

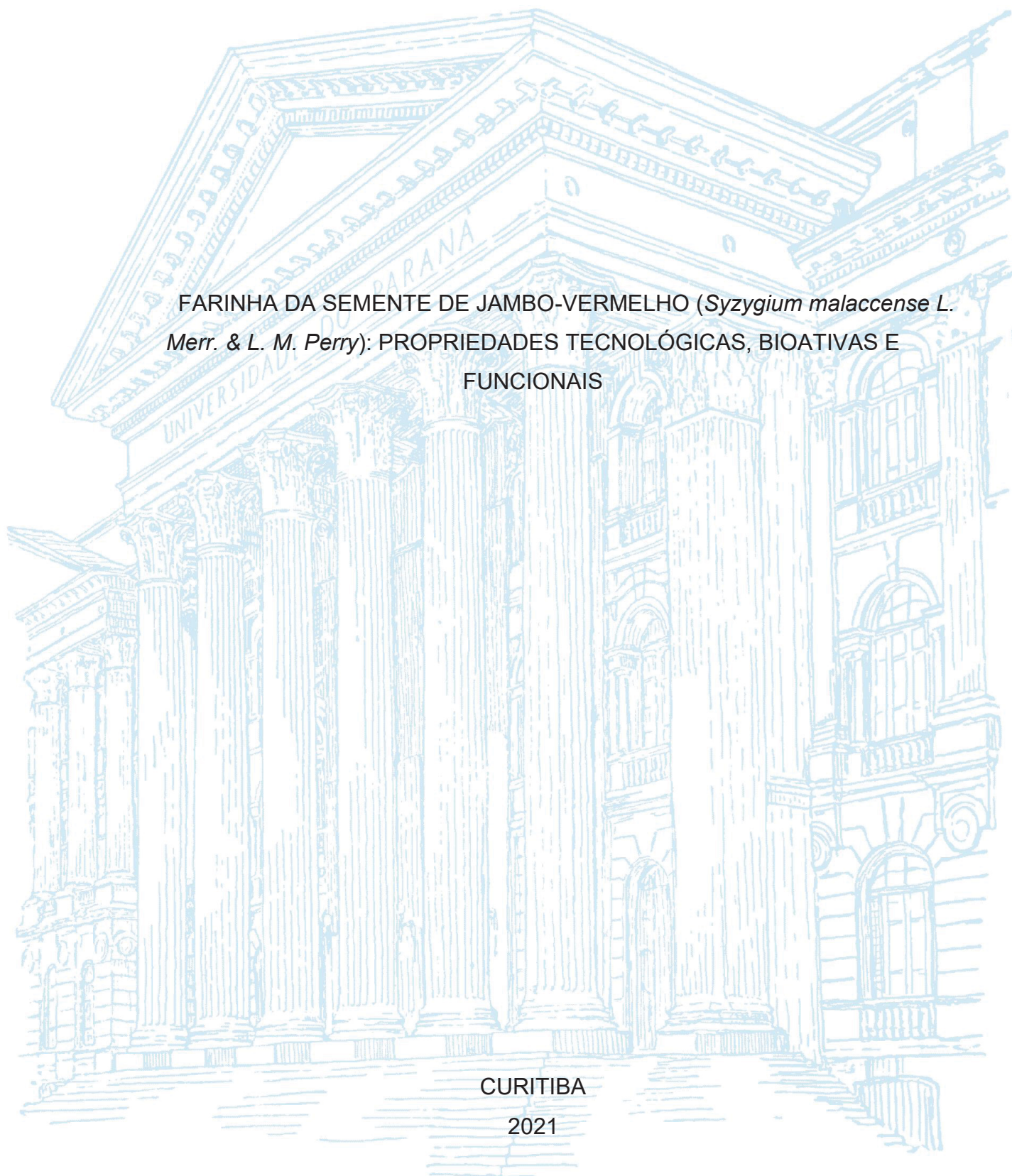
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

IGOR ARTUR ELLER PAZZINI

FARINHA DA SEMENTE DE JAMBO-VERMELHO (*Syzygium malaccense* L.
Merr. & L. M. Perry): PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS, BIOATIVAS E
FUNCIONAIS

CURITIBA

2021



IGOR ARTUR ELLER PAZZINI

FARINHA DA SEMENTE DE JAMBO-VERMELHO (*Syzygium malaccense* L.
Merr. & L. M. Perry): PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS, BIOATIVAS E
FUNCIONAIS

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos, Setor de Tecnologia, da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Alimentos.

Orientadora: Profa. Dra. Rosemary Hoffmann Ribani

CURITIBA

2021

Catálogo na Fonte: Sistema de Bibliotecas, UFPR
Biblioteca de Ciência e Tecnologia

P348f Pazzini, Igor Artur Eller
Farinha da semente de jambo-vermelho (*syzygium malaccense*):
propriedades tecnológicas, bioativas e funcionais [recurso
eletrônico] / Igor Artur Eller Pazzini – Curitiba: 2021.

Dissertação - Universidade Federal do Paraná, Setor de
Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de
Alimentos.

Orientadora: Profa. Dra. Rosemary Hoffmann Ribani

1. Frutas (Jambo-vermelho). 2. Sementes. 3. Antioxidantes. 4.
Amido. I. Universidade Federal do Paraná. II. Ribani, Rosemary
Hoffmann. III. Título

CDD.: 612.3

Bibliotecária: Roseny Rivelini Morciani - CRB-9/1585



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SETOR DE TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO ENGENHARIA DE
ALIMENTOS - 40001016019P6

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação ENGENHARIA DE ALIMENTOS da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado de **IGOR ARTUR ELLER PAZZINI** intitulada: **FARINHA DA SEMENTE DE JAMBO VERMELHO (*Syzygium malaccense* (L.) Merr. & L. M. Perry): PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS, BIOATIVAS E FUNCIONAIS**, sob orientação da Profa. Dra. ROSEMARY HOFFMANN RIBANI, que após terem inquirido o aluno e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de mestre 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, 17 de Dezembro de 2021.

Assinatura Eletrônica

22/12/2021 15:57:20.0

ROSEMARY HOFFMANN RIBANI

Presidente da Banca Examinadora

Assinatura Eletrônica

22/12/2021 15:16:51.0

AGNES DE PAULA SCHEER

Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Assinatura Eletrônica

21/12/2021 16:34:59.0

SUELEN ÁVILA

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ - PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ALIMENTAÇÃO E NUTRIÇÃO)

Francisco Heráclito dos Santos, 100 - Centro Politécnico - CURITIBA - Paraná - Brasil

CEP 81531-980 - Tel: (41) 3361-3232 - E-mail: posalim@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: 138856

Para autenticar este documento/assinatura, acesse <https://www.prppg.ufpr.br/siga/visitante/autenticacaoassinaturas.jsp> e insira o código 138856

Dedico este trabalho ao meu eu profissional. Ele que, um dia, ao olhar para trás, terá orgulho do árduo caminho trilhado. Dedico aos meus, que estiveram próximos, ou não, e que torceram, apoiaram e sentiram orgulho de mim. Dedico também a ele, que nos move e instiga com toda sua incerteza, o futuro. Estou pronto.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à vida e todas as suas infinitas possibilidades de existir, pensar, sentir e amar. É o que nos torna únicos. Também sou grato à força que a rege, seja na forma que for. Obrigado por eu estar aqui hoje.

Obrigado mais que especial aos meus pais, Marilene e Gilson, por todos os ensinamentos. Sou quem eu sou em grande parte pela educação que me foi dada por vocês. Aprendi e aprendo a ser um ser humano melhor, íntegro e justo, que é capaz de enxergar o outro. Agradeço todo o sacrifício feito por mim e meus irmãos e espero que eu possa retribuir tudo e muito mais em breve. Amo vocês.

Sou grato aos meus irmãos, Caio e Júlia, por terem sido meu norte, meu espelho. Foi bom poder ter me esforçado para poder me parecer um pouquinho com vocês, obrigado. Eu vos amo.

Ao meu avô, Aldo, e minhas tias, meu muito obrigado. Por todo o apoio sempre que precisei e pelo incentivo e torcida.

Obrigado aos meus amigos de longa data que, apesar de toda distância física, conseguiram se fazer presentes nessa jornada. Foram por muitas vezes compreensivos pela minha ausência e entenderam meu propósito. Muito obrigado mesmo.

Agradeço a minha orientadora, Rosemary, não só por todos os ensinamentos técnicos passados, mas também pelos conselhos, conversas e por sempre mostrar acreditar no meu potencial. A senhora me inspira.

Juntamente a professora, agradeço a todo o grupo Bioativos por terem me ajudado de forma muito importante nessa caminhada, não só como profissional, mas muito como pessoa. Mônica, Bruno e Anely, vocês foram mais que colegas de laboratório. Foram meus amigos e parceiros de todos os dias. Vou levá-los no meu coração. Obrigado por tudo.

Aos demais amigos que construí nessa jornada, que até então achei que seria solitária, meu muito obrigado. Renata, Carolina, Geovana, um obrigado especial a vocês por terem me dado a oportunidade de ser amigo de pessoas especiais como vocês.

Gostaria de agradecer também a todos que tornaram a execução deste trabalho viável. Obrigado ao Departamento de Nutrição e ao técnico Jair, que foi um grande parceiro nessa trajetória. Agradeço ao Departamento de Química, aos seus

professores Marco e Bruno e aos técnicos Thiago, Mayara e Grazielli. Meu obrigado às técnicas Andrea e Patrícia da Usina Piloto A, do Departamento de Engenharia Química e à técnica Francielle e toda equipe do LAMIR. Minha gratidão à professora Renata, à técnica Isabel e ao pós-doc Gerson, do PPGECAL da UFSC, pela grande ajuda fornecida.

Por fim, meu muito obrigado às professoras doutoras Agnes de Paula Scheer, Suelen Ávila, Michele Rigon Spear e Helayne Aparecida Maieves, que aceitaram meu convite para participar da minha banca de defesa.

“É capaz quem pensa que é capaz.” (Buda)

RESUMO

O jambo-vermelho é um fruto exótico de origem malaia que se adaptou ao território brasileiro. O fruto possui alta produtividade, características sensoriais únicas, é rico em nutrientes como fibras, vitaminas, minerais, dentre outros e é fonte de compostos bioativos como as antocianinas. Ainda assim, é um fruto subutilizado que não tem seu potencial agroindustrial explorado e acaba sendo considerado um resíduo. Sua semente, que pode representar cerca de 17% do fruto, também é tida como um resíduo abundante. Escassos dados da literatura com relação a caracterização da semente de jambo-vermelho motivam estudos mais aprofundados na área. Por isso, o objetivo desse trabalho foi obter a farinha da semente de jambo-vermelho e caracterizá-la no tocante as suas características físico-químicas, tecnológicas e bioativas, além de investigar a presença de amido a partir das suas características morfológicas, térmicas e reológicas. A matriz farinácea é fonte de fibras e minerais, apresenta ácidos graxos insaturados e elevada atividade antioxidante atribuída a presença de compostos fenólicos e flavonoides. A existência de amido foi confirmada na matriz, com um rendimento de 22,83 %, indicando que ela pode ser fonte de amido não convencional. Os resultados encontrados também indicam potencial utilização da farinha da semente de jambo-vermelho na indústria de alimentos como corante, espessante e antiuementante, além de ser um ingrediente com grande capacidade de melhorar as características funcionais dos alimentos.

Palavras-chave: Jambo-vermelho. Semente. Resíduo. Amido. Propriedades tecnológicas. Atividade antioxidante.

