9999	0,027	0,086
Catequina	280	20,07	$y = 102746x - 1284503$	0,9846	0,109	0,365
Ácido cafeico	254	21,617	$y = 1872428x + 24820769$	0,9901	0,006	0,020
Ácido ferúlico	254	22,895	$y = 531390x + 2909746$	0,9985	0,021	0,071
Miricetina	280	24,135	$y = 813216x + 854358$	0,9999	0,014	0,046
Quercetina	280	25,449	$y = 438873x + 6012765$	0,9951	0,026	0,085
Ácido cinâmico	254	2,65	$y = 724667x + 26443043$	0,9697	0,015	0,049

FONTE: A autora (2022).

A leitura foi realizada em máquina HPLC (Pro Star, Varian®) equipada com um detector de fotodíodos (PDA) (Pro Star, Varian®) (Millford, MA, EUA). A coluna analítica foi de 4,6 mm x 15 cm, 5  $\mu\text{m}$  C18 800 (TSKgel ODS-80Tm, TOSOH

Bioscience, Japão). A fase móvel consistia em A (0,1% de ácido fórmico na água) e B (0,1% de ácido fórmico no metanol). A separação foi realizada a 25 °C, com fluxo de 0,8 mL/min de caudal, e com 20 µL de volume de injeção. Os gradientes utilizados durante os 30 minutos foram da seguinte forma: 0-3,81 min, 9% B; 3,81-4,85 min, 14% B; 4,85-5,89 min, 15% B; 5,89-8,32 min, 15% B; 8,32-9,71 min, 17% B; 9,71-10,40 min, 19% B; 10,40-12,48 min, 19% B; 12,48-13,17 min, 26% B; 13,17-14,21 min, 28% B; 14. 21-15,95 min, 35% B; 15,95-16,64 min, 40% B; 16,64-18,37 min, 48% B; 18,37-22,53 min, 53% B; 22,53-22,88 min, 70% B; 22,88-30 min, 9% B. A detecção dos compostos fenólicos foi preferida sob um comprimento de onda de 254 e 280 nm. A identificação foi realizada comparando o tempo de retenção e a correspondência espectral com os padrões de referência para os compostos.

### 3.12 DETERMINAÇÃO DA ATIVIDADE ANTIOXIDANTE

O potencial antioxidante foi determinado por três métodos analíticos: poder antioxidante de redução do íon férrico (FRAP) e sequestro do radical DPPH e ABTS. Os extratos utilizados para avaliação da atividade antioxidante foram diluídos em metanol com 0,01% de HCL na proporção de 1:5 para as amostras de polpa e 1:12 para sementes. No ensaio de DPPH as amostras de polpa crua tiveram que ser submetidas a uma terceira diluição de 1:5. Para todas as análises, foi utilizada a curva padrão de Trolox expressa em mol/L.

O método DPPH foi baseado no descrito por Blois (1958) e modificado por Brand-Williams, Cuvelier e Berset (1995). Em microplacas adicionou-se 10µL dos extratos e 190µL da solução de radical 2,2-difenil-1-picril-hidrazil (DPPH) diluída em metanol (PM= 349,32). Após 30 minutos de repouso no escuro, a absorbância foi medida em 570nm. O ABTS foi conduzido segundo Re *et al.* (1999), onde o radical 2,2' – azinobis (3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfônico) foi previamente preparado com 5mL da solução estoque de ABTS (7mM) e 88µL de solução de persulfato de potássio (140mM). Após 16h a solução estoque foi diluída em água até obtenção de cor preta e absorbância em torno de 1,5nm. Em microplacas, 290µL do ABTS foram adicionados a 10 µL da amostra e a leitura realizada em absorbância de 690nm.

A atividade antioxidante de redução do ferro foi realizada conforme Benzie e Strain (1996). Primeiramente, as soluções tampão acetato 300nM (pH3,63), ácido clorídrico (PM36,46), Cloreto Férrico (FeCl<sub>3</sub>) e TPTZ 10mM (2,4,6-tripidil-s-tri-azine)

foram preparadas. A solução FRAP consistiu na mistura de 100mL de tampão + 10mL de  $\text{FeCl}_3$  + 10mL de TPTZ com HCL. Em microplacas, 290 $\mu\text{L}$  da solução FRAP foram combinados com 10 $\mu\text{L}$  da amostra e após 30 minutos de abrigo da luz a absorbância foi medida em 570nm.

### 3.13 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Todas as variáveis foram avaliadas por meio dos programas Statistica 8.0 (StatSoft Inc., USA), Action (2014) e SASM-Agri 8.2. Primeiramente a normalidade dos dados foi verificada pelo teste Shapiro-Wilk, e a homogeneidade pelo teste de Levene. A significância das diferenças foi calculada pelo ANOVA para os resultados normais e homogêneos. Para as variáveis não paramétricas ( $p < 0,05$ ), o teste de Kruskal-Wallis foi utilizado. O teste de Duncan foi aplicado para avaliar a significância entre as variáveis ( $p < 0,05$ ). O teste-t pareado foi utilizado para confirmar as diferenças entre os estádios de maturação e as frações. A correlação entre os dados foi avaliada pelo teste de correlação de Pearson.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 CARACTERÍSTICA FÍSICA DO FRUTO MADURO

O peso médio da fruta madura foi de 5,10g, com comprimento mínimo de 12,17mm a 22,77mm. A fração P correspondeu a 72,94% do fruto, estando próxima do rendimento de 68% em frutos *E. brasiliensis* colhidos no Sudeste do Brasil (ZOLA *et al.*, 2019). Valor próximo à acerola (75%) e à jaboaticaba (69% para polpa + casca), mostrando uma viabilidade comercial da grumixama para processamento na forma de polpa congelada ou geleia (BROCHADO, 2018; de JESUS *et al.*, 2004).

Com relação à semente, os frutos apresentaram de 1 a 3 sementes, que corresponderam a 22,80% de toda a massa do fruto fresco. Embora a polpa corresponda à maior massa do fruto, cada 1kg de polpa resultaria em aproximadamente 300g de semente. Considerando que o rendimento da semente após liofilização foi de 47%, cada 300g de semente fresca produziria 141g de farinha. Esse resíduo poderia ser utilizado em diferentes setores da indústria alimentícia e farmacêutica, como no desenvolvimento de suplementos alimentares, fortificação de produtos alimentícios e na cosmetologia (ARAÚJO *et al.*, 2021c, CARVALHO *et al.*, 2019).

### 4.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DAS FRAÇÕES MADURA E SEMIMADURA

Os resultados referentes a umidade na fração P foram de 89% independentemente do estágio de maturação, sendo 68% maior que a fração S (FIGURA 4). Variações climáticas e condições ambientais de umidade e temperatura podem influenciar o conteúdo de água presente em frutos, o que explica as diferenças evidenciadas em grumixamas colhidas no Rio de Janeiro (83,7%), em Santa Catarina (86 a 88%) e Minas Gerais (95,29%) (ZOLA *et al.*, 2019; NASCIMENTO *et al.*, 2017; NEHRING *et al.*, 2022).

O amadurecimento não impactou nos valores de pH, acidez titulável (AT), umidade, proteína e lipídeos da fração P. O pH da fração P foi de 3,44 a 3,57, similar a frutos ácidos como o morango (3,3 a 3,6) e a acerola (de 2,39 a 4,00) ambos em estágio maduro (FRANÇOSO *et al.*, 2008; BRUNINI *et al.*, 2004). Ácidos orgânicos

são convertidos em açúcares durante o amadurecimento de frutos, havendo por conseguinte uma redução na AT e aumento no conteúdo de sólidos solúveis totais (SST). A grumixama apresentou AT estável entre os estádios semimaduro e maduro, diferente do esperado para a análise. Já o teor de SST foi maior no fruto maduro estando de acordo com o descrito para frutos de outras variedades (CHITARRA, M.; CHITARRA, A, 2005).

O teor de cinzas foi maior na semente do fruto maduro (0,89g/100g), sugerindo que essa fração contém maior quantidade de minerais quando comparada com a fração P (MENEZES FILHO *et al.*, 2019). Já o conteúdo de cinzas encontrado na P foi de 0,31 a 0,33g/100g, resultado próximo ao descrito na literatura (de 0,36 a 0,60g/100g peso fresco) (XU *et al.*, 2020).

TABELA 4 – CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DAS FRAÇÕES DA GRUMIXAMA EM DIFERENTES ESTÁDIOS DE MATURAÇÃO (EM 100G)

Parâmetros	PM	PS	SM	SS
Umidade (pf)	89,16 ± 0,01 <sup>a</sup>	89,48 ± 0,01 <sup>a</sup>	53,19 ± 0,01 <sup>b</sup>	53,22 ± 0,01 <sup>b</sup>
pH	3,44 <sup>a</sup>	3,57 <sup>a</sup>	-	-
Sólidos Solúveis Total (BRIX) (%)	7,40 <sup>a</sup>	6,10 <sup>b</sup>	-	-
Acidez titulável	12,68 <sup>a</sup>	11,27 <sup>a</sup>	-	-
Cinzas (pf)	0,31 ± 0,02 <sup>c</sup>	0,33 ± 0,03 <sup>c</sup>	0,89 ± 0,01 <sup>a</sup>	0,75 ± 0,03 <sup>b</sup>
Proteína (ps)	3,39 ± 0,16 <sup>a</sup>	3,47 ± 0,03 <sup>a</sup>	2,95 ± 0,17 <sup>b</sup>	2,79 ± 0,10 <sup>b</sup>
Lipídeos (ps)	1,49 ± 0,21 <sup>a</sup>	1,62 ± 0,07 <sup>a</sup>	0,37 ± 0,51 <sup>c</sup>	0,97 ± 1,05 <sup>b</sup>
Açúcares redutores (ps)	10,47 ± 0,23 <sup>b</sup>	7,63 ± 0,21 <sup>c</sup>	17,39 ± 0,11 <sup>a</sup>	17,03 ± 0,33 <sup>a</sup>
Fibras solúveis (ps)	4,72 ± 0,01 <sup>a</sup>	4,17 ± 0,01 <sup>b</sup>	1,66 ± 0,01 <sup>c</sup>	1,15 ± 0,01 <sup>d</sup>
Fibras insolúveis (ps)	18,29 ± 0,02 <sup>c</sup>	23,49 ± 0,01 <sup>b</sup>	48,27 ± 0,01 <sup>a</sup>	48,41 ± 0,01 <sup>a</sup>
Carboidratos (ps)	70,90 ± 0,37 <sup>a</sup>	66,0 ± 0,16 <sup>b</sup>	43,99 ± 0,37 <sup>c</sup>	40,47 ± 1,04 <sup>d</sup>
Calorias Totais (ps)	310,59	292,50	203,05	226

NOTA: PM: polpa/casca madura; PS: polpa/casca semimadura; SM: semente madura; SS: semente semimadura. Resultados expressos como média ± Desvio Padrão (DP) das amostras analisadas em triplicata. Diferentes letras sobrescritas entre linhas mostram diferenças significativas entre as amostras de acordo com teste de Duncan ( $p \leq 0,05$ ).

LEGENDA: pf: peso fresco; ps: peso seco

A fração P liofilizada apresentou maior conteúdo de proteínas (3,39 a 3,47g/100g peso seco), similar ao 3,96% peso seco encontrado por ZOLA *et al.* (2019) para a fração e valor inferior a outros frutos nativos brasileiros, tais como uvaia (*Eugenia pyriformis*) com 15,82% (FARIAS *et al.*, 2021) e guabiroba (*Campomanesia xanthocarpa*) com 5,53% (RAPHAELLI *et al.*, 2021).

O conteúdo de lipídeos por peso seco da fração P (1,49% a 1,62%) foi maior que o valor de 0,72% descrito por XU *et al.* (2020) para a polpa da grumixama. A amostra SS foi 3 vezes maior em lipídeos (0,97%) quando comparado com a SM (0,37%). O conteúdo de lipídeo da SM corrobora com o encontrado previamente para

a semente de jaboticaba (0,4%) e foi inferior à semente da pitanga (0,5 a 0,7%) (INADA *et al.*, 2020; BAGETTI *et al.*, 2009). Durante o processo de maturação, a enzima ácido graxo sintase é inativada, fazendo com que o conteúdo lipídico se estabilize ou diminua (MSAADA *et al.*, 2009). Tal mecanismo pode ter contribuído para a variância no valor de lipídeo da fração S entre os estádios de maturação. Além disso, tanto o conteúdo como o perfil lipídico são influenciados por fatores extrínsecos como clima e composição do solo (KASEKE; OPARA; FAWOLE, 2020).

A fração SM apresentou maior teor de açúcares redutores em comparação com a SS e frações PM e PS (TABELA 4). Esse resultado corrobora com o encontrado para sementes de uvaia (Farias *et al.*, 2021). As sementes tendem a armazenar energia na forma de açúcar no endosperma que servirá como substrato para a futura germinação (HUANG *et al.*, 2021).

O amadurecimento de frutos acarreta mudanças enzimáticas que interferem no metabolismo dos açúcares. Dentre essas, a hidrólise da sacarose resulta na formação dos açúcares frutose e glicose, os quais se tornam majoritários e contribuem para a maior doçura de frutos no ponto ótimo para consumo (BORGES, 2021; LI *et al.*, 2020; TEIXEIRA; HASSIMOTTO; LAJOLO, 2018). O conteúdo de açúcares redutores no fruto maduro aumentou 37% na fração P. Nehring *et al.* (2022) encontrou um aumento similar (34%) nos açúcares glicose e frutose durante o amadurecimento de grumixamas e evidenciou que o local de cultivo impacta significativamente a quantidade de açúcares redutores do fruto.

O consumo das frações liofilizadas da grumixama (farinha) pode contribuir para o aumento do consumo de fibras dietéticas, o qual está associado com a saúde intestinal e a redução de doenças metabólicas como diabetes e obesidade (IONIȚĂ-MÎNDRICAN *et al.*, 2022; MACHADO *et al.*, 2022). A porcentagem de fibras totais da grumixama (23 a 50%) foi superior à farinha de banana verde (6,15,5%), à farinha de aveia (2,55%) e à farinha da casca da jaboticaba (11,82%) (SILVA; BARBOSA JUNIOR; BARBOSA, 2015; SUZAUDDULA *et al.*, 2021; FERREIA *et al.*, 2020).

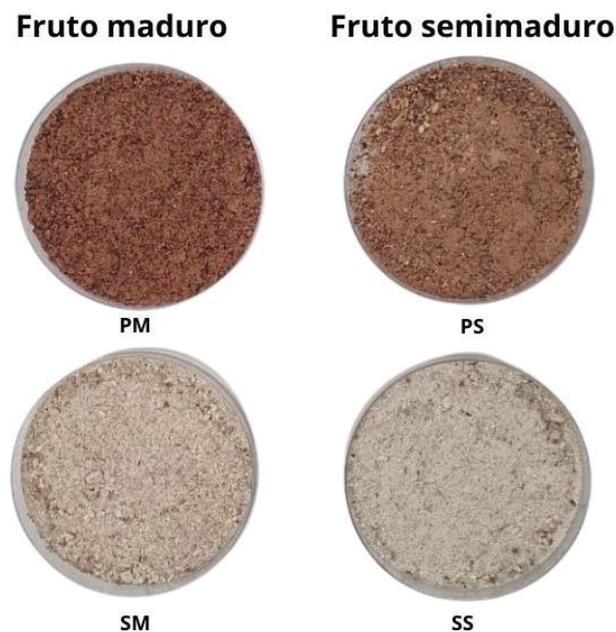
Com base na recomendação de 25g de fibras diárias, o consumo de 1 colher de sopa da SM ou SS corresponde a aproximadamente 16% do valor preconizado. Ao passo que a mesma medida caseira de farinha de PM ou PS contribui com aproximadamente 1% (INSTITUTE OF MEDICINE, 2006).