ABSTRACT

The malay apple is an exotic fruit of Malaysian origin that adapted to the Brazilian territory. The fruit has high productivity, unique sensory characteristics, is rich in nutrients such as fiber, vitamins, minerals, among others, and is a source of bioactive compounds such as anthocyanins. Still, it is an underused fruit that does not have its agro-industrial potential explored and ends up being considered a waste product. Its seed, which can represent about 17% of the fruit, is also considered an abundant waste. Scarce data in the literature regarding the characterization of the jambo-red seed motivate further studies in the area. Therefore, the objective of this work was to obtain the flour from the malay apple seed and characterize it regarding its physicochemical, technological and bioactive characteristics, besides investigating the presence of starch from its morphological, thermal and rheological characteristics. The farinaceous matrix is a source of fiber and minerals, has unsaturated fatty acids and high antioxidant activity attributed to the presence of phenolic compounds and flavonoids. The existence of starch was confirmed in the matrix, with a yield of 22.83 %, indicating that it could be a source of unconventional starch. The results found also indicate the potential use of malay apple seed flour in the food industry as a coloring agent, thickener and anti-humectant, in addition to being an ingredient with a great capacity to improve the functional characteristics of foods.

Keywords: Malay apple. Seed. Waste. Starch. Technological properties. Antioxidant activity.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – ÁRVORE DO JAMBO-VERMELHO ADULTO (a) E SUAS FLORES (b)	21
FIGURA 2 - FRUTO DO JAMBO-VERMELHO MADURO (a) E SUA SEMENTE (b)	22
FIGURA 3 - CLASSIFICAÇÃO DOS COMPOSTOS BIOATIVOS	31
FIGURA 4 - ESTRUTURA BÁSICA DOS FLAVONOIDES	34
FIGURA 5 - PRINCIPAIS FLAVONOIDES PRESENTES NOS ALIMENTOS	34
FIGURA 6 - REAÇÃO DE REDUÇÃO DO MÉTODO FOLIN-CIOCALTEU A PARTIR DO ÁCIDO GÁLICO	36
FIGURA 7 - REAÇÃO DE REDUÇÃO DO RADICAL DPPH•	40
FIGURA 8 - REAÇÃO DE SEQUESTRO DO RADICAL ABTS•+	41
FIGURA 9 - REAÇÃO DE REDUÇÃO DO FERRO	42
FIGURA 10 - ESTRUTURA QUÍMICA DA AMIOLOSE	47
FIGURA 11 - ESTRUTURA QUÍMICA DA AMILOPECTINA	49
FIGURA 12 - ESTRUTURA MORFOLÓGICA DA AMILOPECTINA	49
FIGURA 13 - ESQUEMA DA ESTRUTURA MORFOLÓGICA DO GRÂNULO DE AMIDO	51
FIGURA 14 – CROMATOGRAMA CORRESPONDENTE AO PERFIL DE ÁCIDOS GRAXOS DA FARINHA DE SEMENTE DE JAMBO-VERMELHO	74
FIGURA 15 – FTIR DA FARINHA DA SEMENTE DE JAMBO-VERMELHO	76
FIGURA 16 – FARINHA DA SEMENTE DE JAMBO-VERMELHO NO ESTÁDIO MADURO	78
FIGURA 17 – MICROGRAFIAS DA FARINHA DA SEMENTE DE JAMBO-VERMELHO: A) 110X; B) 1.000X; C) 1.000X	83
FIGURA 18 – DIFRATOGRAMA DE RAIOS X PARA A FARINHA DA SEMENTE DE JAMBO-VERMELHO	85
FIGURA 19 – CURVA TERMOGRAVIMÉTRICA (TG) E DERIVADA TERMOGRAVIMÉTRICA (DTG) DA FARINHA DE SEMENTE DO JAMBO-VERMELHO	86
FIGURA 20 – CURVA DE DSC PARA A FARINHA DE SEMENTE DE JAMBO-VERMELHO	89
FIGURA 21 - PERFIL DE PROPRIEDADE DE PASTA PARA A FARINHA DE SEMENTE DE JAMBO-VERMELHO	92

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS DA PORÇÃO COMESTÍVEL DO JAMBO-VERMELHO	25
TABELA 2 - CARACTERIZAÇÃO NUTRICIONAL DA PORÇÃO COMESTÍVEL (POLPA E PELE) DO JAMBO-VERMELHO	25
TABELA 3 – COMPOSIÇÃO CENTESIMAL E VALOR ENERGÉTICO DA FARINHA DA SEMENTE DE JAMBO-VERMELHO NO ESTÁDIO MADURO ...	69
TABELA 4 – COMPOSIÇÃO MINERAL DA FARINHA DE SEMENTE DE JAMBO-VERMELHO NO ESTÁDIO MADURO	72
TABELA 5 – GRANULOMETRIA DA FARINHA DE JAMBO-VERMELHO EM FUNÇÃO DA RETENÇÃO MÁSSICA	79
TABELA 6 – EVENTOS TÉRMICOS E SEUS RESPECTIVOS PARÂMETROS OBTIDOS A PARTIR DAS CURVAS DE TG E DTG	87

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
2 OBJETIVOS	19
2.1 OBJETIVO GERAL	19
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
3 REVISÃO DE LITERATURA	20
3.1 JAMBO-VERMELHO (<i>SYZYGium MALACCENSE</i> (L.) MERR. & L. M. PERRY) 20	
3.1.1 Características gerais	20
3.1.2 Características físico-químicas e composição nutricional do fruto do jambo- vermelho.....	24
3.2 COMPOSTOS BIOATIVOS	28
3.2.1 Compostos Fenólicos	32
3.2.2 Atividade Antioxidante	36
3.2.2.1 Metodologias para determinação da atividade antioxidante total	38
3.2.3 Compostos bioativos e atividade antioxidante do <i>S. malaccense</i>	42
3.3 AMIDO.....	45
3.3.1 Amilose.....	47
3.3.2 Amilopectina.....	48
3.3.3 Propriedades do amido	50
3.3.3.1 Propriedades Morfológicas	50
3.3.3.2 Propriedades Térmicas.....	52
3.3.3.3 Propriedades de Pasta	53
3.4 FARINHAS NÃO CONVENCIONAIS	54
4 MATERIAL E MÉTODOS	56
4.1 OBTENÇÃO DAS SEMENTES E PREPARO DA FARINHA.....	56
4.1.1 Rendimento da Farinha	56
4.2 PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS	57
4.2.1 Composição Centesimal e Valor Energético	57
4.2.2 Determinação de Amido	57
4.2.3 Composição Mineral.....	57
4.2.4 Composição de Ácidos Graxos	58
4.2.5 Espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FTIR).....	59

4.3 PROPRIEDADES FÍSICAS E TECNOLÓGICAS	60
4.3.1 Colorimetria	60
4.3.2 Granulometria (tamanho das partículas)	60
4.3.3 Densidade Aparente	61
4.3.4 Higroscopicidade	61
4.3.5 Solubilidade	61
4.3.6 Molhabilidade	62
4.4 PROPRIEDADES MORFOLÓGICAS: MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV).....	62
4.5 PROPRIEDADES ESTRUTURAIS: DIFRAÇÃO DE RAIOS-X (DRX).....	62
4.6 PROPRIEDADES TÉRMICAS	63
4.6.1 Análise Termogravimétrica (TGA) e Termogravimetria derivada (DTG).....	63
4.6.2 Calorimetria de Varredura Diferencial (DSC)	63
4.7 PROPRIEDADES DE PASTA: RAPID VISCO ANALYZER (RVA).....	64
4.8 ATIVIDADE ANTIOXIDANTE	65
4.8.1 Obtenção do Extrato.....	65
4.8.2 Capacidade de eliminação do radical DPPH.....	65
4.8.3 Poder antioxidante redutor férrico (FRAP)	65
4.8.4 Cátion radical ABTS	66
4.8.5 Compostos Fenólicos Totais e Flavonoides Totais	66
4.9 DETECÇÃO DE GLICOSÍDEOS CIANOGENÍCOS	67
4.10 EXTRAÇÃO ÁCIDA DE AMIDO	67
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	69
5.1 RENDIMENTO DA FARINHA.....	69
5.2 PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS	69
5.2.1 Composição Centesimal e Valor Energético	69
5.2.2 Determinação de Amido	72
5.2.3 Composição Mineral.....	72
5.2.4 Composição de Ácidos Graxos	74
5.2.5 Espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FTIR).....	75
5.3 PROPRIEDADES FÍSICAS E TECNOLÓGICAS	77
5.3.1 Colorimetria	77
5.3.2 Granulometria (tamanho das partículas)	78
5.3.3 Densidade Aparente.....	79

5.3.4 Higroscopicidade.....	80
5.3.5 Solubilidade.....	80
5.3.6 Molhabilidade.....	81
5.4 PROPRIEDADES MORFOLÓGICAS: MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV).....	82
5.5 PROPRIEDADES ESTRUTURAIS: DIFRAÇÃO DE RAIOS-X (DRX).....	84
5.6 PROPRIEDADES TÉRMICAS.....	86
5.6.1 Análise Termogravimétrica (TGA) e Termogravimetria derivada (DTG).....	86
5.6.2 Calorimetria de Varredura Diferencial (DSC).....	89
5.7 PROPRIEDADES DE PASTA: <i>RAPID VISCO ANALYZER</i> (RVA).....	91
5.8 ATIVIDADE ANTIOXIDANTE, COMPOSTOS FENÓLICOS TOTAIS E FLAVONOIDES TOTAIS.....	93
5.9 DETECÇÃO DE GLICOSÍDEOS CIANOGENÍCOS.....	96
5.10 EXTRAÇÃO ÁCIDA DE AMIDO.....	96
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	97
REFERÊNCIAS.....	99

1 INTRODUÇÃO

O Brasil se encontra entre os três maiores produtores de frutas do mundo, atrás apenas da Índia e da China, com uma produção de pouco mais de 40 milhões de toneladas em 2018 (ANDRADE, 2020). O país detém uma grande variedade de espécies frutíferas, sejam elas nativas ou exóticas. Entretanto, a fruticultura brasileira volta seus investimentos para as espécies mais comumente consumidas no país, ou exportadas para outros países, e acaba negligenciando uma ampla parcela de frutas com alto potencial agroindustrial (ALBUQUERQUE; SILVA, 2008; LAGO; MAIA; MATTA, 2016; SEBRAE, 2015) .

O *Syzygium malaccense* (L.) Merr. & L. M. Perry, popularmente conhecido como jambo-vermelho, é um fruto exótico oriundo da Malásia, que se adaptou muito bem ao território brasileiro (ALMEIDA, 2011; LIM, 2012; MORTON, 1987). Apesar do seu grande potencial tecnológico a ser aproveitado, dada a alta produtividade frutífera, características sensoriais exóticas do fruto, alto rendimento em polpa, baixo pH, ótimo potencial nutricional (fonte de fibras, açúcares redutores, presença de minerais e vitaminas) e elevada quantidade de compostos bioativos, o jambo-vermelho é um fruto subutilizado (ALMEIDA, 2011; AUGUSTA *et al.*, 2010; BATISTA *et al.*, 2017; CAVALCANTE, 1974; FALCÃO *et al.*, 2002; MORTON, 1987; NUNES *et al.*, 2016). É mais comum que o fruto apresente uma única semente arredondada e de textura carnuda, cujo rendimento a partir da fruta *in natura* varia, podendo chegar a 17% (ALMEIDA, 2011; MORTON, 1987). Ainda que o jambo-vermelho fosse utilizado como matéria-prima pela indústria, a semente seria caracterizada como um coproduto abundante.

A constante busca por alimentos mais naturais pode ser justificada pelo papel benéfico exercido através das suas diversas substâncias constituintes. Dentro dessas substâncias estão os conhecidos compostos bioativos, que são componentes extra nutricionais presentes em pequenas quantidades nos alimentos, principalmente os de origem vegetal. Quando ingeridos em quantidades significativas na dieta, os compostos bioativos atuam sinergicamente no exercício de diversos benefícios à saúde humana. Grande parte dos efeitos benéficos, como por exemplo a prevenção de doenças crônicas não transmissíveis, é obtida em detrimento da elevada atividade antioxidante desses fitoquímicos (HORST; CRUZ; LAJOLO, 2016; LIU, 2003; TEODORO, 2019)

Os estudos realizados com foco nos compostos bioativos encontrados nas diferentes partes do fruto do *S. malaccense* ainda são escassos (BATISTA *et al.*, 2017). Com maiores dados na literatura, a porção comestível (pele e polpa) possui o perfil fenólico determinado, apresentando alto teor de compostos fenólicos totais, porém sem muito destaque para o perfil de carotenoides. Quanto à semente, existem raros estudos a respeito da sua determinação bioativa. Ainda assim é uma matriz que apresenta elevados conteúdos de compostos fenólicos totais e contém carotenoides, todavia sem maiores especificações. Tanto a polpa quanto as sementes detêm elevada capacidade antioxidante em virtude da presença dos compostos bioativos citados (BATISTA *et al.*, 2017; GIBBERT, 2017; NUNES *et al.*, 2016).

O amido é um homopolímero formado por ligações glicosídicas entre monômeros de α -D-glicopiranosil. Ele se consagra como um dos mais importantes polissacarídeos existentes na natureza, sendo fundamental como reserva energética não somente para as plantas, mas também para o homem. Além disso, o amido é indispensável para a indústria de alimentos, pois é considerado uma matéria-prima abundante, barata e capaz de promover diferentes propriedades tecnológicas aos alimentos. Diversas são as fontes de obtenção de amido conhecidas, como milho, trigo, arroz, batata e mandioca, entretanto existem matrizes vegetais que podem ser fontes não convencionais de amido, o que pode ser interessante tendo em vista as características tecnológicas diferenciadas intrínsecas a esses amidos não convencionais (ADITIVOS & INGREDIENTES, 2013; BeMILLER; HUBER, 2010; LIU, 2005).

A preocupação com a gestão de resíduos oriundos de cadeias produtivas de alimentos é cada vez maior, tendo em vista a significativa taxa de desperdício gerada nos dias de hoje. Sendo assim, o aproveitamento de matrizes alimentares não convencionais na forma de farinhas, como cascas e sementes, objetivando sua incorporação indústria de alimentos, está crescendo. Isso só é possível, pois a ciência vem elucidando o grande potencial nutricional, tecnológico e bioativo dessas farinhas não convencionais. Dessa forma o mercado acaba tendo uma maior diversidade de alimentos saudáveis e a sustentabilidade pode ser alcançada (RAMOS *et al.*, 2020).

Diante da ampla geração de frutos de jambo-vermelho e suas sementes como resíduos, do alto rendimento mássico dessas sementes, da ausência de uma

caracterização completa dessa matriz e da existência de poucos dados na literatura a respeito do seu potencial bioativo. O objetivo do presente trabalho é investigar as propriedades físico-químicas, tecnológicas, bioativas, funcionais, morfológicas, térmicas e reológicas intrínsecas à farinha da semente de jambo-vermelho, além explorar a presença de amido em sua composição.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Caracterização da farinha obtida a partir da semente de jambo-vermelho no estágio maduro tanto em relação às suas propriedades tecnológicas, funcionais e bioativas quanto a presença de amido em sua composição.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Obter a farinha da semente de jambo-vermelho no estágio maduro;
- Caracterizar a farinha no tocante a sua composição química centesimal, estrutura molecular e características tecnológicas;
- Investigar a presença de amido na farinha a partir da sua estrutura morfológica, comportamento reológico e térmico;
- Avaliar o teor de compostos fenólicos e flavonoides presentes na farinha;
- Determinar a atividade antioxidante *in vitro* da matriz farinácea;
- Explorar e identificar o potencial de aplicação para a farinha de semente de jambo-vermelho considerando as suas características estudadas.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 JAMBO-VERMELHO (*SYZYGIUM MALACCENSE* (L.) MERR. & L. M. PERRY)

3.1.1 Características gerais

O jambo-vermelho, cuja espécie é o *Syzygium malaccense* (L.) Merr. & L. M. Perry (sinonímia: *Eugenia malaccensis* L.), é um fruto endêmico do Sudeste Asiático, com origem na península da Malásia. Ele se adapta em climas tropicais e subtropicais, o que justifica sua disseminação para as regiões quentes e úmidas dos trópicos, como é o caso do Brasil. Trazida durante a colonização portuguesa, a espécie pertencente à família das mirtáceas se adaptou muito bem em quase todo território, mas mesmo sendo bastante difundida no país, ela é classificada como exótica, visto que não é nativa da flora brasileira (ALMEIDA, 2011; AUGUSTA, 2011; GIBBERT *et al.*, 2017; LIM, 2012; MORTON, 1987). Além do Brasil, o jambo-vermelho é cultivado e apreciado na Tailândia, Índia, Filipinas, Costa Rica, Jamaica, Estados Unidos, dentre outros países. Por essa razão possui diversos nomes além de jambo-vermelho (ou *red jambo*), como pomerac, montain apple, jambu bol e manzana (LIM, 2012; MORTON, 1987).

A árvore do jambo-vermelho (FIGURA 1a) apresenta um tronco reto e uma copa densa de forma piramidal cônica e alongada, que somados conferem à árvore cerca de 12 a 18 m de altura. Seu cultivo é dado principalmente pelo caráter ornamental, garantido tanto pela sombra projetada a partir das grandes e oblongas folhas verde brilhantes, quanto pela beleza e aroma das suas perfumadas flores róseas (FIGURA 1b) – ou raramente brancas – que nascem no tronco e formam um lindo tapete purpúreo ao caírem ao chão (FIGURA 1a). Mas não só pela estética, a árvore também é cultivada pela produção dos seus frutos (CAVALCANTE, 1974; MORTON, 1987; WHISTLER; Elevitch, 2006). Produção essa que pode variar de 20 a 80 kg durante cada período produtivo (FERNANDES; RODRIGUES, 2018), o que pode corresponder a uma média de 840 ± 280 frutos por árvore, segundo a análise de uma safra realizada por Falcão *et al.* (2002). A elevada produtividade e o desuso desta fruta na indústria de alimentos acabam contribuindo para a geração de grandes desperdícios.

FIGURA 1 – ÁRVORE DO JAMBO-VERMELHO ADULTO (a) E SUAS FLORES (b)



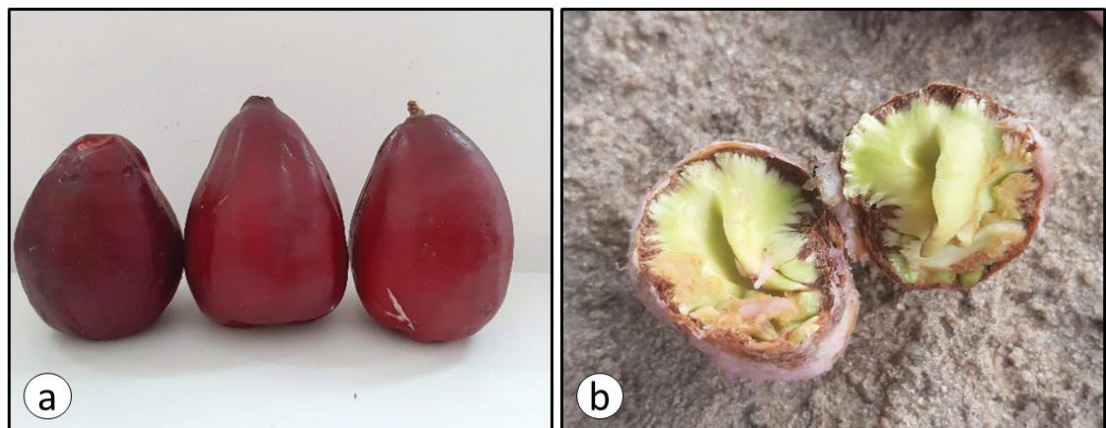
FONTE: Autor (2020).

A sazonalidade da produção do *S. malaccense* não é muito precisa, pois o período de safra varia conforme o ano e a localidade, podendo ser diferente inclusive em uma mesma região (WHISTLER; ELEVITCH, 2006). Por exemplo, Morton (1987) indica que na Indonésia a árvore floresce entre maio e junho e tem seus frutos maduros em agosto e setembro. Já na Índia existe uma safra principal entre os meses de maio a julho e outra menor em novembro e dezembro, enquanto em Porto Rico pode haver até três colheitas por ano. Segundo o autor, o período de colheita dos frutos maduros ocorre dois meses após total abertura das flores. No Brasil, mais precisamente em Manaus-AM, Falcão *et al.* (2002) comprovaram dois períodos de floração com duração de sete a quinze dias, um em março e outro entre julho e agosto, com maturação dos frutos ocorrendo um mês após a floração máxima e durando cerca de quinze dias. Quando maduros, os frutos devem ser colhidos o quanto antes e de forma manual, dada sua fragilidade. (BENKEBLIA; EMANUEL, 2013; FERNANDES; RODRIGUES, 2018).

O fruto do jambo-vermelho é uma drupa piriforme com formato de sino, semelhante a uma pera (FIGURA 2a). É carnoso e indeiscente, com um epicarpo fino e brilhoso, de cor variando do vermelho escuro ao arroxeado, a depender do

estádio de maturação. Porém existem raros relatos da existência de cultivares com o epicarpo rajado ou mesmo totalmente branco. O mesocarpo e o endocarpo constituem a polpa, que é branca, ácida e ao mesmo tempo crocante e succulenta. São marcas registradas da fruta o sabor leve, refrescante e adocicado e o aroma complexo semelhante ao de rosas, sendo este uma consequência da interação entre diversos compostos voláteis presentes no jambo-vermelho (BATISTA *et al.*, 2017; COSTA *et al.*, 2006; FRAUCHES *et al.*, 2016; KOTEPONG *et al.*, 2019; MORTON, 1987; WHISTLER; ELEVITCH, 2006).

FIGURA 2 - FRUTO DO JAMBO-VERMELHO MADURO (a) E SUA SEMENTE (b)



FONTE: Autor (2020).

Um total de 133 substâncias diferentes, que somadas podem variar de 0,2 a 1,1 mg.100 g⁻¹ de polpa fresca, já foram identificadas na porção comestível do fruto, como ácidos graxos, aldeídos, cetonas, terpenos, álcoois e ésteres. Os principais responsáveis pelo seu *flavor* exótico, como supracitado, são o 2-feniletanol e seus ésteres (acetato de 2-feniletil, isopentanoato 2-feniletil, benzoato 2-feniletil e fenilacetato 2-feniletil), bem como o (1-octen-3-ol). Outros exemplos de compostos encontrados em maior quantidade no fruto são: etanol, hexanal e derivados, 1-propanol, (Z)-Hex-3-en-1-ol, ácido n-hexadecanoico, ácido 9-octadecenoico, dentre outros (ISMAIL; ISMAIL; LAJIS, 2010; PINO *et al.*, 2004; WONG; LAI, 1996).