Ao estratificar o tipo de fibra, quase a totalidade das fibras contidas nas sementes são insolúveis (98%), enquanto a fração P apresenta de 15 a 20% de fibras

solúveis (Tabela 4). É importante estar atento à forma com que o fruto é consumido, já que a fibra é encontrada na parte externa da fração comestível (casca), enquanto o mesocarpo (polpa) é composto principalmente por açúcares simples (frutose, glicose e sacarose) (INADA *et al.*, 2015).

A Figura 10 ilustra as frações liofilizadas da grumixama submetidas à análise de colorimetria. Observa-se na Tabela 5 que a fração P no estágio maduro apresenta tendência de cor para preto e vermelho, com menor luminosidade (L), confirmando que os frutos visualmente selecionados como maduros encontravam-se no ponto ótimo de maturação.

FIGURA 10 – FRAÇÕES LIOFILIZADAS DA GRUMIXAMA ANALISADAS NA COLORIMETRIA



FONTE: A autora (2021).

A farinha da fração PM apresentou maior  $a^*$  (tonalidade vermelha) quando comparada com a PS, indicativo de que a cor conferida pela antocianina se manteve após o processo de liofilização. A farinha da jaboticaba, subproduto similar à farinha da grumixama, atua como corante natural em formulações de iogurtes conferindo a tonalidade vermelha arroxeada característica do fruto. Coloração que obteve melhor resultado na análise sensorial de iogurtes quando comparado com fórmulas contendo corantes sintéticos (FREITAS-SÁ *et al.*, 2018).

As sementes obtiveram o ângulo de  $hue$  ( $h^\circ$ ) indicativo de tonalidade amarela, somado a valores para  $a^*$  e  $b^*$  indicando baixa intensidade do tom avermelhado e com tendência ao amarelo (TABELA 5). Ingredientes com tons ocres mais suaves são mais

bem aceitos na indústria alimentícia por conferirem a propriedade antioxidante ou o enriquecimento nutricional sem alteração na cor final do produto (KIBAR; SONMEZ; TENMEL, 2021).

TABELA 1 – PARÂMETROS RESULTANTES DA ANÁLISE DE COLORIMETRIA

Parâmetros	PM	PS	SM	SS
L*	42,58 ± 2,58 <sup>d</sup>	54,57 ± 1,72 <sup>c</sup>	75,31 ± 0,94 <sup>b</sup>	81,37 ± 0,25 <sup>a</sup>
a*	14,67 ± 0,45 <sup>a</sup>	12,19 ± 0,28 <sup>b</sup>	2,92 ± 0,11 <sup>c</sup>	1,04 ± 0,06 <sup>d</sup>
b*	18,01 ± 0,52 <sup>b</sup>	20,04 ± 0,04 <sup>a</sup>	18,40 ± 0,08 <sup>b</sup>	17,51 ± 0,10 <sup>c</sup>
C*	23,23 ± 0,67 <sup>a</sup>	23,46 ± 0,14 <sup>a</sup>	18,63 ± 0,09 <sup>b</sup>	17,54 ± 0,10 <sup>c</sup>
h°	50,83 ± 0,48 <sup>d</sup>	58,68 ± 0,60 <sup>c</sup>	80,98 ± 0,30 <sup>b</sup>	86,60 ± 0,20 <sup>a</sup>
a*/b*	0,81 ± 0,014 <sup>a</sup>	0,61 ± 0,014 <sup>b</sup>	0,16 ± 0,00 <sup>c</sup>	0,06 ± 0,00 <sup>d</sup>

NOTA: PM: polpa/casca madura; PS: polpa/casca semimadura; SM: semente madura; SS: semente semimadura. Resultados expressos como média ± Desvio Padrão (DP) das amostras analisadas em triplicata. Diferentes letras sobrescritas entre linhas mostram diferenças significativas entre as amostras de cordo com teste de Duncan ( $p \leq 0.05$ ).

LEGENDA: L\* = luminosidade; a\* = vermelho. b\* = amarelo-azul; C\* = saturação; h° = hue.

Em comparação com a farinha de quinoa, um ingrediente estudado na industrialização de alimentos, a semente em pó da grumixama mostrou-se com 42% menos C\*, 74% menos a\* e 39% menos b\* (KIBAR; SONMEZ; TENMEL, 2021). Neste sentido, tanto o L\* elevado como os baixos valores de a\* e b\* sugerem que a inclusão da farinha da semente de grumixama em produtos alimentícios não causaria grandes alterações sensoriais no quesito cor (SANCHEZ-ZAPATA *et al.*, 2009).

#### 4.3 DETERMINAÇÃO DO CONTEÚDO DE MINERAIS

O perfil de minerais quantificados na grumixama oscilou de acordo com o estágio de maturação do fruto (TABELA 6). Tal achado corrobora com dados da literatura, que apontam que diferenças ainda mais expressivas são observadas na comparação de frutos verdes com maduros (NEHRING *et al.*, 2022). É importante ressaltar que o presente trabalho avaliou frutos apenas nos estádios finais de maturação, por entender que são nesses estádios que ocorrem as maiores perdas durante a cadeia produtiva de frutos nativos.

A fração PS apresentou maior teor de Ca, K, P, Mn, Ba e S quando comparada com a PM. O Ca é responsável pela estabilidade da parede celular, mantendo a firmeza dos frutos e por conseguinte a qualidade estrutural de culturas hortícolas.

Desta forma, espera-se uma redução no teor de cálcio solúvel à medida que o fruto amadurece para que ocorra o amolecimento característico em frutos maduros. (THOR, 2019; XIONG *et al.*, 2021).

TABELA 2 – CONTEÚDO DE MINERAIS NAS FRAÇÕES DO FRUTO GRUMIXAMA

<b>Minerais essenciais</b>	<b>PM</b>	<b>PS</b>	<b>SM</b>	<b>SS</b>
Ca (mg/g)	1,87 ± 0,07 <sup>b</sup>	2,54 ± 0,03 <sup>a</sup>	1,53 ± 0,2 <sup>b</sup>	1,69 ± 0,17 <sup>b</sup>
K (mg/g)	10,49 ± 0,63 <sup>b</sup>	12,36 ± 0,57 <sup>a</sup>	5,60 ± 0,17 <sup>c</sup>	5,25 ± 0,30 <sup>c</sup>
Mg (mg/g)	1,29 ± 0,13 <sup>a</sup>	1,64 ± 0,23 <sup>a</sup>	1,80 ± 0,69 <sup>a</sup>	1,57 ± 0,14 <sup>a</sup>
P (mg/g)	0,41 ± 0,07 <sup>b</sup>	0,50 ± 0,01 <sup>a</sup>	0,52 ± 0,06 <sup>a</sup>	0,51 ± 0,03 <sup>a</sup>
<b>Elementos traços</b>				
Mn (µg/g)	6,82 ± 0,29 <sup>b</sup>	7,89 ± 0,10 <sup>a</sup>	5,02 ± 0,41 <sup>c</sup>	4,44 ± 0,18 <sup>c</sup>
Se (µg/g)	3,88 ± 0,28 <sup>a</sup>	3,77 ± 0,40 <sup>a</sup>	3,85 ± 0,30 <sup>a</sup>	3,95 ± 0,41 <sup>a</sup>
<b>Elementos inorgânicos</b>				
Ba (µg/g)	3,56 ± 0,89 <sup>b</sup>	5,55 ± 0,55 <sup>a</sup>	1,78 ± 0,24 <sup>c</sup>	2,97 ± 0,58 <sup>b</sup>
S (µg/g)	651,38 ± 9,09 <sup>bc</sup>	716,18 ± 22,11 <sup>a</sup>	685,67 ± 46,04 <sup>ab</sup>	632,14 ± 25,73 <sup>c</sup>

NOTA: Resultados expressos como média ± Desvio Padrão (DP) das amostras analisadas em triplicata. Diferentes letras sobrescritas entre linhas mostram diferenças significativas entre as amostras de cordo com teste de Duncan ( $p \leq 0.05$ ).

LEGENDA: PM: polpa/casca madura; PS: polpa/casca semimadura; SM: semente madura; SS: semente semimadura.

Dados apontam que o K é o mineral mais abundante na polpa da grumixama (ARÉVALO *et al.*, 2014; AGUIAR; SABAA-SRUR; SMITH, 2016). No presente estudo, 100g da fração P no estágio maduro conteve 1.048,62mg, sendo semelhante aos 1.160mg/100g quantificados na polpa da jabuticaba (ALEZANDRO *et al.*, 2013). O consumo de K é importante para a homeostase hidroeletrolítica e quando insuficiente pode contribuir para doenças cardiovasculares, especialmente a hipertensão arterial sistêmica (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2012).

Com base nisso, como parte do manejo de doenças crônicas não transmissíveis, a World Health Organization (2012) recomenda a ingestão de 3.510mg de K ao dia. Fazendo um paralelo com a grumixama, 1 colher de sopa da farinha da semente (7,6g) extraída do fruto maduro forneceria aproximadamente 40mg de potássio, enquanto a mesma medida caseira da fração P (4,7g) contribuiria com aproximadamente 50mg do mineral. A tabela 5 traz um comparativo entre a recomendação diária de consumo de cada mineral e o teor encontrado para 1 colher de sopa das frações P e S. (TABELA 7)

TABELA 3 – CONCENTRAÇÃO DE MINERAIS NA PORÇÃO DE 1 COLHER DE SOPA\* DAS FRAÇÕES LIOFILIZADAS DA GRUMIXAMA MADURA

Minerais	PM	SM	RDA	
			Homens	Mulheres
Ca (mg)	8.79	11.63	1000	1000
K (mg)	49.30	42.56	4.700	4.700
Mg (mg)	6.06	13.68	420	320
P (mg)	1.92	3.95	700	700
Mn (mg)	0.00	0.00	2.3	1.8
Se (µg)	18.20	29.26	55	55
Ba (mg)	0.01	0.01	20**	20**
S (mg)	3.06	5.21	195 a 240***	195 a 240***

NOTA: Valores de RDA (*Recommended Dietary Allowance*) baseados nas DRIs (*Dietary References Intake*, 2005) para a população adulta, com idade de 31 a 50 anos. \*1 colher de sopa da polpa = 4,7g; 1 colher de sopa da semente = 7,6g. \*\*Valor correspondente ao UL (*upper limit*). \*\*\*Faixa de consumo estabelecida por Ingenbleek e Kimura (2013).

LEGENDA: PM: polpa/casca madura; SM: semente madura.

Na semente, o amadurecimento do fruto teve influência no teor de Ba e S, maior no fruto semimaduro e maduro respectivamente. Ao comparar a quantidade de minerais contida na porção mensurada em medida caseira (1 colher de sopa), observa-se que a fração S fornece mais Ca, Mg, P, Se, S e P enquanto a fração P contribui com mais K. A quantidade de Mg (1,80mg/g) e P (0,52mg/g) foi superior ao encontrado em semente de acerola (0,22mg/g e 0,08mg/g respectivamente) (AGUIAR *et al.*, 2010).

Os elementos traços quantificados foram o manganês (Mn) e o selênio (Se). A principal fonte dietética de Mn são os grãos integrais, sendo que as frutas apresentam teores na faixa de 0,04 a 1,60mg/100g (SMITH; GROFF; GROPPER, 2012). Ambas as frações da grumixama apresentaram conteúdo abaixo da faixa descrita (3 µg ou 0.00g /100g).

As frações de grumixama demonstraram um teor de 3,77µg/g a 3,95µg/g de Se. Plantas ricas em antocianinas absorvem e acumulam mais Se, assim como a aplicação foliar ou via solo de biofertilizantes com selênio pode incrementar o acúmulo de antocianina na planta (PU *et al.*, 2021). A quantidade de Se nos alimentos depende do conteúdo deste mineral presente no solo, onde o elemento encontra-se na forma inorgânica (SKALNY *et al.*, 2019). Após absorver, a planta o converte para a forma orgânica, sendo o formato cisteína-selênio (cys-Se) o mais encontrado em frutos frescos (WEEKLEY *et al.*, 2013, PÉREZ, 2019).

A castanha-do-pará do estado da Amazônia é conhecida como uma das principais fontes de Se. Uma semente (5g) fornece quase 5 vezes a dose diária recomendada (RDA) para adultos ( $55\mu\text{g}/\text{dia}$ ) (INSTITUTE OF MEDICINE, 2006; LIMA; PILON-SMITS; SCHIAVON, 2018). Apesar disso, as frações da grumixama podem ser uma fonte contribuinte em regiões de sua predominância, visto que 1 colher de sopa da fração P e S forneceria aproximadamente 35% e 54% da RDA ( $19,4\mu\text{g}$  e  $30,2\mu\text{g}$  de Se respectivamente).

Os compostos inorgânicos que foram quantificados foram Ba e o S. Frutas são fontes naturais de Ba, sendo as ameixas e o suco de uva parte da lista dos alimentos com maior concentração (INSTITUTE OF MEDICINE, 2006). Com relação ao S, a concentração foi mais expressiva na amostra PS ( $716,18\mu\text{g}/\text{g}$ ), conforme demonstrado na TABELA 6. Frutas e vegetais são abundantes em compostos sulfurados voláteis, responsáveis por notas suculentas, frescas e aromáticas que contribuem para a autenticidade das frutas tropicais (CANNON, HO, 2018; MITCHEL, 2021). Um exemplo é o 3-sulfanilhexil presente na fruta curuba (*Passiflora mollissima* (Kunth) L. H. Bailey) (CONDE-MARTÍNEZ; SINUCO; OSORIO, 2014). Também, o conteúdo de S pode ser influenciado pela fertilização do solo, uma vez que a sulfatação é uma das técnicas aplicada na fruticultura para melhorar a resistência do plantio frente a condições bióticas ou abióticas desfavoráveis (FUENTES-LARA *et al.*, 2019).

A análise de minerais proferida permitiu concluir que a fração semente pode contribuir com o aporte de minerais essenciais, contendo maiores teores de Mg, P, Ca e Se que a fração comestível do fruto. Com relação ao Se, ambas as frações podem ser fontes dietéticas contribuintes para o alcance das recomendações diárias deste mineral nas regiões que abrangem o bioma de predominância da grumixama.