É mais comum que o fruto do jambo-vermelho apresente uma única semente arredondada (FIGURA 2b), mas podem existir frutos com duas sementes hemisféricas, ou ainda que não contenham semente (MORTON, 1987). Ela por sua

vez pode ser classificada como bitegumentada, eurispérmica, exalbuminosa e de coloração castanha escura no exterior. Internamente, seus embriões são esverdeados, invaginados, globosos-plicados e com dois cotilédones grandes de textura carnosa (FIGURA 2b) (MELO *et al.*, 2009; NACATA; ANDRADE, 2020).

É através da semente que se dá a germinação, forma sexuada de propagação da espécie, na qual duas ou mais plantas podem ser originadas da mesma semente, visto que a espécie apresenta o fenômeno da poliembrionia. Entretanto, quanto menor seu tamanho pior será o desempenho germinativo e o vigor dessa(s) planta(s) (ALMEIDA, 2011; COSTA *et al.*, 2006). Visando antecipar o período produtivo da árvore, utiliza-se outro método de propagação, denominado vegetativo, que é dado por estaquia herbácea (ALMEIDA *et al.*, 2010). Ambas as formas de propagação podem se dar em uma ampla variedade de solos diferentes, com exceção dos alcalinos e salinos, como apontado por Lim (2012).

Embora apresente características exóticas e seja apreciado por isso, o jambo-vermelho é uma fruta subutilizada, cujo potencial produtivo não é aproveitado pela indústria devido à falta de conhecimento sobre sua viabilidade tecnológica. Além disso, fatores como a baixa demanda do seu consumo, que é dado majoritariamente de forma *in natura* e acaba por não suprir a alta produção, e a sua elevada perecibilidade, acarretam um grande desperdício dos frutos durante a época de safra, o que justifica a importância de propor aplicações deste fruto na indústria de alimentos. Por ser não-climatérico, o jambo-vermelho possui uma vida de prateleira de poucos dias, variando de 4 a 6 dias em condições ambientes, porém seu armazenamento sob refrigeração (5°C), com pouca iluminação e com uso de embalagem aumenta seu *shelf life* para até 25 dias (BASANTA, 2008; BATISTA *et al.*, 2017; CARDOSO, 1994; CAVALCANTE, 1974; SANKAT; BASANTA; MAHARAJ, 2000).

Como consequência da subutilização da espécie, as plantações comerciais e as atividades de importação e exportação do fruto não são comuns, tornando a presença da árvore mais comum em pomares e jardins, ainda que na Índia ocorra o cultivo comercial da planta (ALMEIDA, 2011; MORTON, 1987; NUNES, 2015; NIGAM *et al.*, 2012; WHISTLER; ELEVITCH, 2006). Consequentemente não existem dados documentados a respeito da produção mundial, ou mesmo regional, do fruto do jambo-vermelho (FERNANDES; RODRIGUES, 2018). Ryadin *et al.* (2014) elencam alguns fatores que justificam a dificuldade do plantio comercial dessa

espécie ao redor do mundo, sendo eles: longo período juvenil das árvores, ausência de sementes em alguns cultivares, rápida perda da viabilidade das sementes existentes e elevada altura da árvore, o que dificulta o controle de qualidade dos frutos maduros a serem colhidos.

Sendo assim, a comercialização do jambo-vermelho é limitada aos mercados locais das regiões produtoras, visando atender a demanda de consumo *in natura*, porém o fruto pode ser consumido de maneiras alternativas. Quando maduro, pode ser cozido, com ou sem casca, e servido como sobremesa. Produtos artesanais também utilizam o jambo-vermelho como matéria-prima, como é o caso de geleias, conservas enlatadas ou cristalizadas, molhos, picles, sorvetes, fermentados e compotas. Porém não é só o fruto que possui utilidade alimentar, visto que as flores, folhas jovens e brotos podem ser consumidos em saladas, por exemplo (MORTON, 1987; SANKAT; BASANTA; MAHARAJ, 2000).

3.1.2 Características físico-químicas e composição nutricional do fruto do jambo-vermelho

A composição nutricional e as características físico-químicas da porção comestível das frutas carnosas, como é o caso do jambo-vermelho, variam consideravelmente, segundo Biale (1964). Nunes (2015) e Nunes *et al.* (2016) comprovaram diferenças na caracterização do fruto do *Syzygium malaccense* obtido em diferentes localidades, indicando que elas podem existir devido às variações genéticas intrínsecas à espécie, diferentes condições ambientais de clima e solo, ou mesmo o manejo no cultivo e na pós-colheita (FRAUCHES *et al.*, 2016; KUSWANDI; ANDINI; HADIATI, 2019).

Diante disso, as TABELAS 1 e 2 trazem um compilado de informações de diferentes autores a respeito das principais características físicas, químicas e nutricionais do jambo-vermelho, facilitando a obtenção de uma visão global a respeito das particularidades da fruta.

TABELA 1 - PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS DA PORÇÃO COMESTÍVEL DO JAMBO-VERMELHO

Parâmetros físico-químicos	Nunes et al. ^a (2016)	Batista et al. ^a (2017)	Almeida ^a (2011)	Augusta et al. ^a (2010)
Comprimento (cm)	5,91	ND	5,75 – 7,52	5,44 ± 0,58
Largura (cm)	4,87	ND	3,38 – 5,95	4,40 ± 0,41
Massa (g)	62,21	75,86 ± 16,26	73,22	39,16 ± 1,30
Rendimento em porção comestível ^b (%)	81,44	64,58 ± 20,85	81,18 ± 3,17	87,26
pH	3,79	3,72 ± 0,01	3,16	ND
Acidez titulável (% ác. cítrico)	ND	0,628 ± 0,01	0,540 ± 0,06	ND
Sólidos solúveis	5,74 °Brix	4,67 ± 0,2 %	9,51 ± 0,18 °Brix	ND

NOTA: ND = não determinado; a: amostra fresca; b: incluindo pele

FONTE: Nunes et al. (2016); Batista et al. (2017); Almeida (2011) e Augusta et al. (2010).

TABELA 2 - CARACTERIZAÇÃO NUTRICIONAL DA PORÇÃO COMESTÍVEL (POLPA E PELE) DO JAMBO-VERMELHO

Parâmetros		Morton ^b (1987)	Batista et al. ^{ab} (2017)	Almeida ^b (2011)	NEPA ^b (2011)
Composição centesimal	Valor calórico (kcal)	ND	ND	116,57	27,0
	Umidade (%)	90,3 – 90,6	93,09 ± 0,24	91,6 ± 1,26	92,1
Valor calórico	Proteínas (g)	0,5 – 0,7	0,45 ± 0,01	0,73 ± 0,06	0,9
	Lipídeos totais (g)	0,1 – 0,2	0,20 ± 0,01	0,09 ± 0,03	0,1
	Carboidratos totais (g)	ND	6,19 ± 0,51	28,21	6,5
	Fibras alimentares totais (g)	0,6 – 0,8	1,54 ± 0,02	3,9 ± 0,06	5,1
	Fibras solúveis (g)	ND	0,25 ± 0,01	ND	ND
	Fibras insolúveis (g)	ND	1,28 ± 0,03	ND	ND
	Açúcares totais (g)	ND	ND	7,1 ± 0,18	ND
	Açúcares redutores (g)	ND	2,25 ± 0,04	4,3 ± 0,09	ND
	Açúcares não redutores (g)	ND	ND	2,8 ± 0,03	ND
	Cinzas (g)	0,26 – 0,39	0,31 ± 0,01	0,36 ± 0,12	0,5
Macrominerais	Cálcio (mg)	5,6 – 5,9	ND	7,0 ± 0,12	14,0
	Fósforo (mg)	11,6 – 17,9	ND	38 ± 0,08	18,0
	Potássio (mg)	ND	ND	114,0 ± 1,11	135,0
	Sódio (mg)	ND	ND	6,0 ± 0,08	22,0
	Magnésio (mg)	ND	ND	14,0 ± 0,56	14,0
Microminerais	Enxofre (mg)	ND	ND	7,0 ± 0,45	ND
	Ferro (mg)	0,2 – 0,82	ND	0,02 ± 0,00	0,1
	Zinco (mg)	ND	ND	1,45 ± 0,02	0,1
	Cobre (mg)	ND	ND	0,20 ± 0,01	0,02
	Manganês (mg)	ND	ND	1,46 ± 0,09	0,05

NOTA: ND = não determinado; a: expresso como peso úmido da amostra; b: amostra fresca.

FONTE: Morton (1987); Batista et al. (2017); Almeida (2011) e NEPA (2011)

Devido ao seu formato oblongo (FIGURA 2a), o jambo-vermelho é considerado atraente aos olhos dos consumidores (AUGUSTA et al., 2010). Outro parâmetro que influencia positivamente essa percepção é o tamanho da fruta, onde

os frutos de maiores tamanhos e massas são preferidos na hora da escolha (ALMEIDA, 2011). Por ser uma característica bastante variável, alguns autores encontraram valores de massa do fruto inteiro fora da faixa determinada na TABELA 1, como é o caso de Gibbert (2017), que determinou uma massa média equivalente a 94,26 g.

Conseqüentemente os rendimentos mássicos das diferentes partes do fruto também variam consideravelmente. Por exemplo, Augusta *et al.* (2010) determinaram o rendimento da polpa, semente e pele iguais a 75,69%, 13,74% e 10,57%, respectivamente. Enquanto isso, Nunes *et al.* (2016) obtiveram os respectivos valores de 64,17%, 18,56% e 17,27%. Entretanto o elevado rendimento em porção comestível (polpa e pele), ilustrado na TABELA 1, é unânime em todos os estudos, indicando assim que o jambo-vermelho apresenta um excelente potencial para aproveitamento industrial (ALMEIDA, 2011).

De densidade variando de $0,87 \text{ g.cm}^{-3}$ (CARDOSO, 1994) a $0,98 \text{ g.cm}^{-3}$ (GIBBERT, 2017), o jambo-vermelho chama atenção pelo elevado teor de acidez (TABELA 1), o que favorece o seu processamento e a conservação de produtos derivados (ALMEIDA, 2011; SANTOS *et al.*, 2016). Já os sólidos solúveis não são muito representativos. A relação entre a acidez titulável e o conteúdo de sólidos é conhecido como *ratio* e indica o grau de maturação dos frutos, estando diretamente relacionado com uma maior doçura deles (CASTRO *et al.*, 2015). No caso do jambo-vermelho, o *ratio* varia entre 7,3 (BATISTA *et al.*, 2017) e 8,1 (CARDOSO, 1994), indicando um potencial sabor característico a ser explorado.

Outra característica já determinada foi a quantidade de pectina presente no fruto (0,76 % de ácido péctico) (CARDOSO, 1994). Além disso a polpa apresenta calor específico (C_p) entre $4,07$ e $4,17 \text{ kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$, e difusividade térmica (α) entre $2,1 \times 10^{-7}$ a $3,3 \times 10^{-7} \text{ m}^2.\text{s}^{-1}$, sendo essas duas propriedades influenciadas positivamente pelo elevado teor de água do fruto (FONTAN *et al.*, 2018).

Dada a grande quantidade de água presente em sua porção comestível (polpa e pele) (TABELA 2), sendo a maior parte desta oriunda da polpa, o jambo-vermelho se enquadra na classe dos frutos carnosos e suculentos. A elevada umidade atrelada a sua fina pele justifica a curta vida de prateleira do fruto, pois torna-o mais suscetível às injúrias mecânicas e ação dos microrganismos (ALMEIDA, 2011; AUGUSTA *et al.*, 2010; FONTAN *et al.*, 2018). Devido sua alta

perecibilidade, é importante estudar alternativas de preservação e/ou processamento deste fruto na indústria de alimentos.