#### 4.4 TOXICIDADE FRENTE *Artemia salina* Leach

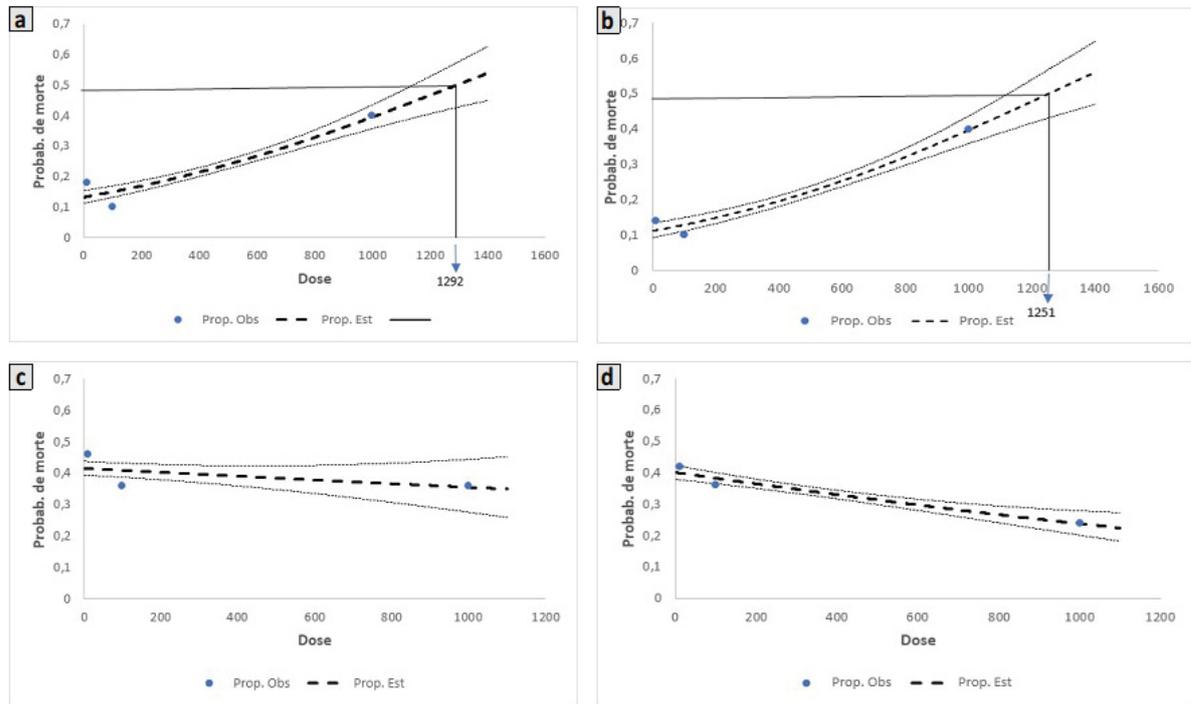
De acordo com a metodologia aplicada e com base na análise da regressão logística, observou-se que as amostras da fração P demonstraram uma estimativa de  $\text{IC}_{50}$  na concentração de  $1292\mu\text{g}/\text{mL}$  para a P madura e  $1251\mu\text{g}/\text{mL}$  para a semimadura (FIGURA 11 a e b). Segundo definido por Meyer (1982), uma substância é considerada tóxica quando resulta em uma proporção de 50% de mortes com doses < de  $1000\mu\text{g}/\text{mL}$ . Desta forma, com base no presente resultado conclui-se que a

fração P da grumixama não apresenta toxicidade, possivelmente por não apresentar compostos com atividade citotóxica. Estudos baseados na mesma metodologia demonstram ausência de toxicidade para os frutos camu-camu (*Myrciari adubia*), physalis peruano (*Physalis angulata*) e jambo vermelho (*Syzygium malaccense* (L.) Merr. & L.M. Perry (ARANDA-VENTURA *et al.*, 2019; GIBBERT, 2017).

Em relação à atividade tóxica das sementes, a estimativa de CL50 foi dada para uma concentração negativa em ambos os estádios de maturação, indicando não haver uma relação entre a dosagem e a probabilidade de morte (FIGURA 11 c e d). Com base nisso, o presente ensaio de caráter preliminar permite pontuar que as sementes de grumixama parecem não apresentar efeito tóxico, podendo ser consideradas seguras para o consumo. Entretanto, por ser uma fração não edível do fruto e por pouco se saber sobre o consumo empírico, a ausência de toxicidade deve ser confirmada por meio de outros ensaios metodológicos *in vivo*.

O ensaio de *Artemia salina* é também uma metodologia empregada paralelamente para se avaliar o potencial biológico, complementando ensaios que avaliam a atividade antifúngica, antiviral e antimicrobiana de substâncias. Nesse sentido, o extrato da semente de abacate apresentou não apenas atividade tóxica contra *Artemia salina* mas também, atividade antilarval (*Aedes aegypti*) e antifúngica em cepas de levedura (CL<1000 µg/mL) (LEITE *et al.*, 2009). Ressalta-se que compostos naturais apresentam estrutura química complexa e que o perfil fitoquímico difere de acordo com a metodologia de extração. Por conseguinte, o ensaio de toxicidade frente à *Artemia salina* pode responder de maneira diferente conforme o extrato estudado (VIDOTTO *et al.*, 2012). Desta forma, ressalta-se que o presente resultado corresponde às frações P e S liofilizadas da grumixama, limitando a comparação com extratos de outras amostras vegetais.

FIGURA 11 – ENSAIO DE TOXICIDADE FRENTE *ARTEMIA SALINA* LEACH. PROPORÇÕES DE MORTE OBSERVADAS E ESTIMATIVA DA PROBABILIDADE DE MORTE DE ACORDO COM A DOSE DO EXTRATO



LEGENDA: a) PM: polpa/casca madura;  
 b) PS: polpa/casca semimadura;  
 c) SM: semente madura;  
 d) SS: semente semimadura.

#### 4.5 COMPOSTOS FENÓLICOS, FLAVONOIDES E ANTOCIANINAS TOTAIS

O conteúdo de compostos fenólicos totais (TPC), flavonoides totais (TFC) e o antocianinas totais (TAC) em cada fração, de acordo com os estádios de maturação estão apresentados na Tabela 8. O TPC foi maior na fração PS (3312,42mg/100g). Na fração S, o TPC do estágio maduro (2880,81mg/100g) foi superior ao semimaduro e maior que o TPC encontrado por Oliveira *et al.* (2014) para o extrato de sementes da cereja oriunda da espécie *Prunus Avium* L (0,42 a 1,68g GAE/100g).

As frações S apresentaram um conteúdo cerca de 1,7 a 3 vezes maior de TFC quando comparado com as frações P. O TFC da semente de grumixama foi superior aos encontrado por Araújo *et al.* (2021b) para semente de *Eugenia stiptata* (araçá-boi) ( $43,73 \pm 23$  mg CE/100g peso seco) e por Machado *et al.* (2017) para resíduo da grumixama (10,89 mg GAE/g peso seco). O processo de amadurecimento impactou negativamente o teor de TFC na fração S, enquanto para P não houve diferença significativa ( $p < 0,05$ ).

Esse resultado pode ser atribuído ao mecanismo de oxidação dos polifenóis que ocorre durante a maturação dos frutos, mediado pela enzima polifenol oxidase (NIE *et al.*, 2020). Além disso, mecanismos enzimáticos estão envolvidos na síntese de flavonoides ao longo da maturação, onde a sua biossíntese é acelerada no início do desenvolvimento do fruto, seguido de um teor estacionário nas fases finais (HOU *et al.*, 2021). Ressalta-se que a amostragem incluída neste trabalho foi referente aos estádios finais de amadurecimento, onde a biossíntese dos flavonoides da polpa poderia já estar estabilizada.

TABELA 4 – COMPOSTOS BIOATIVOS DAS FRAÇÕES DA GRUMIXAMA EM DIFERENTES ESTÁDIOS DE MATURAÇÃO

Compostos	PM	PS	SM	SS
TPC	3058,16 ± 258,60 <sup>b</sup>	3312,42 ± 174,21 <sup>a</sup>	2880,81 ± 160,92 <sup>b</sup>	2261,43 ± 232,82 <sup>c</sup>
TFC	62,25 ± 3,14 <sup>c</sup>	58,85 ± 2,25 <sup>c</sup>	110,60 ± 13,22 <sup>b</sup>	172,27 ± 8,31 <sup>a</sup>
TAC	183,83 ± 6,0 <sup>a</sup>	103,48 ± 2,1 <sup>b</sup>	0,29 ± 0,09 <sup>c</sup>	0,51 ± 0,09 <sup>c</sup>

NOTAS: Valores expressos em mg/100g de peso seco \*\*Resultado expresso em equivalente de cianidin-3-glicosídeo (mgC3G). Resultados expressos como média ± Desvio Padrão (DP) das amostras analisadas em triplicata. Diferentes letras sobrescritas entre linhas mostram diferenças significativas entre as amostras de acordo com teste de Duncan ( $p \leq 0,05$ ).

LEGENDA: PM: polpa/casca madura; PS: polpa/casca semimadura; SM: semente madura; SS: semente semimadura. TFC: conteúdo total de flavonoides. TPC: conteúdo total de compostos fenólicos. TAC: teor de antocianinas totais.

A polpa madura mostrou um TAC de 183,83mg/100g, inferior ao TAC encontrado para jaboticaba (930,56mg cy-3-glu/100g), guabiju (245,3156mg cy-3-glu/100g) e jambolão (869,30mg cy-3-glu/100g), valores também em peso seco (SERAGLIO *et al.*, 2018). No entanto, o presente TAC foi superior ao encontrado por Reynertson *et al.* (2008), onde a TAC detectada foi de 126mgC3G/100g peso seco na polpa e casca da grumixama. Já Nascimento *et al.* (2017) encontraram o valor de 4837,2mg/100g peso seco nos extratos da casca.

Com a maturação da grumixama observou-se que o TAC aumentou em 80% do estágio semimaduro para o maduro. O aumento é esperado considerando que as antocianinas são sintetizadas durante o desenvolvimento dos frutos (NEHRING *et al.*, 2022). As cerejas (*Prunus avium* L) apresentaram uma estabilidade no teor de antocianinas nos dois últimos dias de maturação (MOZETIC *et al.*, 2004). Ressalta-se que condições ambientais e fatores agrônômicos também podem afetar o conteúdo de antocianinas em frutas e vegetais (JU *et al.*, 2019).

Ainda, ao aplicar o teste de correlação, o L demonstrou correlação inversa forte com o teor de antocianinas ( $r = -0,98$ ;  $p=0,014$ ). Desta forma, podemos inferir que a tonalidade violácea escura da casca do fruto, facilmente reconhecida por inspeção visual, é um indicativo da riqueza de antocianinas presentes no ponto de maturação considerado ideal para consumo.

#### 4.6 CARACTERIZAÇÃO DOS COMPOSTOS FENÓLICOS INDIVIDUAIS (HPLC)

Os ácidos fenólicos subclasse ácidos hidroxicinâmicos identificados nas amostras foram os ácidos cinâmico, cafeico e ferúlico. Também foram caracterizados flavonoides da subclasse dos flavonóis a quercetina e miricetina, e dos flavan-3-ols a catequina (HAMINIUK *et al.*, 2011) (TABELA 9). As frações S apresentaram diferenças significativas para a miricetina e ácido cinâmico, sendo que a SM apresentou maior quantidade de miricetina e a SS maior conteúdo de ácido cinâmico. A miricetina e catequina foram identificadas em sementes de grumixama madura por Teixeira *et al.* (2015), com valores menores do que o encontrado para miricetina (14,38 a 21,32mg/100g) e superior ao de catequina (15,18 a 36,18mg/100g). Cunha-Santos *et al.* (2022) identificaram menor quantidade de quercetina (7,99 a 19,97mg /100g peso seco) na semente do fruto camu-camu.

Na fração P, a miricetina, catequina e ácido cafeico foram diferentes significativamente entre os estádios de maturação. A fração PM apresentou maior quantidade de miricetina e ácido cafeico e a PS maior quantidade de catequina. A miricetina e a quercetina se apresentaram em concentração maior do que o relatado na literatura (Reynertson *et al.*, 2008). Nehring *et al.* (2022) identificaram 22 compostos em grumixamas, sendo 11 ácidos fenólicos e 11 flavonoides. Ao comparar três estádios de maturação os autores observaram que tanto a miricetina, como o ácido cafeico e a catequina foram maiores no fruto maduro. Com relação á catequina, o maior conteúdo na PS corroborou com o encontrado por Du *et al.* (2021) em uvas (*Vitis vinífera* L.) no estágio intermediário de amadurecimento.

O amadurecimento acarreta modificações na estrutura da parede celular dos vegetais, o que pode interferir na quantificação de ácidos fenólicos que se encontram conjugados com macromoléculas, como polissacarídeos e proteínas (ZHANG *et al.*, 2020). Além disso, redução no metabolismo primário evidenciada no fruto maduro reduz a disponibilidade de substrato para a biossíntese de compostos fenólicos nesse

estádio (SERAGLIO *et al.*, 2018). Por outro lado, o afrouxamento tecidual favorece a extração de flavonoides monoméricos, como é o caso das catequinas (GARRIDO-BAÑUELOS *et al.*, 2019). Dessa forma, tanto a composição da matriz vegetal como fatores ligados à genética do cultivar contribuem para a alta variabilidade na composição dos ácidos fenólicos durante o amadurecimento (DU *et al.*, 2021).

No fruto jaboticaba, as frações apresentaram menor teor de quercetina, miricetina e catequina quando comparada com as frações da grumixama, sendo a casca a fração com maior conteúdo de miricetina e quercetina (INADA *et al.*, 2015). No fruto *Eugenia involucrata* (cereja-do-rio-grande) a miricetina e quercetina apenas foram identificadas na fração da polpa e a catequina foi maior na semente (GIRARDELO *et al.*, 2020).

O conteúdo de catequina da grumixama foi maior na fração P, e a casca pode ter contribuído para esse teor (37,67 a 48,67mg/100g). No fruto *Eugenia stiptata* (araçá boi) a catequina foi de 31,4mg/100g na polpa e 42,4mg/100g na semente (ARAÚJO *et al.*, 2021b), valores esses menores aos encontrados no presente estudo. O conteúdo de catequina descrito para o fruto maçã está dentro da faixa de 3 a 61mg/100g. O chá verde (infuso da *Cammelia sinensis*) é uma fonte conhecida desse polifenol e 1 porção de 200mL pode contribuir com o aporte de 20 a 160mg. No caso da fração P da grumixama, 1 colher de sopa da forma liofilizada (4,7g) forneceria em torno de 2,3mg de catequinas. (PIMENTEL; ELIAS; PHILIPPI, 2019).

Frutas vermelhas como cerejas, mirtilo, uvas e cerejas são fontes alimentares de ácidos hidroxí-cinâmicos (ácido cafeico, clorogênico, ferúlico e cumárico) e o consumo desta subclasse de ácidos fenólicos é associada com o efeito protetor do tecido endotelial (FUENTES; PALOMO, 2014).

TABELA 5 – ÁCIDOS FENÓLICOS CARACTERIZADOS NAS FRAÇÕES DA GRUMIXAMA EM DIFERENTES ESTÁDIOS DE MATURAÇÃO

Compostos Bioativos	PM	PS	SM	SS
Miricetina 	36,40 ± 2,00 <sup>c</sup>	19,66 ± 0,91 <sup>d</sup>	68,93 ± 3,27 <sup>a</sup>	62,67 ± 0,96 <sup>b</sup>
Quercetina 	56,49 ± 4,88 <sup>b</sup>	48,22 ± 3,05 <sup>b</sup>	70,22 ± 3,04 <sup>a</sup>	65,76 ± 5,17 <sup>a</sup>
Catequina 	37,67 ± 2,51 <sup>b</sup>	48,77 ± 2,17 <sup>a</sup>	0,94 ± 0,49 <sup>c</sup>	1,84 ± 0,78 <sup>c</sup>
Ácido Cafeico 	114,93 ± 2,03 <sup>a</sup>	61,57 ± 2,12 <sup>b</sup>	23,72 ± 0,00 <sup>c</sup>	23,80 ± 0,00 <sup>c</sup>
Ácido Ferúlico 	190,61 ± 9,56 <sup>a</sup>	203,25 ± 1,01 <sup>a</sup>	10,31 ± 0,00 <sup>b</sup>	13,35 ± 0,00 <sup>b</sup>
Ácido Cinâmico 	41,73 ± 0,23 <sup>c</sup>	45,84 ± 6,41 <sup>c</sup>	80,27 ± 1,50 <sup>b</sup>	104,01 ± 1,10 <sup>a</sup>

FONTE DAS FIGURAS: a) HAMINIUK *et al.*, 2011; b) FRANÇA *et al.* (2021).

NOTA: Resultados expressos em mg/100g peso seco, como média ± Desvio Padrão (DP) das amostras analisadas em triplicata. Diferentes letras sobrescritas entre linhas mostram diferenças significativas entre as amostras, de acordo com teste de Duncan ( $p \leq 0.05$ ).

LEGENDA: PM: polpa/casca madura; PS: polpa/casca semimadura; SM: semente madura; SS: semente semimadura.

Na pitanga-do-cerrado (*Eugenia calycina* Cambess) apenas traços do ácido ferúlico foram identificados na polpa (ARAÚJO *et al.*, 2021c). Em amostra da casca da jabuticaba em pó, o conteúdo de ácidos hidroxicinâmicos não identificados foi de 2,6 a 3,9mg/100g, menor do que o teor encontrado para a fração P da grumixama (QUATRIN *et al.*, 2019).

Observa-se que além dos atributos físicos e sensoriais que fazem da grumixama um fruto atrativo para consumo, a totalidade do fruto (fração polpa, casca e semente) são fontes de polifenóis. O processo de liofilização permite a utilização também da casca do fruto, parte que possivelmente contribuiu para a maior parte dos compostos identificados na fração P. Na farinha da semente foram identificadas a quercetina, miricetina e ácido cinâmico, o que sugere a possibilidade de alegação de alimento funcional para essa fração. No entanto, novos estudos são necessários para aprofundar os conhecimentos científicos acerca da segurança de consumo, composição química e tecnologias relacionadas ao pós-colheita e processamento desta fração.

#### 4.7 ATIVIDADE ANTIOXIDANTE DAS FRAÇÕES DA GRUMIXAMA

Os resultados referentes à atividade antioxidante estão descritos na TABELA 10. Observa-se que as sementes apresentaram maior atividade nos 3 ensaios. No caso do FRAP e DPPH, os valores chegaram a aproximadamente 3 vezes do valor encontrado na fração P, ambos no estágio maduro. Para o FRAP, a S no estágio semimaduro apresentou maior valor (26,65mmol/100g dw). Sementes de outros frutos nativos como da *Eugenia involucrata* DC (cereja-do-rio-grande) (GIRARDELO *et al.*, 2020) e *Eugenia pyriformis* (uvaia) (FARIAS *et al.*, 2021) também mostraram poder antioxidante superior à da polpa.

TABELA 6 – ATIVIDADE ANTIOXIDANTE DAS FRAÇÕES DA GRUMIXAMA EM MMOL/100G\*

Ensaio	PM	PS	SM	SS
DPPH	51,90 ± 3,62 <sup>c</sup>	31,52 ± 2,38 <sup>d</sup>	134,18 ± 1,43 <sup>a</sup>	115,14 ± 2,16 <sup>b</sup>
ABTS	47,63 ± 0,35 <sup>c</sup>	47,43 ± 0,07 <sup>c</sup>	137,60 ± 5,25 <sup>a</sup>	131,74 ± 5,39 <sup>b</sup>
FRAP	27,19 ± 0,55 <sup>c</sup>	26,65 ± 0,77 <sup>c</sup>	85,33 ± 3,77 <sup>b</sup>	98,07 ± 3,07 <sup>a</sup>

NOTAS: os ensaios descritos foram: sequestro do radical DPPH, ABTS e poder antioxidante de redução do íon férrico (FRAP). \*Valores expressos em peso seco \*\*Resultado expresso em equivalente de cianidin-3-glicosídeo. Resultados expressos como média ± Desvio Padrão (DP) das amostras analisadas em triplicata. Diferentes letras sobrescritas entre linhas mostram diferenças significativas entre as amostras de acordo com teste de Duncan ( $p \leq 0.05$ ).

LEGENDA: PM: polpa/casca madura; PS: polpa/casca semimadura; SM: semente madura; SS: semente semimadura.

Ao longo do desenvolvimento do fruto pode ocorrer o aumento ou redução de componentes oriundos do metabolismo secundário e devido a isso, a atividade

antioxidante também pode oscilar (LI *et al.*, 2020; ZITHA *et al.*, 2022). Essas variações são decorrentes de interações entre os ácidos fenólicos com outros componentes que são produzidos durante o processo de amadurecimento, como exemplo os açúcares e os ácidos orgânicos (NEHRING *et al.*, 2022). Esse mecanismo pode justificar as diferenças encontradas no presente trabalho, onde o DPPH e ABTS foram maiores na fração S do estádio maduro (134,18 e 137,60mmol/100g respectivamente) enquanto o FRAP na S semimadura (98,07mmol/100g).

Na fração P, o amadurecimento aumentou apenas o DPPH (de 31,51 a 51,90mmol/100g) sem diferenças significativas no ABTS e no FRAP. O mesmo foi observado para o fruto mirtilo, onde o DPPH aumentou em aproximadamente 30% do semimaduro para o maduro. Em contrapartida, os frutos acerola, jabuticaba, goiaba amarela e guabiju apresentaram maior DPPH e FRAP no estádio semimaduro em comparação ao maduro, o que pode estar relacionado com o maior teor de compostos fenólicos encontrados nesse estádio (BETTA *et al.*, 2018). No estudo de Nehring *et al.* (2022), as amostras de grumixamas completamente maduras responderam melhor ao ensaio do FRAP, enquanto o DPPH foi mais significativo na amostra em estádio de amadurecimento intermediário.

Xu *et al.* (2020), avaliaram a atividade antioxidante da grumixama (polpa e casca) cultivada no Cerrado e encontraram DPPH de 689,5 $\mu$ molTE/g. Machado *et al.* (2017), analisaram resíduos do processamento da grumixama encontraram valores de 90,60, 149,51 e 137,64 $\mu$ molTE/g para o DPPH, ABTS e FRAP respectivamente. Os frutos guabiju, jambolão e jabuticaba apresentaram valores de FRAP que variaram de 20,8 a 57,5mgTrolox/g (BETTA *et al.*, 2018).

Ao aplicar a correlação de Pearson, não foi observada significância estatística ao correlacionar o TPC, TFC e TAC com os ensaios antioxidantes. Uma correlação forte positiva foi observada para o DPPH com miricetina ( $r=0,99$ ,  $p\leq 0,05$ ) e quercetina ( $r=0,98$ ,  $p\leq 0,05$ ) e ABTS com miricetina ( $r=0,95$ ,  $p\leq 0,05$ ) e ácido cinâmico ( $r=0,97$ ,  $p\leq 0,05$ ). Ressalta-se que a atividade antioxidante de um extrato também é resultante da sinergia entre componentes não identificados nas análises (REYNERSTON *et al.*, 2008).

No entanto, observou-se uma correlação forte positiva entre os ensaios FRAP e DPPH ( $r=0,94$ ,  $p\leq 0,05$ ) e o ABTS com o DPPH ( $r=0,97$ ,  $p\leq 0,05$ ) e com o FRAP ( $r=0,98$ ,  $p\leq 0,05$ ). Essa dependência linear também foi observada no estudo de Oliveira *et al.* (2017). Outros componentes do extrato podem interferir nos ensaios de atividade

antioxidante, como o ácido ascórbico, ácido tartárico, triptofano, magnésio e potássio. No presente estudo, observou-se correlação negativa forte dos três ensaios com o potássio ( $r = -0,97$ ,  $p \leq 0,05$ ) e do FRAP e ABTS com proteínas totais ( $r = -0,99$ ,  $p \leq 0,05$  e  $r = -0,96$ ,  $p \leq 0,05$  respectivamente).

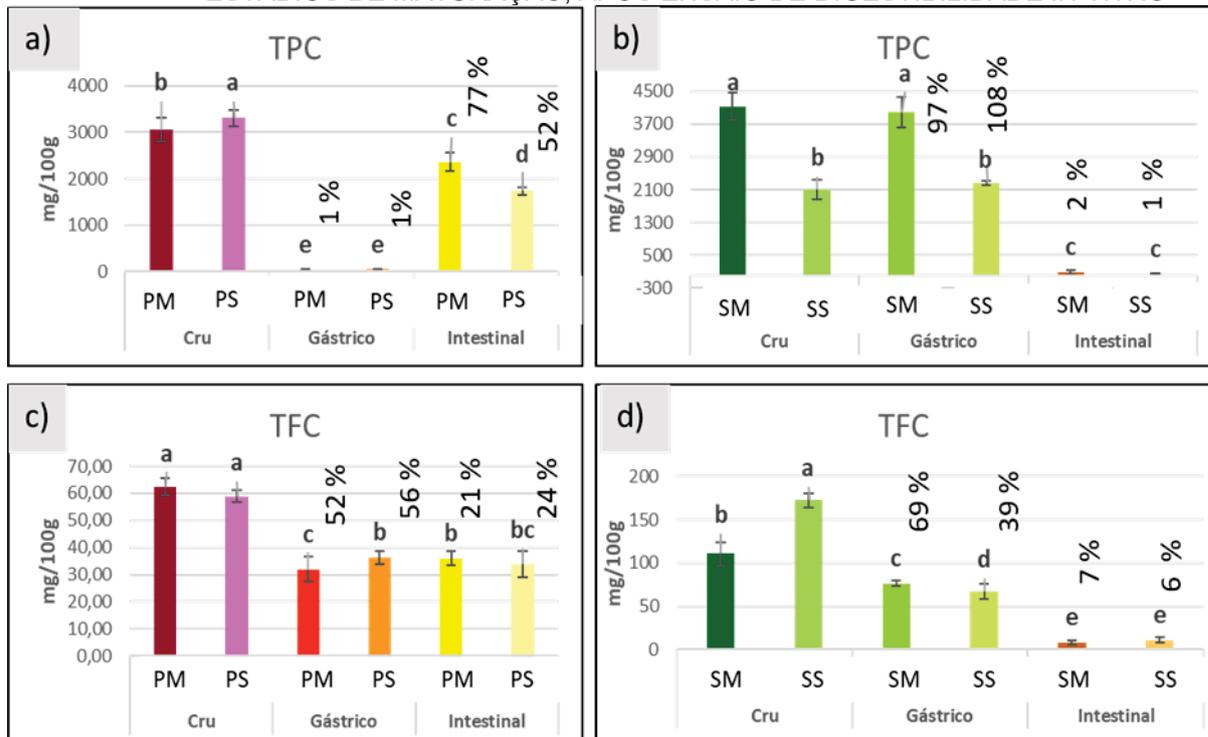
Com base nos ensaios *in vitro*, conclui-se que a farinha da semente da grumixama apresenta maior atividade antioxidante quando comparada com a farinha da polpa e casca. Resultado que valoriza a fração residual do fruto como um sub-produto, o qual pode perfazer um complemento alimentar ou ser utilizado pela indústria alimentícia e farmacêutica.

#### 4.8 COMPOSTOS BIOATIVOS APÓS DIGESTIBILIDADE *IN VITRO*

Atividades biológicas relacionadas aos compostos bioativos dependem da bioacessibilidade desses após o processo de digestão (LIMA, 2018). A digestão *in vitro* reduziu os compostos estudados nas frações da grumixama (GRÁFICO 1). Contudo, 77% do TPC mantiveram-se bioacessíveis na fração PM após a fase intestinal, sendo o valor seis vezes superior ao observado em purés comerciais de morango, pitanga e jaboticaba após digestão simulada (GRÁFICO 1, a e c) (STAFUSSA *et al.*, 2021).

A fração PM apresentou bioacessibilidade de 21% do TFC, inferior ao 93% encontrado para o araçá-boi (*Eugenia stipitata*) (Araújo *et al.*, 2021a). Polifenóis de maior peso molecular seguem para a porção mais distal do intestino, onde sofrem fermentação pela microbiota colônica (ROCCHETTI *et al.*, 2018). Essa interação entre microbiota e compostos fenólicos pode aumentar a liberação destes (ANDRADE *et al.*, 2022).

GRÁFICO 1 – COMPOSTOS BIOATIVOS DAS FRAÇÕES DA GRUMIXAMA EM DIFERENTES ESTÁDIOS DE MATURAÇÃO, APÓS ENSAIO DE DIGESTIBILIDADE *IN VITRO*



NOTA: Diferentes letras indicam diferença significativa ( $p \leq 0,05$ ) entre as amostras de acordo com o teste de Duncan. A porcentagem descrita nas barras indica a variação aproximada comparada com a amostra crua. Resultados expressos por 100g de peso seco.

LEGENDA: PM: polpa/casca madura; PS: polpa/casca semimadura; SM: semente madura; SS: semente semimadura. Compostos bioativos estudados na polpa/casca em a) TPC and c) TFC e na semente em b) TPC and d) TFC

O valor de TPC da fração P foi aproximadamente 60 vezes superior no extrato intestinal quando comparado com o extrato gástrico (GRÁFICO 1, a). Esse aumento pode ter relação com a liberação de ácidos fenólicos conjugados, a qual ocorre por meio da hidrólise alcalina (LIU *et al.*, 2012). Em contraste, o TPC da uvaia (*Eugenia pyriformis*) apresentou maior degradação na fase intestinal (Farias *et al.*, 2021).

A composição da matriz alimentar, interação com enzimas digestivas e ácidos biliares, tempo de duração do ensaio, oscilação na temperatura e pH são variáveis que influenciam a degradação e bioacessibilidade de compostos bioativos (THAKUR *et al.*, 2020, MASSA *et al.*, 2020). As sementes apresentaram TPC de 97 a 108% na fase gástrica seguido de uma importante degradação na fase intestinal (1% a 2%), de acordo com o apresentado no GRÁFICO 1 (b). É a fração com maior teor de fibras, majoritariamente insolúveis, característica que pode influenciar a bioacessibilidade dos ácidos fenólicos (LIMA *et al.*, 2014, RODRÍGUEZ *et al.*, 2021).