Os conteúdos de fibras alimentares totais chamam atenção na TABELA 2, porém Maisuthisakul *et al.* (2008) determinaram para o jambo-vermelho um teor de fibras ainda maior, chegando a um total de 19 g.100g⁻¹ de porção comestível em base seca. O elevado teor de fibras classifica o fruto como um alimento fonte desses componentes, possuindo grande potencial funcional (BATISTA *et al.*, 2017).

Ainda segundo Gibbert (2017) e Batista *et al.* (2017), o jambo-vermelho é rico em carboidratos (TABELA 2), principalmente na porção constituída pela polpa. Dentre eles, os açúcares redutores se sobressaem no fruto e ambos os autores garantem que a polpa possui maiores teores em detrimento da pele. Tanto os açúcares totais quanto os redutores aumentam durante o amadurecimento do fruto, de acordo com os resultados de Benkeblia e Emanuel (2013), que constataram um aumento de 57,6% e 45,0%, respectivamente, do estágio imaturo para o maduro.

Em contrapartida os teores de proteínas e lipídeos na fruta não são significativos. Porém esses nutrientes se encontram em maior quantidade na pele (AUGUSTA *et al.*, 2010; BATISTA *et al.*, 2017; GIBBERT, 2017). Dos macronutrientes, os carboidratos são os principais responsáveis pelo valor calórico do fruto, dada a baixa quantidade de lipídeos e proteínas (AUGUSTA *et al.*, 2010; GIBBERT, 2017; NUNES *et al.*, 2016). As grandes diferenças observadas no valor calórico obtido por diferentes autores, como Nunes *et al.* (2016) (27,98 Kcal), Gibbert (2017) (386 Kcal) e Enidiok e Attah (2010) (58,20 Kcal) são devidas as variações nas composições do jambo-vermelho.

No campo dos micronutrientes, o fruto *in natura* contém minerais essenciais (TABELA 2) destacando-se o potássio, fósforo, magnésio, cálcio, ferro, manganês e zinco, sendo considerado como uma excelente fonte para esses dois últimos (ALMEIDA, 2011; GIBBERT, 2017). Lim e Rabeta (2013) identificaram ainda níquel (0,050 mg.g⁻¹), cromo (0,012 mg.g⁻¹) e cádmio (0,044 mg.g⁻¹) na porção comestível liofilizada da fruta. Para boa parte dos minerais encontrados, a pele é caracterizada como sendo mais rica que a polpa. Além da variedade de minerais presentes, o baixo nível de sódio e o elevado teor de potássio torna o jambo-vermelho um alimento nutricionalmente interessante para integrar a dieta humana (GIBBERT, 2017).

Ainda dentro do universo dos micronutrientes, o fruto contém vitaminas em sua composição. Vitamina A, tiamina (B1), riboflavina (B2), niacina (B3) e piridoxina (B6) são algumas das vitaminas já caracterizadas no mesmo (MORTON, 1987; NEPA, 2011). Análises quantitativas indicam algumas variações na presença dessas vitaminas, mas no geral tem-se: vitamina A (3 – 25,10 I.U.), B1 (15 - 39 µg), B2 (20 - 40 µg), B3 (0,2 – 0,4 mg) e B6 (traços) (ENIDIOK; ATTAH, 2010; MORTON, 1987; NEPA, 2011). De acordo com Fernandes e Rodrigues (2018), por mais que o jambo-vermelho detenha quantidades regulares de vitamina B1 e B2, quando comparado a outros frutos, ele não se apresenta como fonte destas.

O ácido ascórbico (vitamina C) é a vitamina que mais se destaca no jambo-vermelho. Alguns autores determinaram menores quantidades dessa vitamina na porção comestível do fruto (polpa com pele), como Morton (1987) ($11,7 \pm 5,2$ mg.100g⁻¹), Enidiok e Attah (2010) ($10,23 \pm 0,02$ mg.100g⁻¹) e Cardoso (1994) ($34,26 \pm 0,77$ mg.100g⁻¹), o que pode ser justificado pela sua instabilidade frente as condições das análises. Contudo, a maioria dos pesquisadores quantificaram elevados teores da vitamina C na porção comestível do fruto, como Nunes *et al.* (2016) ($173,1$ mg.100g⁻¹), Gibbert (2017) (196 mg.100g⁻¹) e Maisuthisakul *et al.* (2008) ($264,6$ mg.100g⁻¹).

Dentro da porção comestível, o que garante o título de fonte de vitamina C ao jambo-vermelho é mais uma vez a sua pele, visto que é nela que se encontra a maior quantidade do composto, como sugerido por Nunes *et al.* (2016), Augusta *et al.* (2010) e Gibbert (2017), que determinaram, respectivamente, cerca de 292,59, 319,64 e 275,79 mg.100g⁻¹ de ácido ascórbico nessa porção do fruto. A elevada atividade antioxidante atrelada a vitamina C permite que o jambo-vermelho seja reconhecido como uma fonte antioxidante natural (GIBBERT, 2017; NUNES, 2015).

3.2 COMPOSTOS BIOATIVOS

Uma alimentação contínua baseada no consumo de alimentos naturais, como frutas, legumes, grãos, hortaliças e verduras, apresenta um impacto positivo na promoção da saúde, além de ser considerada essencial para uma boa nutrição humana (BASTOS; ROGERO; ARÊAS, 2009; LIU, 2003; PEREIRA; CARDOSO, 2012).

Dentre as substâncias responsáveis pelos efeitos benéficos ao organismo estão os compostos bioativos (PAZ *et al.*, 2015). A definição de composto bioativo ainda pode gerar certas ambiguidades e incertezas, pois pode variar de acordo com o autor e seu foco de pesquisa. Parâmetros como origem da matriz, se é natural ou sintética, quantidade presente nesta, efeito no organismo, se é benéfico ou tóxico, e importância para o mesmo, se é essencial ou não, são geralmente utilizados para determinar se uma substância é, ou não, bioativa (GUAADAUI *et al.*, 2014).

De maneira geral pode-se definir que compostos bioativos são substâncias extra nutricionais presentes em pequenas quantidades nos mais diversos alimentos de origem vegetal (HORST; CRUZ; LAJOLO, 2016), animal (ARIHARA; OHATA, 2008), ou microbiana (JAIGANESH; KUMAR, 2012). Quando presentes na dieta, esses compostos trazem benefícios à saúde humana (TEODORO, 2019). Entretanto, também podem ser sintetizados quimicamente, além de terem a capacidade de apresentar efeitos tóxicos ao organismo, quando em elevadas quantidades (BERNHOF, 2010; GUAADAUI *et al.*, 2014; HO; RAFI; GHAI, 2010; LIU, 2003).

Majoritariamente conhecidos por estarem disponíveis em plantas, os compostos bioativos são metabólitos secundários que desempenham diversos papéis nos tecidos vegetais, principalmente no sistema de defesa da planta, seja contra radiação ultravioleta ou atividade de patógenos, por exemplo. Além disso estão relacionados com a atração de polinizadores e interações alelopáticas com outras plantas. Como consequência, eles acabam conferindo aromas, sabores e cores característicos às plantas (BENNETT; WALLSGROVE, 1994; HORST; CRUZ; LAJOLO, 2016).

Como supracitado, as substâncias bioativas geralmente não são consideradas nutrientes, pois ainda não são vistas como essenciais nas funções vitais do organismo humano, como o fornecimento energético, por exemplo. Porém, quando ingeridas regularmente em quantidades significativas na dieta, exercem suas atividades biológicas de acordo com suas biodisponibilidades, resultando em inúmeros benefícios ao organismo humano (BASTOS; ROGERO; ARÊAS, 2009; GUAADAUI *et al.*, 2014; HO; RAFI; GHAI, 2010; HORST; CRUZ; LAJOLO, 2016).

Graças ao seu potencial antioxidante e anti-inflamatório, os compostos bioativos são fontes exógenas importantes na redução dos riscos de doenças relacionadas ao estresse oxidativo e à resposta inflamatória, como as doenças

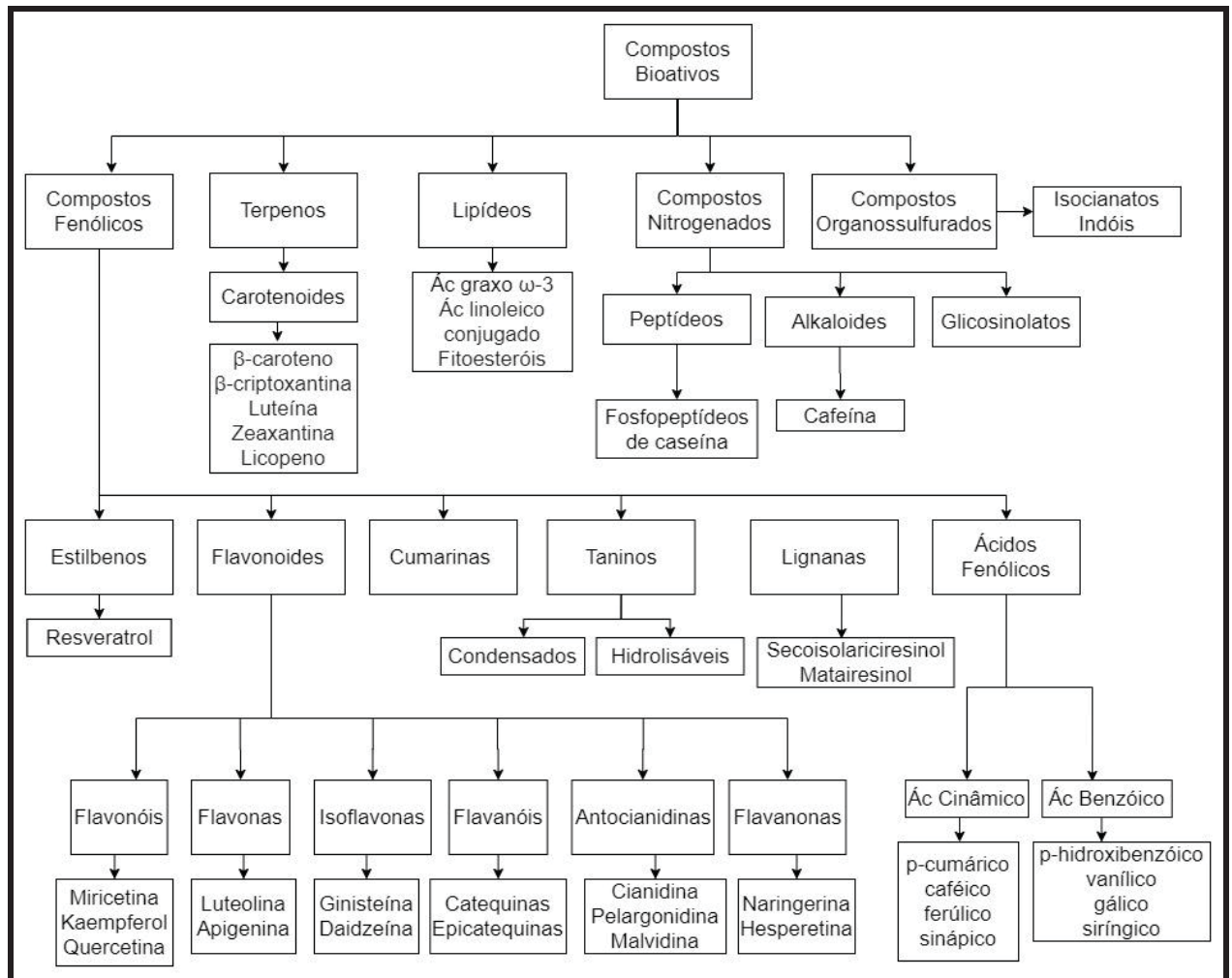
crônicas não transmissíveis. Além da ação quimiopreventiva, os bioativos agem diretamente na manutenção do sistema imune, regulam o sistema hormonal e apresentam atividade antibacteriana e antiviral (HORST; CRUZ; LAJOLO, 2016; TEODORO, 2019).