Após a digestão completa cerca de 35mg/100g de TFC estariam bioacessíveis a partir da fração P e cerca de 10mg a partir da S (GRÁFICO 1, c e d). Apesar da

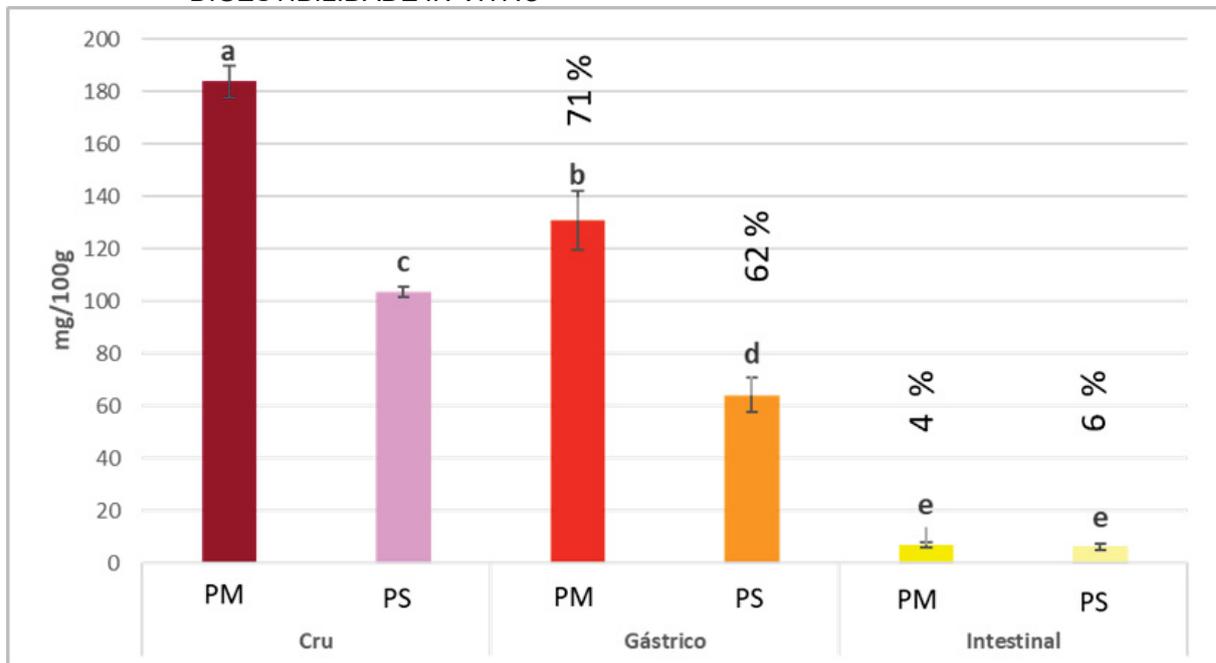
influência negativa da digestão no teor total de TFC das amostras, estudos demonstram que flavonoides, como kaempferol, aromadendrina e dihidroquercetina permanecem detectáveis em extratos das três fases da digestão *in vitro* (salivar, gástrica e intestinal). Mesmo que em pequenas quantidades, esses extratos demonstraram atividade inibitória das enzimas relacionadas com hidrólise do carboidrato, como a  $\alpha$ -amilase. Resultado relacionado mais ao efeito sinérgico entre os diferentes flavonoides do que ao conteúdo total desses (OLEDZCA *et al.*, 2022).

Em relação ao estágio de maturação, a fração SS apresentou aumento de 8% no TPC da fase gástrica quando comparada ao extrato cru (3585,26mg/100g e 2261,43mg/100g respectivamente) (GRÁFICO 1, b). Entretanto, após a fase intestinal não houve diferença significativa entre os dois estádios de maturação, resultado confirmado pela análise pareada do Teste-t ( $p \leq 0,05$ ). Já na fração P, embora antes da digestão o estágio semimaduro mostrasse maior teor de TPC (3312,42mg/100g *versus* 3058,16 mg/100g na madura), após a fase intestinal a P madura preservou mais TPC do que a semimadura (2356,68mg/100g *versus* 1734,46mg/100g) (GRÁFICO 1, a).

O mesmo comportamento foi observado no TFC das sementes. Como demonstrado no GRÁFICO 1 (d), o valor de TFC foi mais expressivo na fração semimadura antes da digestão (172,27 mg/100g *versus* 110,60 mg/100g da semente madura). Entretanto, essa amostra sofreu maior redução que a amostra em estágio maduro na fase gástrica. Nos extratos intestinais ambas sofreram degradação.

Quanto ao teor de antocianinas totais (TAC), aproximadamente 30% foram degradadas após a digestão gástrica simulada, reduzindo de 183,83 para 130,73mg/100g na PM e de 103,48 para 64,27 mg/100g na PS (GRÁFICO 2). Antecedendo a fase gástrica, a fase oral tem duração de 2 minutos, com ambiente em pH 7 e temperatura de 37°C, onde a amostra interage com o fluido salivar e enzimas digestivas (DOU *et al.*, 2022). A curta duração da fase oral limita a análise deste extrato nos estudos. Porém, levanta-se a hipótese de que a fase oral pode interferir na estabilidade das antocianinas (QUATRIN *et al.*, 2020).

GRÁFICO 2 – CONTEÚDO TOTAL DE ANTOCIANINAS (TAC) NA FRAÇÃO POLPA E CASCA DA GRUMIXAMA EM DIFERENTES ESTÁDIOS DE MATURAÇÃO APÓS DIGESTIBILIDADE *IN VITRO*



NOTA: Diferentes letras sobrescritas entre linhas mostram diferenças significativas entre as amostras, de acordo com teste de Duncan ( $p \leq 0.05$ ). Resultados expressos por 100g de peso seco.

LEGENDA: PM: polpa/casca madura; PS: polpa/casca semimadura.

Com base nos resultados, conclui-se que os compostos fenólicos e flavonoides totais mantiveram-se bioacessíveis após o processo de digestão *in vitro* da fração P da grumixama, estando a porcentagem dentro do descrito para outros frutos nativos (FARIAS *et al.*, 2021). As sementes sofreram maior degradação na fase intestinal e, após essa fase, o TAC foi similar nas frações PM e PS. Tendo em vista a baixa escala de produção da grumixama e a alta perecibilidade, a colheita do fruto antes do estágio completo de maturação beneficiaria a cadeia produtiva do fruto.

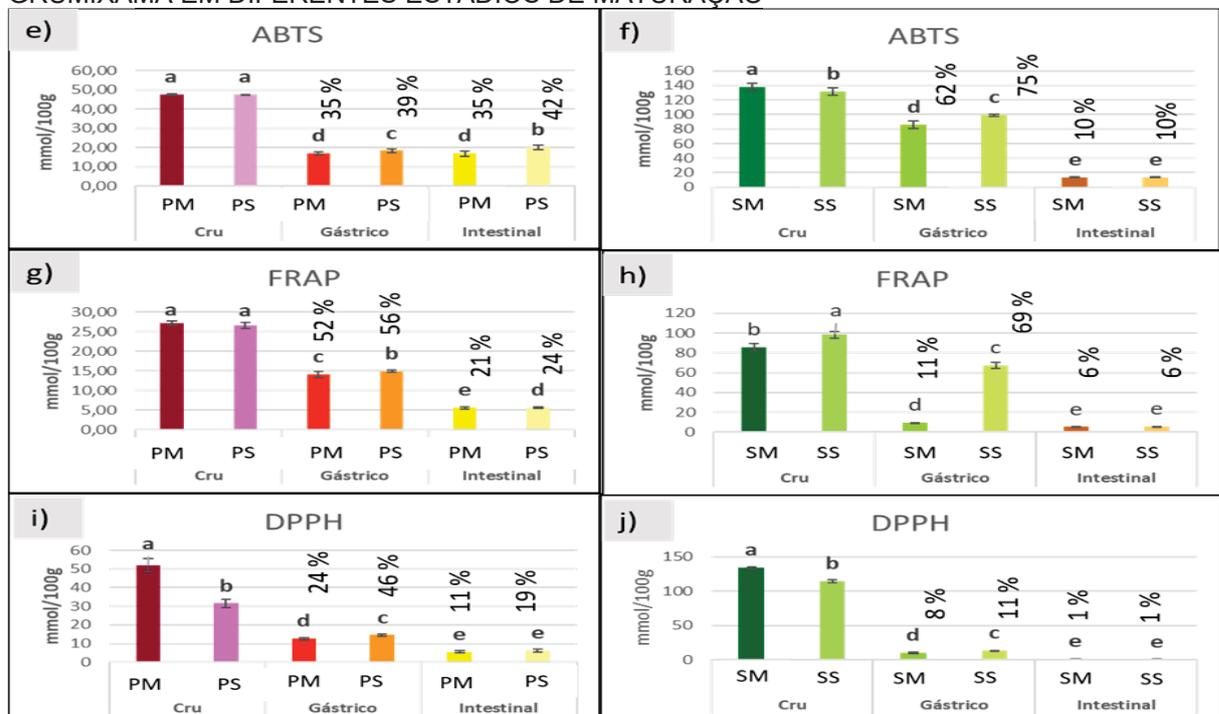
#### 4.9 ATIVIDADE ANTIOXIDANTE APÓS DIGESTIBILIDADE *IN VITRO*

A capacidade de sequestrar espécies reativas de oxigênio é resultante da diversidade de compostos fenólicos e flavonoides presentes nos frutos (COSME *et al.*, 2018). Devido ao desenvolvimento espontâneo e a necessidade de ativar mecanismos de defesa contra agressores ambientais, frutos oriundos de espécies nativas podem apresentar maior concentração destes compostos quando comparados com frutos exóticos. E por conseguinte, maior é sua capacidade antioxidante (BORGES *et al.*, 2010).

A fração S resultou numa redução superior a 90% no DPPH, ABTS e FRAP após a fase intestinal da digestão, conforme pode ser visto no GRÁFICO 3 (f,h,j). Esse achado pode estar relacionado com a degradação de TPC e TFC maior que 93% que ocorreu durante a digestão. Resultado semelhante foi encontrado por Araújo *et al.* (2021a) no ensaio de DPPH para sementes de araquá-boi, onde a degradação no DPPH foi de 82% (de 94,0 para 16,8 $\mu$ molTE/g). A semente da fruta uvaia também apresentou redução de 14,5% no DPPH da fase gástrica, seguida de 21% na fase intestinal (FARIAS *et al.*, 2021).

Qin *et al.* (2018) investigaram as frações polpa e semente da framboesa *Rubus idaeus* L. frente à digestão simulada e observaram aumento no DPPH, ABTS e FRAP na fase gástrica. Os autores associaram esse achado aos compostos fenólicos que foram liberados a partir do extrato gástrico, dentre eles, o teor significativo de ácido elágico e a rutina. Os extratos gástricos das frações da grumixama também apresentaram maior atividade antioxidante para os 3 ensaios quando comparados com os extratos intestinais, com exceção do ABTS na fração P (GRÁFICO 3).

GRÁFICO 3 – ATIVIDADE ANTIOXIDANTE APÓS DIGESTIBILIDADE *IN VITRO* DAS FRAÇÕES DA GRUMIXAMA EM DIFERENTES ESTÁDIOS DE MATURAÇÃO



NOTA: Diferentes letras indicam diferença significativa ( $p \leq 0,05$ ) entre as amostras, de acordo com o teste de Duncan. A porcentagem descrita nas barras indica a variação aproximada, comparada com a amostra crua. Resultados expressos por 100g de peso seco.

LEGENDA: PM: polpa/casca madura; PS: polpa/casca semimadura; SM: semente madura; SS: semente semimadura. Atividade antioxidante na polpa/casca em: e) ABTS; g) FRAP; i) DPPH e na semente em f) ABTS, h) FRAP e j) DPPH.

Ao analisar o ABTS da fração P do estágio maduro (GRÁFICO 3, e) observa-se que não houve degradação da atividade antioxidante da fase gástrica para a intestinal (18,81 e 16,85mol/100g). Já a amostra no estágio semimaduro apresentou aumento do ABTS de 18,42mol/100g na fase gástrica para 20,14mol/100g na fase intestinal, o que sugere aumento no conteúdo de TPC na fase intestinal.

A polpa da uvaia quando avaliada pelos métodos DPPH, ABTS e ORAC apresentou redução de 45% da atividade antioxidante na fase gástrica da digestão *in vitro*, seguida de um aumento de 72% na fase intestinal (FARIAS *et al.*, 2021). Os autores postularam que esse resultado pode ter tido relação com o conteúdo de flavonoides que foram liberados na fase intestinal.

A fração PS apresentou maior atividade antioxidante após as fases gástrica e intestinal em comparação com a PM (GRÁFICO 3, e,g,i). Corroborando com esse achado, a SS após a fase gástrica apresentou maior atividade antioxidante do que a SM (GRÁFICO 3, f,h,j). Esse resultado pode ter tido relação com o maior conteúdo de TPC na PS e com o TFC maior na SS. Dados acerca da atividade antioxidante de frutos não maduros submetidos à digestibilidade são escassos. Entretanto, o processo de amadurecimento *per se* reduz a atividade antioxidante de frutos (LIU *et al.*, 2015).

Não houve correlações estatisticamente significativas entre os compostos estudados com a atividade antioxidante, o que corrobora com correlações contraditórias encontradas na literatura (INFANTE *et al.*, 2016; HAMINIUK *et al.*, 2011; SERAGLIO *et al.*, 2018; ZOLA *et al.*, 2019). A heterogeneidade nos métodos extrativos e o comportamento do composto frente aos ensaios podem contribuir para as correlações inexistentes ou negativas entre bioativos e atividade antioxidante (BARBA *et al.*, 2016).

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo demonstra que as frações do fruto *Eugenia brasiliensis* Lam. apresentam propriedades físico-químicas e biológicas distintas e a liofilização permite o uso integral do fruto, podendo ampliar as possibilidades de consumo. A farinha da semente pode ser considerada fonte de fibras, flavonoides e apresenta maior atividade antioxidante. A farinha da polpa e casca pode contribuir com o aporte de antocianinas, potássio e compostos fenólicos. Ambas as frações podem contribuir com o aporte dietético de selênio.

Ainda, sugere-se que frutos no estágio semimaduro podem ser incluídos na etapa de colheita visto que quando liofilizados apresentam maior conteúdo de minerais (Ca, K e Mn), fibras insolúveis e compostos bioativos (fenólicos e flavonoides totais). Esse achado traz novos apontamentos para a cadeia produtiva da grumixama, como uma forma de contornar a alta perecibilidade do fruto. Já o conteúdo de antocianinas totais e a tonalidade de cor vermelha ( $a^*$ ) é maior na farinha da polpa e casca em estágio maduro.

No que se refere à bioacessibilidade, a digestão *in vitro* reduziu os compostos bioativos (fenólicos e flavonoides totais) e a atividade antioxidante das frações, com diferenças entre as fases gástrica e intestinal. Os compostos fenólicos totais da polpa e casca apresentaram bioacessibilidade superior à 50% na fase intestinal e a atividade antioxidante da semente foi mais degradada. Ainda, após a fase intestinal o conteúdo de antocianina foi similar na farinha da polpa e casca madura e semimadura.

Como limitações, levanta-se a coleta de grumixamas de um único acesso, necessitando maior robustez na amostragem para padronizar a caracterização físico-química do fruto proveniente da Mata Ombrófila Mista Montana.

Contudo, pesquisas acerca da cadeia produtiva de frutos nativos como a grumixama são fundamentais para o apontamento de soluções alinhadas ao plantio, colheita e pós-colheita, fomentando o cultivo e comercialização destes por agricultores familiares.

## REFERÊNCIAS

AÇÃO BRASILEIRA PELA NUTRIÇÃO E DIREITOS HUMANOS. **Direito humano à alimentação adequada no contexto da segurança alimentar e nutricional**. Brasília, DF: ABRANDH, 2010.

AGUIAR, T. M. DE; SABAA-SRUR, A. U. O.; SMITH, R. E. Study of Grumixama (*Eugenia Brasiliensis*, Lam) Fruit Pulp and Development of a Jelly: Rheological, Sensorial and Colorimetric Evaluation. **The Natural Products Journal**, Saif Zone, v. 6, n. 2, p. 142-151, 2016.

AGUIAR, T. M. *et al.* Caracterização química e avaliação do valor nutritivo de sementes de acerola. **Nutrire - Revista da Sociedade Brasileira de Alimentação e Nutrição**, São Paulo, SP, v. 35, n. 2, p. 91-102, ago. 2010.