Os benefícios protetivos na saúde humana são resultado da sinergia existente entre as várias substâncias bioativas e os constituintes nutricionais (carboidratos, proteínas, lipídeos, vitaminas, minerais e fibras) que são ingeridos na dieta (LIU, 2003; PEREIRA; CARDOSO, 2012). Contudo, ainda não se sabe exatamente como as interações ocorrem entre eles, nem mesmo como as moléculas bioativas agem neste processo (BASTOS; ROGERO; AREAS, 2009).

Cada matriz alimentar varia quanto a natureza dos compostos bioativos presentes e suas respectivas quantidades, biodisponibilidades e propriedades funcionais. Essa composição pode variar de acordo com diferentes condições ambientais, que influenciam nos métodos de pré e pós-cultivo de plantas ou criação de animais (BENNETT; WALLSGROVE, 1994; BIAZOTTO *et al.*, 2019; HO; RAFI; GHAI, 2010).

Apesar de ainda não haver uma classificação unificada e uma caracterização precisa de todos os compostos bioativos existentes, devido a sua natureza variada, sabe-se que uma ampla diversidade de compostos já foi isolada e identificada em diversos alimentos. Devido a heterogeneidade dessas substâncias, utilizam-se grandes grupos para classificá-las, como mostra a FIGURA 3 (GUAADAOU *et al.*, 2014; HO; RAFI; GHAI, 2010; HORST; CRUZ; LAJOLO, 2016). Dentre eles, os três principais apontados pela grande maioria dos autores são os compostos nitrogenados, os carotenoides e os compostos fenólicos (HO; RAFI; GHAI, 2010; HORST; CRUZ; LAJOLO, 2016). Frente a sua importância, a última classe será tratada adiante com maiores detalhes.

FIGURA 3 - CLASSIFICAÇÃO DOS COMPOSTOS BIOATIVOS



FONTE: Autor (2020).

É tarefa da ciência continuar a corrida para a determinação do perfil de bioativos dos alimentos disponíveis para consumo, mas deve atentar também para as fontes bioativas emergentes, como os resíduos agroindustriais gerados nas cadeias produtivas desses alimentos, sejam cascas, sementes, folhas, ou qualquer outro tecido vegetal oriundo do processo. Por serem fontes baratas, abundantes e ricas em compostos bioativos, alguns resíduos, chamados de coprodutos, já vêm sendo aproveitados para a extração de fitoquímicos que são aplicados diretamente na indústria de alimentos, como agentes antioxidantes e antimicrobianos, por exemplo (SHIRAHIGUE; CECCATO-ANTONINI, 2020).

3.2.1 Compostos Fenólicos

Os compostos fenólicos (CFs) são considerados o segundo maior grupo de compostos orgânicos originados através do metabolismo secundário dos tecidos vegetais. Eles são produzidos a partir de rotas metabólicas secundárias do fenilpropanoide, tendo como principais precursores o ácido chiquímico e o malônico, e desempenham diferentes papéis nas plantas (De LA ROSA *et al.*, 2019). Presentes na forma livre solúvel ou solúvel conjugados, dentro dos vacúolos celulares, ou insolúvel conjugados, ligados covalentemente a macromoléculas da parede celular (celulose, proteínas e pectina), os CFs dão suporte estrutural e de crescimento para as plantas, auxiliam na reprodução destas a partir da atração de polinizadores e disseminadores de sementes e as protegem contra fatores de estresse bióticos (patógenos, predadores) ou abióticos (raios UV, perda de água) (De LA ROSA *et al.*, 2019; LIU, 2004; SHAHIDI; YEO, 2016).

Os CFs são os bioativos mais representativos da dieta humana, o que justifica serem encontrados em praticamente todos os tipos de tecidos vegetais, desde as porções comestíveis e suas sementes até mesmo nas raízes das plantas. Sua presença confere aos alimentos importantes atributos sensoriais relacionados a sabores, aromas e cores variadas. (De La ROSA *et al.*, 2019; HORST; CRUZ; LAJOLO, 2016). Alguns CFs são encontrados em diferentes fontes alimentares, enquanto outros são específicos de determinados alimentos. O perfil de CFs nessas matrizes vegetais varia amplamente de acordo com fatores genéticos (cultivar), ambientais (solo, clima), de pré e pós-colheita (cultivo, manejo) e tecnológicos (processamento e armazenamento) (DE LA ROSA *et al.*, 2019; HORST; CRUZ; LAJOLO, 2016; MANACH *et al.*, 2004; TSAO, 2010).

Os CFs são os compostos bioativos mais estudados pela ciência, pois sua ingestão está atrelada a inúmeras atividades biológicas benéficas ao organismo. Ação antibiótica; anti-inflamatória; antialérgica; atuação no sequestro de moléculas reativas; aumento da capacidade antioxidante do organismo; modulação da atividade de receptores celulares e enzimas, como inibição da xantina oxidase e produção de glutatona peroxidase e catalase; modificação da expressão de genes; fosforilação proteica; manutenção da pressão sanguínea e participação no metabolismo lipídico, são alguns dos benefícios para a saúde humana já

documentados (DE LA ROSA *et al.*, 2019; DU; GUO; LOU, 2007; HORST; CRUZ; LAJOLO, 2016; KIM; QUON; KIM, 2014; ROLEIRA *et al.*, 2015).

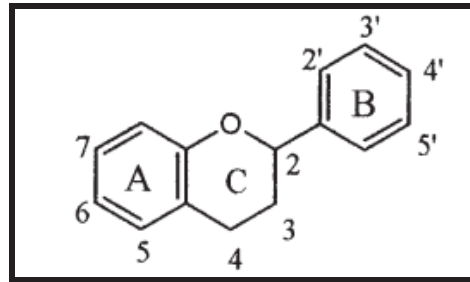
Dentre os benefícios supracitados, a capacidade antioxidante dos CFs ainda é atribuída como principal propriedade de manutenção à saúde. Para exercer essa função no organismo, basicamente os CFs transferem o hidrogênio do grupo hidroxil da sua molécula para o radical livre, estabilizando-a e formando outra molécula menos reativa de CF estabilizada por ressonância (McCLEMENTS; DECKER, 2010; SHAHIDI; AMBIGAIPALAN, 2015; VOLP *et al.*, 2007).

O termo composto fenólico é bem abrangente e engloba diversos subgrupos que possuem a mesma base química fenólica hidroxilada. As estruturas químicas desses compostos são as mais diversas, indo desde simples unidades monoméricas a polímeros fenólicos de alta massa molecular. Grande parte dos CFs não existe na forma livre nas matrizes alimentares, podendo estar glicosilados com diferentes açúcares. Estes podem ainda ser acilados em qualquer posição no esqueleto fenólico. A grande variabilidade estrutural justifica a existência de 8.000 compostos fenólicos conhecidos atualmente (BALASUNDRAM; SUNDRAM; SAMMAN, 2006; DE LA ROSA *et al.*, 2019; SHAHIDI; AMBIGAIPALAN, 2015; TSAO, 2010).

Frente a heterogeneidade estrutural, os CFs naturais se agrupam em: estilbenos, lignanas, cumarinas, taninos, ácidos fenólicos e flavonoides (FIGURA 3). Esse último subgrupo corresponde aos polifenóis majoritariamente encontrados na dieta humana (HORST; CRUZ; LAJOLO, 2016; LIU, 2004).

Os flavonoides são compostos fenólicos de baixa massa molecular que apresentam mais de um anel fenólico em seu esqueleto, por isso são conhecidos como polifenóis (HO; RAFI; GHAI, 2010). Sua estrutura é formada pela ligação de dois anéis fenil (A e B) unidos por um anel pirano heterocíclico central (C), com um esqueleto básico na forma C6-C3-C6 contendo 15 carbonos (FIGURA 4) (De La ROSA *et al.*, 2019). A variação nos padrões de hidroxilação, metoxilação, prenilação, glicosilação e oxidação dos anéis dividem os flavonoides em subgrupos (FIGURA 3) (DE LA ROSA *et al.*, 2019; LIU, 2004; PIETTA, 2000; STALIKAS, 2007).

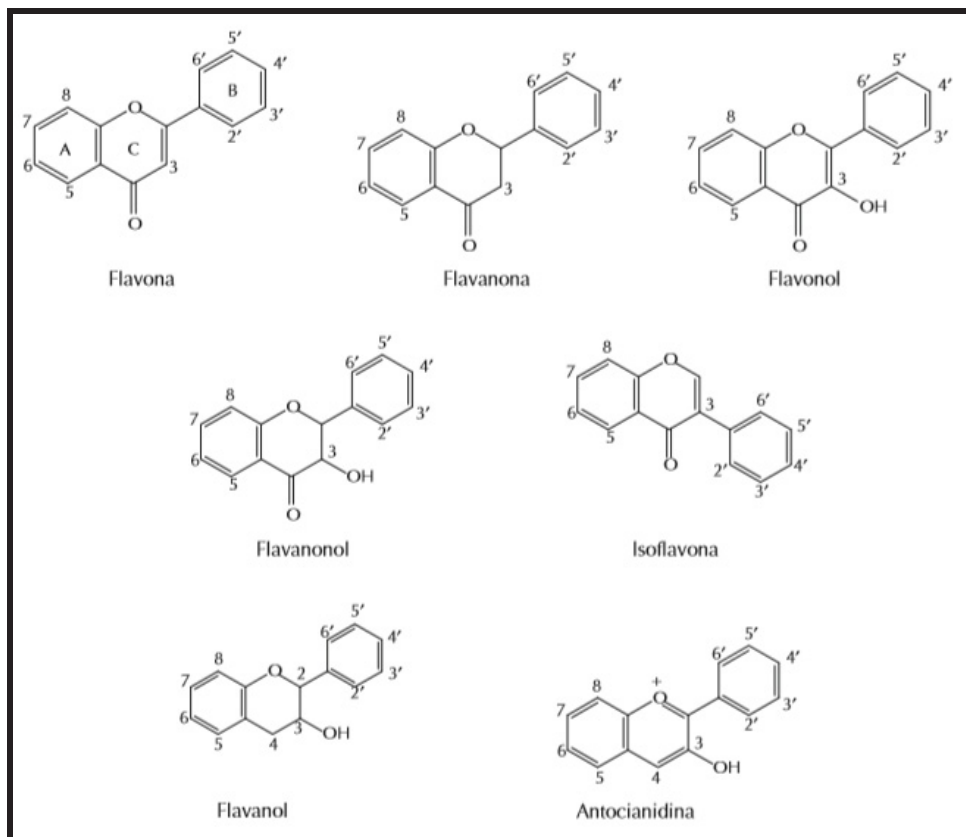
FIGURA 4 - ESTRUTURA BÁSICA DOS FLAVONOIDES



FONTE: Liu (2004).

Mais de 5.000 flavonoides já foram identificados, o que os torna os principais representantes dos CFs na dieta humana. Os subgrupos aos quais pertencem esses compostos são: flavonóis, flavonas, isoflavonas, antocianidinas, flavanóis, flavanonas e flavanonois (FIGURA 5) (De La ROSA *et al.*, 2019; HO; RAFI; GHAI, 2010; HORST; CRUZ; LAJOLO, 2016; NUNES, 2015).

FIGURA 5 - PRINCIPAIS FLAVONOIDES PRESENTES NOS ALIMENTOS



FONTE: Damodaran, Parkin e Fennema (2010).

A heterogeneidade estrutural das moléculas de flavonoides interfere nas suas propriedades, como a antioxidante, e seus mecanismos de ação. Sendo assim, uma interrelação precisa entre as diversas estruturas e as propriedades destes compostos é difícil de ser obtida (HEIM; TAGLIAFERRO; BOBILYA, 2002).

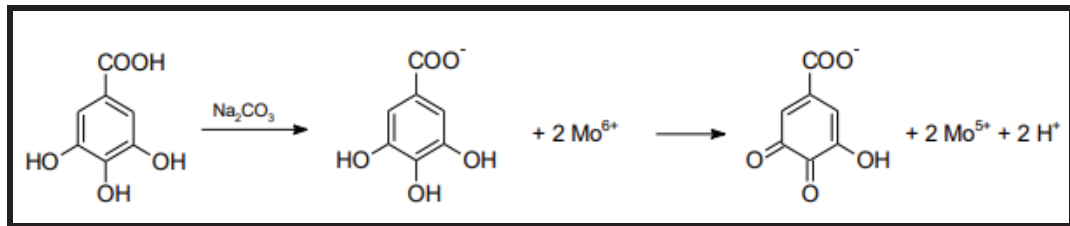
Dados confiáveis a respeito do conteúdo de CFs nos alimentos ainda são escassos, mas muito necessários para o entendimento do seu papel no organismo, bem como aplicação industrial desses compostos (ARTS; HOLLMAN, 2005). Diante disso, é função da ciência buscar metodologias analíticas eficientes para elucidar a vasta gama de estruturas fenólicas presentes nas matrizes alimentares, bem como seus mecanismos de ação.

A determinação precisa do perfil fenólico dos alimentos permanece sendo um desafio, dada a grande variedade e complexidade das estruturas fenólicas, suas complexas interações nas diversas matrizes alimentares, além da grande sensibilidade dos CFs à degradação (luz, oxigênio e altas temperaturas). Desta maneira não há na ciência um método universal que sirva para traçar o perfil dos CFs nos alimentos (ROBARDS, 2003; STALIKAS, 2007).

O enfoque das técnicas analíticas pode ser dado de forma a identificar e contabilizar o teor total de CFs, um subgrupo específico destes, como os flavonoides e ácidos fenólicos, ou ainda substâncias fenólicas individuais (ANGELO; JORGE, 2007; STALIKAS, 2007; STALIKAS, 2010). No geral são realizadas as etapas de preparo da amostra, extração dos compostos fenólicos da matriz, sua separação, identificação e quantificação (ROBARDS, 2003).

O método de Folin-Ciocalteu (FIGURA 6) é amplamente utilizado nos laboratórios na determinação do teor de CFs totais em amostras, pois consiste em uma técnica mais simples. Ela se baseia na reação entre os fenóis e o reagente Folin-Ciocalteu, cuja composição é dada pela presença dos ácidos molibdênio e tungstênio. Em meio básico, os compostos fenólicos sofrem desprotonação e se tornam ânions denominadas fenolatos, cujo potencial redutor é alto. Na presença do reagente Folin-Ciocalteu, os fenolatos reduzem o molibdênio VI para V, formando complexos molibdênio-tungstênio. Essa reação é acompanhada pela mudança de cor amarela, dada pela presença do molibdênio VI ($Na_2MoO_4 \cdot 2H_2O$) no reagente, para azul ($[PMoW_{11}O_4]^{-4}$). A concentração dos CFs é dada por leitura espectrofotométrica (OLIVEIRA, 2011).

FIGURA 6 - REAÇÃO DE REDUÇÃO DO MÉTODO FOLIN-CIOCALTEU A PARTIR DO ÁCIDO GÁLICO



FONTE: Oliveira (2011).

3.2.2 Atividade Antioxidante

Para a manutenção do equilíbrio de um sistema biológico durante toda a vida são necessários inúmeros processos metabólicos. Por consequência, diversas moléculas são produzidas naturalmente, como as espécies reativas de oxigênio (EROs) e as espécies reativas de nitrogênio (ERNs) (HUGHES, 2001; PRESCOTT; BOTTLE, 2016; VALKO *et al.*, 2007).

Apesar do oxigênio ser essencial para a vida, a respiração celular, mais precisamente a cadeia transportadora de elétrons, é a principal rota metabólica formadora das EROs, sejam eles radicais livres, ou substâncias reativas não radicais (DALVI, 2008; MANDAL *et al.*, 2009;). Esses dois grupos de moléculas possuem seu papel benéfico no organismo, quando presentes em baixas concentrações. Eles podem atuar no auxílio ao combate de infecções ou nas vias de sinalização das respostas biológicas, como na biologia redox (HALLIWELL, 2006; SCHIEBER; CHANDEL, 2014; VALKO *et al.*, 2007). Entretanto uma superprodução desses componentes reativos nos tecidos causa uma série de danos oxidativos destrutivos, mais conhecidos como estresse oxidativo (HALLIWELL, 2006; MANDAL *et al.*, 2009).

Os danos oxidativos causados pelas EROs e ERNS às biomoléculas constituintes das células, como lipídeos, proteínas e nucleotídeos do DNA, estão intimamente relacionados ao envelhecimento e desenvolvimento de condições patológicas, tais como diversos tipos de câncer, doenças cardiovasculares, diabetes e doenças neurodegenerativas como Alzheimer e Parkinson (HUGHES, 2001; VALKO *et al.*, 2007; YE *et al.*, 2015).

A fim de evitar as consequências destrutivas do estresse oxidativo, os organismos vivos contam com um sistema antioxidante de defesa endógeno de

caráter enzimático ou não enzimático. A produção de enzimas como catalase, glutathiona peroxidase e superóxido dismutase são exemplos de antioxidantes endógenos que atuam no organismo contra os EROs e ERNs, enquanto substâncias químicas não enzimáticas produzidas pelas células também o fazem (BARBOSA *et al.*, 2010; HUGHES, 2001).

Contudo, nem sempre o sistema antioxidante de defesa natural do organismo é suficiente para o equilíbrio oxidativo, por isso é necessária a incorporação de antioxidantes de fontes exógenas (RATNAM *et al.*, 2006). Os alimentos, principalmente os de origem vegetal, são considerados as principais fontes de compostos antioxidantes exógenos. Estes últimos estão presentes nas estruturas químicas dos alimentos na forma de nutrientes e compostos bioativos (HUGHES, 2001). A ingestão de alimentos ricos em vitamina C, vitamina E (tocoferóis), carotenoides, polifenóis, minerais, dentre outros, está relacionada diretamente com o aumento da atividade antioxidante *in vivo* e sua consequente ação protetiva (COLLINS, 2005; PEREIRA, 2011; SAURA-CALIXTO; GOÑI, 2006).

Os efeitos protetivos dos antioxidantes, sejam eles endógenos ou dietéticos, são dados de maneira sinérgica entre si, e não de forma individual (COLLINS, 2005). Eles podem inibir a formação de EROs e ERNs, impedindo ou retardando a ocorrência das cadeias oxidativas, sequestrar essas moléculas reativas presentes no meio, desativando-as ou diminuindo sua reatividade, quelar substâncias pró-oxidantes, como íons metálicos e oxigênio singlete, e finalmente reparar as lesões causadas aos tecidos em decorrência do estresse oxidativo (HALLIWELL, 2006; HUGHES, 2001; IKRAM *et al.*, 2009; MANDAL *et al.*, 2009).

A eficiência da ação antioxidante depende de fatores como tipos de radicais formados e suas respectivas quantidades, como e onde são gerados, e a da natureza das lesões causadas (BIANCHI; ANTUNES, 1999). Além disso, a estrutura química das moléculas antioxidantes, sua concentração nos alimentos e ainda as suas biodisponibilidades e bioacessibilidades também impactam no desempenho de suas funções (FUKUMOTO; MAZZA, 2000; MELO *et al.*, 2008).

Nos alimentos, principalmente nas matrizes vegetais, os antioxidantes são formados mediante condições de estresse, visando proteger os tecidos da planta a partir de mecanismos similares aos descritos acima (BRECHT *et al.*, 2010). Porém, durante o processamento industrial, essas matrizes perdem muitos de seus compostos antioxidantes (McCLEMENTS; DECKER, 2010). Consequentemente o

produto terá um ambiente propício para a oxidação de seus constituintes, como carboidratos, proteínas e principalmente os lipídeos que, ao sofrerem a peroxidação, liberam compostos tóxicos e sensorialmente desagradáveis no alimento (DALVI, 2008; OLIVEIRA, 2011; OLIVEIRA; VALENTIM; GOULART, 2009).

Pensando em prevenir ou retardar as cadeias oxidativas, a indústria de alimentos vem há muito tempo adicionando antioxidantes aos produtos para aumentar sua estabilidade oxidativa, estendendo assim sua vida de prateleira (BREWER, 2011; McCLEMENTS; DECKER, 2010). Antioxidantes como hidroxitolueno butilado (BHT), hidroxianisol butilado (BHA) e propil galato são exemplos de substâncias sintéticas usadas para esse propósito. Contudo, é comprovado que sua ingestão está atrelada ao prejuízo da saúde, pois eles se acumulam no organismo e podem causar câncer (DENG; CHENG; YANG, 2011; OLIVEIRA; VALENTIM; GOULART, 2009).

Como os consumidores vêm cada vez mais se preocupando com a qualidade dos alimentos que ingerem, a indústria se viu obrigada a substituir os antioxidantes sintéticos pelos naturais, sem deixar de lado seus papéis protetores (BREWER, 2011; DENG; CHENG; YANG, 2011). São exemplos de antioxidantes naturais utilizados sinergicamente como aditivos: carotenoides, compostos fenólicos (flavonoides e ácidos fenólicos), vitamina C e vitamina E (α -tocoferol). Esses compostos são extraídos diretamente dos tecidos vegetais amplamente consumidos, ou ainda dos grandes volumes de resíduos agroindustriais gerados em sua industrialização (BREWER, 2011; OLIVEIRA; VALENTIM; GOULART, 2009).

3.2.2.1 Metodologias para determinação da atividade antioxidante total

O conhecimento a respeito do papel dos antioxidantes dietéticos frente a função deletéria dos EROs e ERNs mobilizou a ciência na identificação dessas moléculas. Com isso ocorreu a busca por métodos *in vitro* capazes de quantificar a atividade antioxidante das matrizes alimentares (ALVES; DAVID, 2010). Como o potencial antioxidante líquido da amostra é dado pelo sinergismo entre seus compostos antioxidantes individuais, é mais viável que se determine a atividade antioxidante total (AAT) da amostra que detém esses analitos.