ALBUQUERQUE, B. R. *et al.* Jaboticaba residues (*Myrciaria jaboticaba* (Vell.) Berg) are rich sources of valuable compounds with bioactive properties. **Food Chemistry**, Barking, v. 309, p. 125735, 2020.

ALEZANDRO, M. R. *et al.* Comparative study of chemical and phenolic compositions of two species of jaboticaba: *Myrciaria jaboticaba* (Vell.) Berg and *Myrciaria cauliflora* (Mart.) O. Berg. **Food Research International**, Ottawa, v. 54, p. 468–477, 2013.

ALVES, C. Q. *et al.* Métodos para determinação de atividade antioxidante in vitro em substratos orgânicos. **Química Nova**, São Paulo, v. 33, n. 10, p. 2202-2210, 2010.

ANDRADE, J. K. S. *et al.* Bioaccessibility of bioactive compounds after in vitro gastrointestinal digestion and probiotics fermentation of Brazilian fruits residues with antioxidant and antidiabetic potential. **Lwt - Food Science and Technology**, Mysore, v. 153, p. 112469, jan. 2022.

ANGELO, P. M.; JORGE, N. Compostos fenólicos em alimentos – Uma breve revisão. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, São Paulo, v. 66, n. 1, p. 1-9, 2007.

ANTONIA, B. D. **Qualidade pós-colheita de cereja-do-rio-grande:** caracterização de acessos e estádios de maturação. 2020. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2020.

ARANDA-VENTURA, J. *et al.* Evaluación de la bioactividad de plantas medicinales cultivadas en el Perú usando la prueba de letalidad de *Artemia salina*. **Revista Peruana de Medicina Integrativa**, Lima, v. 3, n. 3, p. 132, 2019.

ARAÚJO, F. F. de. *et al.* Gastrointestinal bioaccessibility and bioactivity of phenolic compounds from araçá-boi fruit. **Lwt - Food Science and Technology**, Mysore, v. 135, p. 110230, 2021a.

ARAÚJO, F. F. de. *et al.* Chemical characterization of *Eugenia stipitata*: A native fruit from the Amazon rich in nutrients and source of bioactive compounds. **Food Research International**, Ottawa, 139, p. 109904, 2021b.

ARAÚJO, N. M. P. *et al.* Recovering phenolic compounds from *Eugenia calycina* Cambess employing high-intensity ultrasound treatments: A comparison among its leaves, fruit pulp, and seed as promising sources of bioactive compounds. *Separation and Purification Technology*, v. 272, p. 118920, 2021c.

ARAÚJO, F. F. de. *et al.* Wild Brazilian species of *Eugenia* genera (Myrtaceae) as an innovation hotspot for food and pharmacological purposes. **Food Research International**, Ottawa, v. 121, p. 57-72, 2019.

ARÉVALO, R. P. *et al.* Concentração de Minerais Presentes em Frutos da Grumixameira (*Eugenia brasiliensis* Lam). **Cadernos de Agroecologia**, Recife, v. 9, n. 4, p. 1-9, 2014.

ARNOSO, B. J. de M. *et al.* Açai seed extract (ASE) rich in proanthocyanidins improves cardiovascular remodeling by increasing antioxidant response in obese high-fat diet-fed mice. **Chemico-Biological Interactions**, Limerick, v. 351, p. 109721, 2022.

ASSIS, A. M. D. *et al.* Evolução da maturação e características físico-químicas e produtivas das videiras BRS Carmem e Isabel. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 33, n. 1, p. 493-498, 2011. Edição especial.

AZEVEDO, E.; RIGON, S. A. Sistema alimentar com base no conceito de sustentabilidade. In: TADDEI, J. A.; LANG, R. M. F.; TOLONI, M. H. A. (org.). **Nutrição em saúde pública**. Rio de Janeiro: Editora Rubio, 2011. p. 467-478.

BAGETTI, M. *et al.* Antioxidant capacity and composition of pitanga seeds. **Ciência Rural**, v. 39, n. 8, p. 2504-2510, 2009.

BARBA, F. J. E. A. *et al.* Green alternative methods for the extraction of antioxidant bioactive compounds from winery wastes and by-products: A review. **Trends in Food Science and Technology**, Cambridge, v. 49, p. 96–109, 2016.

BARROS, B. L. A. *et al.* Physicochemical quality of araçauína and grumixama at different ripening stages. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 42, n. 6, p. 1-10, 2020.

BARROS, E. P.; ARAÚJO, A. Agroecologia e transdisciplinaridade: considerações acerca da crítica agroecológica ao enfoque técnico-científico da revolução verde. **Ciências Sociais em Perspectiva**, Cascavel, v. 15, n. 28, p. 83-95, 2016.

BETTA, F. D. *et al.* Phenolic Compounds Determined by LC-MS/MS and In Vitro Antioxidant Capacity of Brazilian Fruits in Two Edible Ripening Stages. **Plant Foods for Human Nutrition**, Dordrecht, v. 73, p. 302–307, 2018.

BENZIE, I. F. F.; STRAIN, J. J. The Ferric Reducing Ability of Plasma (FRAP) as a Measure of “Antioxidant Power”: The FRAP Assay. **Analytical Biochemistry**, New York, v. 239, n. 1, p. 70-76, 1996.

BEZERRA, I; DE PAULA, N. F. Sistemas alimentares sustentáveis e saudáveis: diálogos e convergências possíveis. **Faz Ciência**, Francisco Beltrão, v. 23, n. 37, p. 12 – 3, jan./jun. 2021.

BLOIS, M. S. Antioxidant Determinations by the Use of a Stable Free Radical. **Nature**, London, v. 4617, n. 181, p. 1199-1200, 1958.

BORGES, F. M. **Caracterização de cereja-do-rio grande (*Eugenia involucrata* DC.) e grumixama (*Eugenia brasiliensis* LAM.), frutos nativos da Mata Atlântica, quanto a compostos voláteis e precursores**. 2021. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2021.

BORGES, K. C. F. *et al.* Rendimento de polpa e morfometria de frutos e sementes de pitangueira-do-cerrado. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 32, n. 2, p. 471-478, 2010.

BRACK, P. *et al.* Frutas nativas do Rio Grande do Sul, Brasil: riqueza e potencial alimentício. **Rodriguésia**, Rio de Janeiro, v. 71, p.1-11, 2020.

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

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Alimentos com alegações de propriedades funcionais e/ou de saúde**. Brasília, DF: ANVISA, 2016.

BRASIL. **Presidência da República. Lei nº 13.123, de 20 de maio de 2015**. Regulamenta o inciso II do § 1º e o § 4º do art. 225 da Constituição Federal, o Artigo 1, a alínea j do Artigo 8, a alínea c do Artigo 10, o Artigo 15 e os §§ 3º e 4º do Artigo 16 da Convenção sobre Diversidade Biológica, promulgada pelo Decreto nº 2.519, de 16 de março de 1998; dispõe sobre o acesso ao patrimônio genético, sobre a proteção e o acesso ao conhecimento tradicional associado e sobre a repartição de benefícios para conservação e uso sustentável da biodiversidade; revoga a Medida Provisória nº 2.186-16, de 23 de agosto de 2001; e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República, 2015. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/CCIVIL\\_03/\\_Ato2015-2018/2015/Lei/L13123.htm](http://www.planalto.gov.br/CCIVIL_03/_Ato2015-2018/2015/Lei/L13123.htm). Acesso em: 7 mar. 2022.

BROCHADO, M. G. da S. *et al.* Análise do rendimento e perda de frutos na agroindústria de processamento de polpa artesanal. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DAS CIÊNCIAS AGRÁRIAS 3., 2018, Amazônia. **Anais...**Manaus: COINTER, 2018. Disponível em: <https://cointer-pdvagro.com.br/wp-content/uploads/2019/01/ANÁLISE-DO-RENDIMENTO-E-PERDA-DE-FRUTOS-NA-AGROINDÚSTRIA-DE-PROCESSAMENTO-DE-POLPA-ARTESANAL.-1.pdf>. Acesso em: 7 mar. 2022.

BRUNINI, M. A. *et al.* Caracterização física e química de acerolas provenientes de diferentes regiões de cultivo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 26, n. 3, p. 486-489, 2004.

CANNON, R. J.; HO, C.-T. Volatile sulfur compounds in tropical fruits. **Journal of Food and Drug Analysis**, Taipei, v. 26, n. 2, p. 445-468, 2018.

CARBONELL-CAPELLA. *et al.* Analytical Methods for Determining Bioavailability and Bioaccessibility of Bioactive Compounds from Fruits and Vegetables: A Review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, Chicago, v. 13, n. 2, p. 155-171, 2014.

CARMO, M. A. V. *et al.* Ellagitannins from jaboticaba (*Myrciaria jaboticaba*) seeds attenuated inflammation, oxidative stress, aberrant crypt foci, and modulated gut microbiota in rats with 1,2 dimethyl hydrazine-induced colon carcinogenesis. **Food and Chemical Toxicology**, [S. l.], v. 154, p. 112287, 2021.

CARELLE, A. C.; CÂNDIDO, C. C. **Tecnologia dos alimentos: principais etapas da cadeia produtiva**. São Paulo: Saraiva, 2015.

CARVALHO, A. P. A. D.; CONTE-JUNIOR, C. A. Health benefits of phytochemicals from Brazilian native foods and plants: Antioxidant, antimicrobial, anti-cancer, and risk factors of metabolic/endocrine disorders control. **Trends in Food Science & Technology**, Cambridge, v. 111, p. 534-548, 2021.

CARVALHO, F. A. L. *et al.* Effect of guarana (*Paullinia cupana*) seed and pitanga (*Eugenia uniflora* L.) leaf extracts on lamb burgers with fat replacement by chia oil emulsion during shelf life storage at 2 °C. **Food Research International**, Ottawa, v. 125, p. 108554, 2019.

CAZZELA A. A.; BONAL, P. MALUF, R. S. **Agricultura Familiar: multifuncionalidade e desenvolvimento territorial no Brasil**. Rio de Janeiro: Mauad X, 2009.

CÉCEL, A. T.; BARBEDO, C. J. Taxas respiratórias de sementes de *Eugenia brasiliensis* Lam. (Myrtaceae) sob atmosferas modificadas. **Hoehnea**, São Paulo, v. 48, p. e052020, 48, 2021.

CHEN, G. L. *et al.* Nutraceutical potential and antioxidant benefits of selected fruit seeds subjected to an in vitro digestion. **Journal of Functional Foods**, London, v. 20, p. 317-331, 2016.

CHENG, X. *et al.* A review: Roles of carbohydrates in human diseases through regulation of imbalanced intestinal microbiota. **Journal of Functional Foods**, London, v. 74, p. 104197, nov. 2020.

CHITARRA, M. L. F.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutos e hortaliças: fisiologia e manuseio**. Lavras: UFLA, 2005.

- CONDE-MARTÍNEZ, N.; SINUCO, D. C.; OSORIO, C. Chemical studies on curuba (*Passiflora mollissima* (Kunth) L. H. Bailey) fruit flavour. **Food Chemistry**, Barking, v.157, p. 353-363, 2014.
- CORDEIRO, M. H. M. *et al.* Caracterização física, química e nutricional da pitaia-rosa de polpa vermelha. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 37, n. 1, p. 20-26, 2015.
- CORREIA, T. A.; PROCHNOW, M. Grumixama, a surpresa de Natal da Mata Atlântica. **Apremavi**, Atalanta, 12 dez. 2013. Disponível em: <https://apremavi.org.br/grumixama-a-surpresa-de-natal-da-mata-atlantica/>. Acesso em: 7 mar. 2022.
- COSME, F.; PINTO, T.; VILELA, A. Phenolic Compounds and Antioxidant Activity in Grape Juices: A Chemical and Sensory View. **Beverages**, [S. l.], v. 4, p. 2, 2018.
- CROZIER, A.; DEL RIO, D.; CLIFFORD, M. N. Bioavailability of dietary flavonoids and phenolic compounds. **Molecular Aspects of Medicine**, Oxford, v. 31, n. 6, p. 446-467, 2010.
- CUNHA-SANTOS, E. C. M. *et al.* Optimization of Phenolic Compounds Extraction of Different Parts of Camu-camu Fruit from Different Geographic Regions. **Plant Foods for Human Nutrition**, Dordrecht, 29 jul. 2022.
- DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L.; FENNEMA, O. R. **Química de alimentos de fennema**. 5. ed. São Paulo: Artmed, 2019.
- DOU, Z. *et al.* In vitro digestion of the whole blackberry fruit: bioaccessibility, bioactive variation of active ingredients and impacts on human gut microbiota. **Food Chemistry**, Barking, v. 370, p. 131001, 2022.
- DU *et al.* An investigation on polyphenol composition and content in skin of grape (*Vitis vinifera* L. cv. Hutai No.8) fruit during ripening by UHPLC-MS2 technology combined with multivariate statistical analysis. **Food Bioscience**, Amsterdam, v. 43, p. 101276, 2021.
- DUARTE, L. D. S.; CARLUCCI, M. B.; PILLAR, V. D. Macroecological analyses reveal historical factors influencing seed dispersal strategies in Brazilian Araucaria forests. **Global Ecology and Biogeography**, [S.l.], v. 18, p. 314-326, 2009.
- FARIAS, D. P. de. *et al.* Effect of in vitro digestion on the bioaccessibility and bioactivity of phenolic compounds in fractions of *Eugenia pyriformis* fruit. **Food Research International**, Ottawa, v. 150, p. 110767, 2021.
- FECKA, I. *et al.* The effect of strawberry ripeness on the content of polyphenols, cinnamates, L-ascorbic and carboxylic acids. **Journal of Food Composition and Analysis**, San Diego, v. 95, p. 103669, 2021.

FERREIA, S. P. *et al.* Whole-grain pan bread with the addition of jabuticaba peel flour. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 50, n. 8, p. e20190623, 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/JLNKSkStZs5LxZSrYzsFDvQ/?lang=en>. Acesso em: 10 nov. 2022.

FINTELMANN, V.; WEISS, R. F. **Manual fitoterapia**. Rio de Janeiro: Guanabara, 2010.

FLORA DO BRASIL. **Flora e funga do Brasil**. Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisas Jardim Botânico, 2022a. Disponível em: <http://reflora.jbrj.gov.br/reflora/listaBrasil/ConsultaPublicaUC/ConsultaPublicaUC.do#CondicaoTaxonCP>. Acesso em: 7 mar. 2022.

FLORA DO BRASIL. **Herbário virtual**. Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisas Jardim Botânico, 2022b. Disponível em: <https://reflora.jbrj.gov.br/reflora/herbarioVirtual/ConsultaPublicoHVUC/BemVindoConsultaPublicaHVConsultar.do?modoConsulta=LISTAGEM&quantidadeResultado=20&nomeCientifico=Eugenia+brasiliensis>. Acesso em: 7 mar. 2022.

FLORES, G. *et al.* Anthocyanins from *Eugenia brasiliensis* edible fruits as potential therapeutics for COPD treatment. **Food Chemistry**, Barking, v. 134, n. 3, p. 1256-1262, 2012.

FRANÇOSO, I. L. T. *et al.* Alterações físico-químicas em morangos (*Fragaria anassa* Duch.) irradiados e armazenados. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 28, n. 3, p. 614-619, 2008.

FREIRE, J. M. D. A. *et al.* Quantificação de compostos fenólicos e ácido ascórbico em frutos e polpas congeladas de acerola, caju, goiaba e morango. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 43, n. 12, p. 2291-2296, 2013.

FREITAS, T. P. **Pós-colheita de uvaia**: caracterização de acessos e estádios de maturação. 2017. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.

Freitas-Sá, D. D. G. C. *et al.* Effect of jabuticaba (*Myrciaria jaboticaba* (Vell) O. Berg) and jamelão (*Syzygium cumini* (L.) Skeels) peel powders as colorants on color-flavor congruence and acceptability of yogurts. **LWT - Food Science and Technology**, v. 96, p. 215-221, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0023643818304389?via%3Dihub>. Acesso em: 15 nov. 2022.

FRIEDMANN, H.; MCMICHAEL, P. Agriculture and the state system: the rise and decline of national agricultures, 1870 to the present. **Sociologia Ruralis**, United Kingdom, v. 29, n. 2, p. 93-117, 1989.

FUENTES-LARA, L. *et al.* From Elemental Sulfur to Hydrogen Sulfide in Agricultural Soils and Plants. **Molecules**, Basel, v. 24, n. 12, p. 2282, 2019.

FUENTES, E.; PALOMO, I. Mechanisms of endothelial cell protection by hydroxycinnamic acids, **Vascular Pharmacology**, New York, v. 63, n. 3, p. 155-61, 2014.

GARCÍA-CRUZ, L. *et al.* Betalains and phenolic compounds profiling and antioxidant capacity of pitaya (*Stenocereus* spp.) fruit from two species (*S. Prinosus* and *S. stellatus*). **Food Chemistry**, Barking, v. 234, p. 111-118, 2017.

GARRIDO-BAÑUELOS *et al.* Investigating the relationship between cell wall polysaccharide composition and the extractability of grape phenolic compounds into Shiraz wines. Part II: Extractability during fermentation into wines made from grapes of different ripeness levels. **Food Chemistry**, Barking, v. 278, p. 26-35, 2019.

GIBBERT, L. **Caracterização físico-química, potencial antioxidante e avaliação de toxicidade preliminar do jambo vermelho (*Syzygium malaccense* (L.) Merr. & L.M.Perry)**. 2017. Dissertação. (Mestrado em Alimentação e Nutrição) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2017.

GIRARDELO, J. R. *et al.* Bioactive compounds, antioxidant capacity and antitumoral activity of ethanolic extracts from fruits and seeds of *Eugenia involucrata* DC. **Food Research International**, Ottawa, v. 137, p. 109615, 2020.

GIUSTI, M. M.; WROLSTAD, R. E. Characterization and measurement of anthocyanins by UV-visible spectroscopy. **Current Protocols in Food analytical Chemistry**, 2001.

GUERRA, A. *et al.* Ecological restoration in Brazilian biomes: Identifying advances and gaps. **Forest Ecology and Management**, [S.l.], v. 458, p. 117802, 2020.

GULCIN, İ. Antioxidants and antioxidant methods: an updated overview. **Archives of Toxicology**, Berlin, v. 94, n. 3, p. 651-715, 2020.

HAMINIUK, C. W. I. *et al.* Chemical, antioxidant and antibacterial study of Brazilian fruits. **International Journal of Food Science and Technology**, Mysore, v. 46, p. 1529–1537, 2011.

HORWITZ, W. (editor). **Official methods of analysis of AOAC International**. 18. ed. Gaithersburg: AOAC International, 2005.

HOU, J. *et al.* Variations in phenolic acids and antioxidant activity of navel orange at different growth stages. **Food Chemistry**, Barking, v. 360, p. 129980, 2021.

HUANG, P. *et al.* Hydrogen Gas Improves Seed Germination in Cucumber by Regulating Sugar and Starch Metabolisms. **Horticulturae**, Basel, v. 7, n. 11, p. 456, 2021.

HUNTERLAB. **Users Manual with Universal Software Versions 3.5**. Reston: HunterLab, 1998.

INADA, K. O. P. *et al.* Bioaccessibility of phenolic compounds of jaboticaba (*Plinia jaboticaba*) peel and seed after simulated gastrointestinal digestion and gut microbiota fermentation. **Journal of Functional Foods**, London, v. 67, p. 103851, 2020.

INADA, K. O. P. *et al.* Screening of the chemical composition and occurring antioxidants in jaboticaba (*Myrciaria jaboticaba*) and jussara (*Euterpe edulis*) fruits and their fractions. **Journal of Functional Foods**, London, v. 17, p. 422-433, ago. 2015.

INADA, K. O. P. *et al.* Bioaccessibility of phenolic compounds of jaboticaba (*Plinia jaboticaba*) peel and seed after simulated gastrointestinal digestion and gut microbiota fermentation. **Journal of Functional Foods**, London, v. 67, p. 103851, abr. 2021.

INFANTE, J. *et al.* Antioxidant and Anti-Inflammatory Activities of Unexplored Brazilian Native Fruits. **PLOS ONE**, San Francisco, v. 11, n. 4, p. e0152974, 2016.

INGENBLEEK, Y.; KIMURA, H. Nutritional essentiality of sulfur in health and disease. **Nutrition Reviews**, Washington, v. 71, n. 7, p. 413-432, 2013.

INSTITUTE OF MEDICINE. **Dietary Reference Intake (DRIs): Recommended intakes for individuals elements.** Washington: National Academies Press, 2004.

INSTITUTE OF MEDICINE. **Dietary reference intakes: the essential guide to nutrient requirements.** Washington, DC: The National Academies Press, 2006.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ (São Paulo). **Métodos físicos-químicos para análise de alimentos.** São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Vegetação.** Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/vegetacao.html>. Acesso em: 7 mar. 2022.

INTERNATIONAL PLANT NAMES INDEX. **Welcome to the International Plant Names Index (IPNI).** c2022. Disponível em: <https://ipni.org/>. Acesso em: 14 nov. 2022.

IONIȚĂ-MÎNDRICAN, C. B. *et al.* Therapeutic Benefits and Dietary Restrictions of Fiber Intake: A State of the Art Review. **Nutrients**, Basel, v. 14, n. 13, p. 2641, jun. 2022.

JESUS, N. de. *et al.* Caracterização de quatro grupos de jaboticabeira, nas condições de Jaboticabal-SP. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 26, n. 3, p. 482-485, 2004.

JOHANNINGSMEIER, S. D.; Harris, G. K. Pomegranate as a Functional Food and Nutraceutical Source. **Annual Review of Food Science and Technology**, Palo Alto, v. 2, p. 181–201, 2011.

JOLY, C. A.; METZGER, J. P.; TABARELLI, M. Experiences from the Brazilian Atlantic Forest: Ecological findings and conservation initiatives. **New Phytologist**, New Jersey, v. 204, n. 3, p. 459–473, 2014. Disponível em: <https://nph.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/nph.12989>. Acesso em: 23 nov. 2022.

JU, Y. *et al.* Anthocyanin accumulation and biosynthesis are modulated by regulated deficit irrigation in Cabernet Sauvignon (*Vitis Vinifera* L.) grapes and wines. **Plant Physiology and Biochemistry**, Amsterdam, v. 135, p. 469-479, fev. 2019.

KALIA, A.; GUPTA, R. P. Fruit Microbiology. *In*: HUI, Y. H. (editor). **The handbook of fruit and fruit processing**. Oxford: Blackwell, 2006. p. 5.

KASEKE, T.; OPARA, U. L.; FAWOLE, O. A. Fatty acid composition, bioactive phytochemicals, antioxidant properties and oxidative stability of edible fruit seed oil: effect of preharvest and processing factors. **Heliyon**, [S. l.], v. 6, n. 9, p. e04962, 2020.

KIBAR, H.; SONMEZ, F.; TEMEL, S. Effect of storage conditions on nutritional quality and color characteristics of quinoa varieties. **Journal of Stored Products Research**, Elmsford, v. 91, p. 101761, 2021.

KOEHNLEIN, E. A. *et al.* Analysis of a whole diet in terms of phenolic content and antioxidant capacity: effects of a simulated gastrointestinal digestion. **International Journal of Food Sciences and Nutrition**, London, v. 67, n. 6, p. 614-623, 2016.

KOHOMA, S. *et al.* Secagem e armazenamento de sementes de *Eugenia brasiliensis* Lam. (Grumixameira). **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 28, n. 1, p. 72-78, 2006.

LAMARCK, J. B.; POIRET, J. L. M. **Encyclopédie méthodique botanique**. Paris: Panckoucke; Plomteux, 1789.

LAZARINI, J. G. *et al.* Bioprospection of *Eugenia brasiliensis*, a Brazilian native fruit, as a source of anti-inflammatory and antibiofilm compounds. **Biomedicine & Pharmacotherapy**, New York, v. 102, p. 132-139, 2018.

LEITE, J. J. G. *et al.* Chemical composition, toxicity and larvicidal and antifungal activities of *Persea americana* (avocado) seed extracts, **Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical**, Uberaba, v. 42, n. 2, p. 110-113, 2009.

LI, H. *et al.* Highly pigmented vegetables: Anthocyanin compositions and their role in antioxidant activities. **Food Research International**, Ottawa, v. 46, n. 1, p. 250-259, 2012.

- LI, X. *et al.* A. Dynamic changes of enzymes involved in sugar and organic acid level modification during blueberry fruit maturation. **Food Chemistry**, Barking, v. 309, p. 125617, 2020.
- LIMA, L. W.; PILON-SMITS, E. A. H.; SCHIAVON, M. Mechanisms of selenium hyperaccumulation in plants: A survey of molecular, biochemical and ecological cues. **Biochimica et Biophysica Acta**, Amsterdam, v. 1862, n. 11, p. 2343-2353, nov. 2018.
- LIMA, A. C. S. *et al.* In vitro bioaccessibility of copper, iron, zinc and antioxidant compounds of whole cashew apple juice and cashew apple fibre (*Anacardium occidentale* L.) following simulated gastro-intestinal digestion. **Food Chemistry**, Barking, v. 161, p. 142-147, out. 2014.
- LIN, D. *et al.* An overview of plant phenolic compounds and their importance in human nutrition and management of type 2 diabetes. **Molecules**, Basel, v. 21, n. 10, p. 1374, 2016.
- LIU, J. *et al.* Synthesis, characterisation and in vitro digestibility of carboxymethyl potato starch rapidly prepared with microwave-assistance. **Food Chemistry**, Barking, v. 133, n. 4, p. 1196-1205, ago 2012.
- LIU H.; CAO J.; JIANG W. Evaluation of physiochemical and antioxidant activity changes during fruit on-tree ripening for the potential values of unripe peaches. **Scientia Horticulturae**, [S. l.], v. 193, p. 32-29, set. 2015.
- Llorent-Martínez, E. J.; SPÍNOLA, V.; CASTILHO, P. C. Evaluation of the inorganic content of six underused wild berries from Portugal: Potential new sources of essential minerals. **Journal of Food Composition and Analysis**, San Diego, v. 59, p. 153-160, 2017.
- LORENZI, H. *et al.* **Frutas brasileiras e exóticas cultivadas (de consumo in natura)**. São Paulo: Instituto Plantarum de Estudos da Flora, 2015.
- MACHADO, A. P. F. *et al.* Recovery of anthocyanins from residues of *Rubus fruticosus*, *Vaccinium myrtillus* and *Eugenia brasiliensis* by ultrasound assisted extraction, pressurized liquid extraction and their combination. **Food Chemistry**, Barking, v. 231, p. 1-10, set. 2017.
- MACHADO, M. S. *et al.* A promoção da Soberania e Segurança Alimentar e Nutricional por meio da estruturação da cadeia produtiva das frutas nativas e crioulas na região Centro-Oeste do Paraná. **Cadernos de Agroecologia**, Pelotas, v. 17, n. 3, p. 1-5, 2022.
- MARTINOT, J. F.; PEREIRA, H. D. S.; SILVA, S. C. P. D. Coletar ou Cultivar: as escolhas dos produtores de açai-da-mata (*Euterpe precatoria*) do Amazonas. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Brasília, DF, v. 55, n. 4, p. 751-766, 2017.

- MASSA, N. M. L. *et al.* Effects of digested jaboticaba (*Myrciaria jaboticaba* (Vell.) Berg) by-product on growth and metabolism of *Lactobacillus* and *Bifidobacterium* indicate prebiotic properties. **Lwt - Food Science and Technology**, Mysore, v. 131, p. 109766, set. 2020.
- MENEZES, E. M. S.; TORRES, A. T.; SRUR, A. U. S. Valor nutricional da polpa de açaí (*Euterpe oleracea* Mart) liofilizada. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 38, N. 2, p. 311-316, 2008.
- MENEZES FILHO, A. C. P. de *et al.* Parâmetros físico-químicos, tecnológicos, atividade antioxidante, conteúdo de fenólicos totais e carotenóides das farinhas dos frutos do jatobá-do-cerrado (*Hymenaea stigonocarpa* Mart. ex Hayne). **Multi-Science Journal**, Urutaí, v. 2, n. 1, p. 93-100, 2019.
- MEYER, B. N. *al.* Brine Shrimp: A Convenient General Bioassay for Active Plant Constituents. **Planta Medica**, Stuttgart, v. 45, n. 5, p. 31-34, 1982.
- MINEKUS, M. *et al.* A standardised static in vitro digestion method suitable for food – an international consensus. **Food and Function**, Cambridge, v. 5, n. 6, p. 1113–1124, 2014.
- MITCHELL, S. C. Nutrition and sulfur. **Advances in Food and Nutrition Research**, San Diego, v. 96, p. 123-174, 2021.
- MORENO, P. R. H. *et al.* Essential oil composition of fruit colour varieties of *Eugenia brasiliensis* Lam. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 64, n. 4, p. 428-432, 2007.
- MSAADA, K. *et al.* Effects of growing region and maturity stages on oil yield and fatty acid composition of coriander (*Coriandrum sativum* L.) fruit. **Scientia Horticulturae**, [S. l.], v. 120, n. 4, p. 525-531, 2009.
- NAÇÕES UNIDAS. **Sobre o nosso trabalho para alcançar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil**. 2022. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 10 jun. 2022.
- NASCIMENTO, L. *et al.* Characterization of Bioactive Compounds in *Eugenia brasiliensis*, Lam. (Grumixama). **Nutrition and Food Technology**, Milpitas, v. 3, n. 3, p. 1- 7, 2017. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1080880/1/NFTOA3146.pdf>. Acesso em: 07 mar. 2022.
- NEHRING, P. **Avaliação da capacidade antioxidante e compostos fenólicos em diferentes estádios de maturação da grumixama (*Eugenia Brasiliensis* Lamarck)**. 2016. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/168307/340541.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 7 mar. 2022.

NEHRING, P. *et al.* Grumixama (*Eugenia brasiliensis* Lamarck) functional phytochemicals: Effect of environmental conditions and ripening process. **Food Research International**, Ottawa, v. 157, p. 111460, jul. 2022.

NELSON, N. A photometric adaptation of Somogyi method for determination of glucose. **Journal of Biologic Chemistry**, [S. l.], v. 153, 2, p. 375-380, 1960.

NEPOMOCENO, T. A. R.; EXIME, E.; AHLERT, A. Agricultura familiar e agroecologia: estudo de caso em Diamante do Sul, Paraná, Brasil. **DELOS. Desarrollo Local Sostenible**, São José dos Pinhais, p. 1-14, 2022.

NERI-NUMA, I. A. *et al.* Evaluation of the antioxidant, antiproliferative and antimutagenic potential of araçá-boi fruit (*Eugenia stipitata* Mc Vaugh — Myrtaceae) of the Brazilian Amazon Forest. **Food Research International**, Ottawa, 50, n. 1, p. 70-76, 2013.

NIE, X. R. *et al.* Changes of phenolic compounds, antioxidant capacities, and inhibitory effects on digestive enzymes of kiwifruits (*Actinidia chinensis*) during maturation. **Journal of Food Measurement and Characterization**, [S. l.], v. 14, n. 3, p. 1765-1774, 2020.

NÚCLEO DE ESTUDOS E PESQUISAS EM ALIMENTAÇÃO. **Tabela brasileira de composição de alimentos - TACO**. 4. ed. Campinas: NEPA, 2011.

OLEDZKA, A. *et al.* Potentially Bio-Accessible Metabolites from an Extract of *Cornus mas* Fruit after Gastrointestinal Digestion In Vitro and Gut Microbiota Ex Vivo Treatment. **Nutrients**, Basel, v. 14, p. 2287, 2022.

OLIVEIRA, V. B. *et al.* Native foods from Brazilian biodiversity as a source of bioactive compounds. **Food Research International**, Ottawa, 48, n. 1, p. 170-179, 2012.

OLIVEIRA, A. L. *et al.* Isolation by pressurised fluid extraction (PFE) and identification using CPC and HPLC/ESI/MS of phenolic compounds from Brazilian cherry seeds (*Eugenia uniflora* L.). **Food Chemistry**, Barking, v. 145, p. 522-529, fev. 2014.

OLIVEIRA, I. R. N. de *et al.* Evaluation of potential interfering agents on in vitro methods for the determination of the antioxidant capacity in anthocyanin extracts. **International Journal of Food Science Technology**, [S. l.], v. 52, n. 2, p. 511-518, 2017.

PASCUAL-TERESA, S.; MORENO, D. A.; GARCÍA-VIGUERA, C. Flavanols and Anthocyanins in Cardiovascular Health: A Review of Current Evidence. **International Journal of Molecular Sciences**, Basel, v. 11, n. 4, p. 1679-1703, 2010.

PATEL, P. R.; RAO, T. V. R. Growth and Ripening in Black Plum [*Syzygium cumini*(L.) Skeels]. **International Journal of Fruit Science**, [S. l.], v. 14, n. 2, p. 147-156, 2014.

PÉREZ, M. B. *et al.* Selenium biofortification on garlic growth and other nutrients accumulation. **Horticultura Brasileira**, Vitoria da Conquista, v. 37, n. 3, p. 294-301, 2019.

PEREZ-CASSARINO, J. **A construção social de mecanismos alternativos de mercados no âmbito da rede ecovida de agroecologia**. 2012. 479 f. Tese (Doutorado em Meio Ambiente e Desenvolvimento) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

PIMENTEL, C. V. M. B.; ELIAS, M. F.; PHILIPPI, S. T. **Alimentos funcionais e compostos bioativos**. Barueri-SP: Editora Manole, 2019.

PINTO, P.; SANTOS, C. N. Worldwide (poly)phenol intake: assessment methods and identified gaps. **European Journal of Nutrition**, Darmstadt, v. 56, n. 4, p. 1393-1408, 2017.

PORRINI, M.; RISO, P. Factors influencing the bioavailability of antioxidants in foods: A critical appraisal. **Nutrition, Metabolism & Cardiovascular Diseases**, Heidelberg, v. 18, n. 10, p. 647-650, 2008.

PU, Z. *et al.* Selenium and anthocyanins share the same transcription factors R2R3MYB and bHLH in wheat. **Food Chemistry**, Barking, v. 356, p. 129699, 2021.

QUATRIN, A. *et al.* Bioaccessibility and catabolism of phenolic compounds from jaboticaba (*Myrciaria trunciflora*) fruit peel during in vitro gastrointestinal digestion and colonic fermentation. **Journal of Functional Foods**, London, v. 65, p. 103714, 2020.

QUATRIN, A. *et al.* Characterization and quantification of tannins, flavonols, anthocyanins and matrix-bound polyphenols from jaboticaba fruit peel: A comparison between *Myrciaria trunciflora* and *M. jaboticaba*. **Journal of Food Composition and Analysis**, San Diego, v. 78, p. 59-74, maio 2019.

QIN, Y. *et al.* Release of phenolics compounds from *Rubus idaeus* L. dried fruits and seeds during simulated in vitro digestion and their bio-activities. **Journal of Functional Foods**, London, v. 46, p. 47-65, 2018.

RAPHAELLI., C. O. Biological activity and chemical composition of fruits, seeds and leaves of guabirobeira (*Campomanesia xanthocarpa* O. Berg – Myrtaceae): A review. **Food Bioscience**, Amsterdam, v. 40, p. 100899, 2021.

RE, R. *et al.* Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. **Free Radical Biology and Medicine**, New York, v. 26, n. 9-10, p. 1231-1237, 1999.

REIN, M. J. *et al.* Bioavailability of bioactive food compounds: a challenging journey to bioefficacy. **British Journal of Clinical Pharmacology**, London, v. 75, n. 3, p. 588-602, 2013.

RESERVA DA BIOSFERA DA MATA ATLÂNTICA. **Anuário Mata Atlântica**. São Paulo: Conselho Nacional da Reserva da Biosfera da Mata Atlântica, 2020.

REYNERTSON, K. A. *et al.* Quantitative analysis of antiradical phenolic constituents from fourteen edible Myrtaceae fruits. **Food Chemistry**, Barking, v. 109, n. 4, p. 883-890, 2008.

RIBEIRO, P. F. A. *et al.* Teor de vitamina C,  $\beta$ -caroteno e minerais em camu-camu cultivado em diferentes ambientes. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 46, n. 3, p.5 67-572, mar. 2016.

ROCCHETTI, G. *et al.* Bioaccessibility of phenolic compounds following in vitro large intestine fermentation of nuts for human consumption. **Food Chemistry**, Barking, v. 245, p. 633-640, 2018.

RODRIGUES, L. M. *et al.* Uvaia (*Eugenia pyriformis* Cambess) residue as a source of antioxidants: An approach to ecofriendly extraction. **Lwt - Food Science and Technology**, Mysore, v. 138, p. 110785, mar. 2021.

ROSA J. R. da. *et al.* Microencapsulation of anthocyanin compounds extracted from blueberry (*Vaccinium* spp.) by spray drying: Characterization, stability and simulated gastrointestinal conditions. **Food Hydrocolloids**, [S. l.], v. 89, p. 742-748, 2019.

RÓŻYŁO, R. Recent trends in methods used to obtain natural food colorants by freeze-drying, **Trends in Food Science & Technology**, Cambridge, v. 102, p. 39-50, 2020.

SAINT-HILAIRE, A. D. *et al.* **Flora Brasiliae meridionalis**. Paris: Apud A. Belin, 1829.

SANCHEZ-ZAPATA, E. Z. *et al.* Preparation of Dietary Fiber Powder from Tiger Nut (*Cyperus esculentus*) Milk ("Horchata") Byproducts and Its Physicochemical Properties. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 57, p. 7719–7725, 2009.

SARDI, J. D. C. O. *et al.* Unexplored endemic fruit species from Brazil: Antibiofilm properties, insights into mode of action, and systemic toxicity of four *Eugenia* spp. **Microbial Pathogenesis**, London, v. 105, p. 280-287, 2017.

SCHULZ, M. *et al.* Composition and potential health effects of dark-colored underutilized Brazilian fruits – A review. **Food Research International**, Ottawa, 137, p. 109744, 2020.

SERAGLIO, S. K. T. *et al.* Nutritional and bioactive potential of Myrtaceae fruits during ripening. **Food Chemistry**, Barking, v. 239, p. 649-656, 2018.

SIEBERT, D. A. *et al.* Determination of phenolic profile by HPLC-ESI-MS/MS and anti-inflammatory activity of crude hydroalcoholic extract and ethyl acetate fraction

from leaves of *Eugenia brasiliensis*. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, Curitiba, v. 27, n. 4, p. 459-465, 2017.

SILVA, A. A.; BARBOSA JUNIOR, J. L. B.; BARBOSA, M. I. M. J. Farinha de banana verde como ingrediente funcional em produtos alimentícios. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 45, n. 12, p. 2252-2258, dez. 2015.

SILVA, A. da. *et al.* Phenolic compounds and carotenoids from four fruits native from the Brazilian Atlantic Forest. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 62, n. 22, p. 5072–5084, 2014.

SILVA, R. O. da. **Frutas nativas, domesticação de plantas e agroecologia: uma outra relação com a sociobiodiversidade**. 2018. 218 f. Dissertação. (Mestrado em Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável) - Universidade Federal da Fronteira Sul, Laranjeiras do Sul, 2018.

SILVA, A. D. *et al.* In vitro Bioaccessibility of Proteins, Phenolics, Flavonoids and Antioxidant Activity of *Amaranthus viridis*. **Plant Foods for Human Nutrition**, Dordrecht, v. 76, n. 4, p. 478-486, 2021.

SINGLETON, V. L.; ROSSI, J. A. Colorimetry of Total Phenolics with Phosphomolybdic-Prosphotungstic Acid Reagents. **American Journal Enology and Viticulture**, v. 16, p. 144-158, 1965.

SMITH, J. L.; GROFF, J. L.; GROPPER, S. A. S. **Nutrição avançada e metabolismo humano**. São Paulo, SP: Cengage Learning, 2012.

SOS MATA ATLÂNTICA. **A Floresta**. São Paulo: Fundação SOS Pro-Mata Atlântica, 2021. Disponível em: <https://www.sosma.org.br/conheca/mata-atlantica/>. Acesso em: 7 mar. 2022.

SOUZA, A. G. *et al.* Caracterização físico-química de frutos nativos da região sul do Brasil. **Evidência**, Joaçaba, v. 18, n. 1, p. 81-94, 2018.

SOUZA FILHO, C. F. M. *et al.* (org.). **Agroecologia, biodiversidade e soberania alimentar**. Curitiba: CEPEDIS, 2021.

STAFUSSA, A. P. *et al.* Bioactivity and bioaccessibility of phenolic compounds from exotic and native Brazilian fruit purees. **Future Foods**, [S. l.], p. 100066, 2021.

SUCUPIRA, N. R. *et al.* Métodos para determinação da atividade antioxidante de frutos. **UNOPAR Científica Ciências Biológicas e da Saúde**, Londrina, v. 14, n. 4, p. 263-269, 2012.

SUGUINO, E. *et al.* Efeito da porosidade do substrato casca de pínus no desenvolvimento de uvas de grumixameira. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 33, n. 1, p. 643-648, 2011. Edição especial.

- SUZAUDDULA, M. D. *et al.* Incorporation of oat flour into wheat flour noodle and evaluation of its physical, chemical and sensory attributes. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 24, p. e2020252, 2021. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/bjft/a/WczdWyd4BW9P6dch3NVQKjH/?lang=en#>. Acesso em: 15 nov. 2022.
- TEIXEIRA, L. D. L. *et al.* Identification of Ellagitannins and Flavonoids from *Eugenia brasiliensis* Lam. (Grumixama) by HPLC-ESI-MS/MS. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 63, n. 22, p. 5417-5427, 2015.
- TEIXEIRA, L. D. L.; HASSIMOTTO, N. M. A.; LAJOLO, F. M. Grumixama—*Eugenia brasiliensis* Lam. *In*: RODRIGUES, S. *et al.* **Exotic fruits**: reference guide. Cambridge: Elsevier, 2018. p. 219-224.
- TEIXEIRA, L. L. *et al.* Potential antiproliferative activity of polyphenol metabolites against human breast cancer cells and their urine excretion pattern in healthy subjects following acute intake of a polyphenol-rich juice of grumixama (*Eugenia brasiliensis* Lam.). **Food & Function**, Cambridge, v. 8, n. 6, p. 2266-2274, 2017.
- TEIXEIRA, L. L. *et al.* Human urine metabolomic signature after ingestion of polyphenol-rich juice of purple grumixama (*Eugenia brasiliensis* Lam.). **Food Research International**, Ottawa, v. 120, p. 544-552, 2019.
- THAKUR, N. *et al.* Recent updates on bioaccessibility of phytonutrients. **Trends in Food Science & Technology**, Cambridge, v. 97, p. 366-380, 2020.
- THOR, K. Calcium – nutrient and messenger. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v. 10, p. 440, 2019.
- TOSHIMA, S.; HIRANO, T.; KUNITAKE, H. Comparison of anthocyanins, polyphenols, and antioxidant capacities among raspberry, blackberry, and Japanese wild *Rubus* species. **Scientia Horticulturae**, [S. l.], v.285, p. 110204, 2021.
- VASCONCELOS, F. A. G. Combate à fome no Brasil: uma análise histórica de Vargas à Lula. **Revista de Nutrição**, Campinas, v. 18, n. 4, p. 439-457, jul./ago. 2005.
- VIDOTTO, C. *et al.* Brine shrimp lethality test as a biological model for preliminary selection of pediculicidal components from natural source. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 29, n. 1, 255-263, 2013.
- VIZZOTTO, M.; PEREIRA, M. C. Amora-preta (*Rubus* sp.): otimização do processo de extração para determinação de compostos fenólicos antioxidantes. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 33, n. 4, p. 1209-1214, 2011.
- WEEKLEY, C. M. *et al.* Selenium metabolism in cancer cells: the combined application of XAS and XFM techniques to the problem of selenium speciation in biological systems. **Nutrients**, Basel, v. 5, n. 5, p. 1734-1756, maio 2013.

- WILSON, P. G. *et al.* Myrtaceae revisited: a reassessment of infrafamilial groups. **American Journal of Botany**, Baltimore, v. 88, n. 11, p. 2013-2025, 2001.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Guideline**: potassium intake for adults and children. Geneva: WHO, 2012.
- WU, X. *et al.* Concentrations of Anthocyanins in Common Foods in the United States and Estimation of Normal Consumption. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 54, n. 11, p. 4069-4075, 2006.
- XIONG, T. *et al.* Interactions between calcium and ABA signaling pathways in the regulation of fruit ripening. **Journal of Plant Physiology**, Jena, v. 256, p. 153309, 2021.
- XU, K. *et al.* Grumixama (*Eugenia brasiliensis* Lam.) cultivated in the Cerrado has high content of bioactive compounds and great antioxidant potential. **Food Technology**, Milpitas, v. 50, n. 4, p. e20190630, 2020.
- ZHANG, B. *et al.* A review on insoluble-bound phenolics in plant-based food matrix and their contribution to human health with future perspectives. **Trends in Food Science & Technology**, Cambridge, v. 105, p. 347-362, nov. 2020.
- ZHISHEN, J.; MENGCHENG, T.; JIANMING, W. The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals. **Food Chemistry**, Barking, v. 64, n. 4, p. 555-559, 1999.
- ZITTA, E. Z. M. *et al.* Changes in the bioactive compounds and antioxidant activity in red-fleshed dragon fruit during its development. **Scientia Horticulturae**, [S. l.], v. 291, p. 110611, jan. 2022.
- ZOLA, F. G. **Atividades antioxidante e antimicrobiana de polifenóis de grumixama (*Eugenia Brasiliensis*) e pitanga (*Eugenia Uniflora*)**. 2014. Dissertação (Mestrado em Saúde e Nutrição) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2014.
- ZOLA, F. G. *et al.* Mineral and centesimal contents, antioxidant activity and antimicrobial action of phenolic compounds from *Eugenia Brasiliensis* Lam. Pulp. **Food Science and Technology**, Campinas, v. 39, n. 2, p. 378-385, 2019. Suplemento.