A etapa fundamental que precede a análise propriamente dita é a extração dos compostos antioxidantes da matriz bruta. Devido à instabilidade dessas

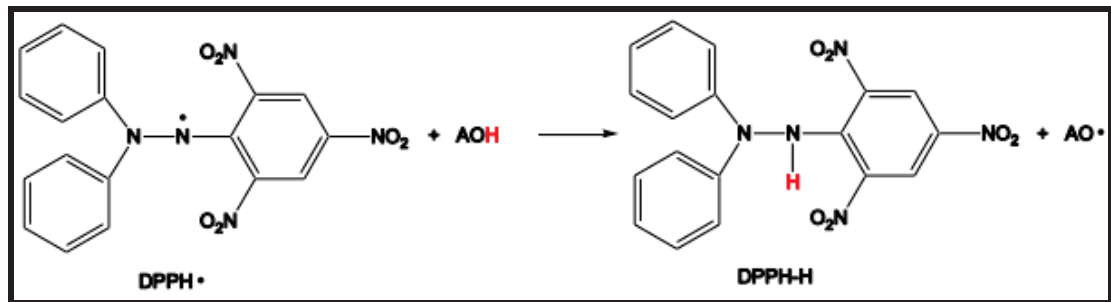
moléculas frente ao oxigênio, esse processo é delicado, devendo ser realizado o mais rápido possível para análise imediata. A extração é realizada principalmente por solventes orgânicos, sendo de suma importância a escolha correta destes, a fim de se obter uma concentração fiel de antioxidantes no extrato a ser analisado. A utilização de misturas de solventes com diferentes polaridades é preferida, sendo usados água, acetona, etanol, éter de petróleo, tolueno, metanol, dentre outros (BREWER, 2011).

Não existe um método analítico universal que seja completamente preciso na determinação da AAT do extrato obtido, dada a variedade e complexidade dos antioxidantes e das EROs/ERNs existentes, bem como seus mecanismos de ação interrelacionados. Sendo assim, dentre os diversos métodos existentes os mais eficientes, rápidos, acessíveis e reprodutíveis são os preferidos, podendo ser realizada uma combinação entre eles para uma maior fidedignidade (ALVES; DAVID, 2010).

Sánchez-Moreno (2002) classifica os ensaios de determinação da AAT *in vitro* em dois grupos: ensaios cuja medição do grau de inibição da oxidação se dá em sistemas de peroxidação lipídica e ensaios que medem a capacidade de sequestro de radicais livres. No primeiro grupo, pode-se destacar o método ORAC e sistema de co-oxidação do β -caroteno/ácido linoleico, enquanto no segundo as análises de DPPH•, TEAC (ABTS•+) e FRAP são os representantes mais utilizados.

O DPPH• avalia a capacidade dos antioxidantes em reduzir o radical livre 2,2-difenil-1-picril-hidrazil, que é estável graças a deslocalização do seu elétron por toda a molécula, conferindo à solução uma coloração violeta (ALVES; DAVID, 2010; DENG; CHENG; YANG, 2011; MOLYNEUX, 2004). Na adição do extrato rico em antioxidantes à solução, ocorre a reação de redução desse radical a hidrazina através da doação de elétrons, porém a abstração do átomo de hidrogênio é uma rota secundária estabilizadora ($\text{DPPH}\cdot + \text{AH} \rightarrow \text{DPPH-H} + \text{A}\cdot$) (FIGURA 7). O processo é identificado visivelmente, pois há uma consequente perda da cor violeta, com o aparecimento de uma coloração amarela pálida (ALVES; DAVID, 2010; FUKUMOTO; MAZZA, 2000; MOLYNEUX, 2004; PRIOR; WU; SCHAICH, 2005).

FIGURA 7 - REAÇÃO DE REDUÇÃO DO RADICAL DPPH•



FONTE: Oliveira (2011).

A mudança de cor indica a diminuição da absorvância (515/517 nm), que é acompanhada por espectrofotometria. A concentração dos antioxidantes adicionados é o principal fator envolvido na reação, onde para a diminuição de 50% de DPPH• na solução alcoólica, tem-se a concentração conhecida como EC_{50} . Logo, quanto maior o consumo de DPPH• por um extrato, maior será sua capacidade antioxidante e menor será sua EC_{50} . Além disso, o tempo de reação é outro fator que deve ser levado em consideração (FUKUMOTO; MAZZA, 2000; PRIOR; WU; SCHAICH, 2005).

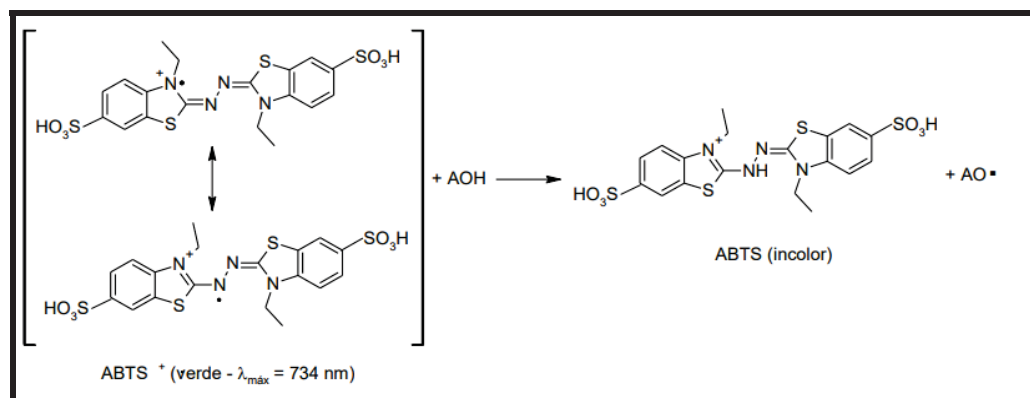
A vantagem desse método é sua eficiência, rapidez e simplicidade (OZCELIK; LEE; MIN, 2003). Porém a interpretação dos dados pode ser afetada devido a presença de compostos que se sobreponham a absorvância da solução de DPPH• (515/517 nm). Além disso, a reação pode ser prejudicada pela acessibilidade estérica, visto que moléculas maiores possuem dificuldade de alcançar o sítio do radical (FIGURA 7). Uma consequência do impedimento estérico é a baixa reatividade do DPPH• a alguns antioxidantes, ou mesmo um comportamento inerte em relação a eles, sendo bem diferente dos radicais dos sistemas biológicos, como o peróxido (PRIOR; WU; SCHAICH, 2005).

O ensaio do TEAC (Trolox Equivalent Antioxidant Capacity -Capacidade Antioxidante em Equivalentes de Trolox) fundamenta-se na capacidade de compostos antioxidantes em sequestrar o cátion ABTS•+ [2,2-azino-bis-3-etilbenzotiazolína-6-ácido sulfônico]. Esse cátion cromóforo (azul/verde) é formado a partir da reação do ABTS•+ com o persulfato de potássio. O extrato contendo os antioxidantes é adicionado a um meio em que a formação desse íon está em curso, a fim de prevenir sua oxidação nesse processo. Diversos autores possuem

condições diferenciadas para a execução do método TEAC, seja na etapa de formação do radical, diferentes comprimentos de ondas para medir absorvância (415, 645, 734 ou 815 nm) ou métodos de quantificação, porém todos ainda utilizam a redução do ABTS^{•+} como base da TEAC (PRIOR; WU; SCHAICH, 2005; RE *et al.*, 1999).

Com a transferência dos elétrons por parte dos antioxidantes, há uma perda de cor da solução com conseqüente queda na absorvância (FIGURA 8). A concentração do antioxidante e o tempo de reação são os fatores principais na obtenção de ABTS^{•+} reduzido. Os resultados são comparados ao trolox padrão nas mesmas condições (PRIOR; WU; SCHAICH, 2005; RE *et al.*, 1999).

FIGURA 8 - REAÇÃO DE SEQUESTRO DO RADICAL ABTS^{•+}



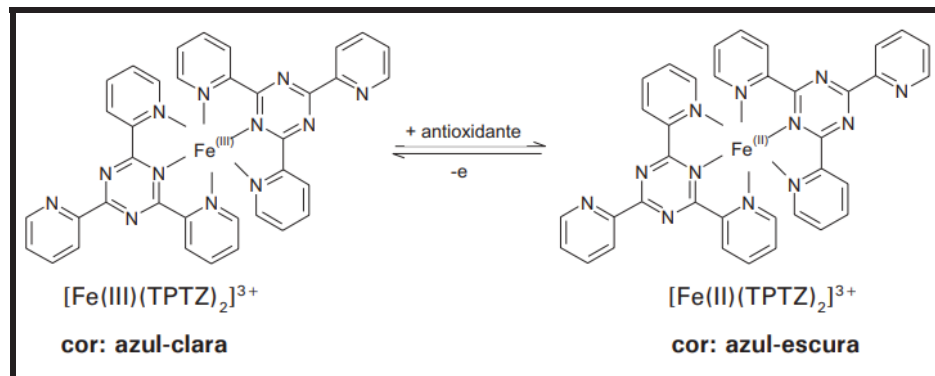
FONTE: Oliveira (2011).

O TEAC é um método muito utilizado por ser simples, rápido e com fácil obtenção dos resultados. Pode ser aplicado para avaliar uma grande variedade de compostos, pois atua em uma ampla faixa de pH e em meios hidrofílicos ou lipofílicos. Entretanto ele é baseado na análise de um cátion não biológico, o que não representa o sistema *in vivo*, além do que os tempos de reação podem variar de acordo com a amostra (OLIVEIRA, 2011; PRIOR; WU; SCHAICH, 2005).

A análise do FRAP (Ferric Reducing Ability of Plasma) é a determinação do poder antioxidante da redução de ferro. Ele consiste na redução do complexo ferroso ferritripiridiltriazina (Fe^{+3} - TPTZ) para o complexo tripiridiltriazina (Fe^{+2} - TPTZ) através da ação de antioxidantes em meio ácido (pH 3,6), pois este auxilia na solubilidade do ferro. Ou seja, a redução do FRAP ocorre a partir da transferência de

elétrons por parte dos antioxidantes ao íon férrico, sendo reduzido para ferroso (FIGURA 9). Essa reação é perceptível com a mudança da intensidade da cor da solução de azul claro para azul intenso e consequente absorbância na faixa de 592 - 595 nm (COLLINS, 2005; OLDONI, 2010; PRIOR; WU; SCHAICH, 2005; SILVA, 2018).

FIGURA 9 - REAÇÃO DE REDUÇÃO DO FERRO



FONTE: Rufino *et al.* (2006).

O FRAP é um método simples, acessível e rápido, quando comparado a outros testes. Ele é útil para determinar diferentes mecanismos de ação de diversos antioxidantes, mas para isso deve ser utilizado em consonância com outros métodos. Porém, acaba dependendo muito do tempo da reação, que varia com os antioxidantes presentes no extrato (PRIOR; WU; SCHAICH, 2005). As condições do meio de reação no FRAP não são muito realistas, visto que é em um pH muito ácido (pH 3,6), diferente do sistema fisiológico. Além do mais, esse método não consegue mensurar a AAT de uma matriz complexa (APAK *et al.*, 2004).

Mesmo que uma amostra apresente elevada AAT, comprovada pelo método *in vitro* escolhido, ela pode apresentar ação inferior, ou mesmo inexistente, *in vivo*, pois os organismos vivos são sistemas biológicos complexos e possuem diversos mecanismos metabólicos ainda não elucidados (ALVES; DAVID, 2010).

3.2.3 Compostos bioativos e atividade antioxidante do *S. malaccense*

Os estudos realizados com foco nos compostos bioativos presentes nas diferentes matrizes do *Syzygium malaccense* ainda são escassos. As áreas mais atuantes na busca por eles são de medicina, farmácia e nutrição, tendo em vista os

benefícios desses componentes para a manutenção da saúde humana (BATISTA *et al.*, 2017).

A busca pelos fitoquímicos que compõe a porção comestível do jambo-vermelho (polpa e pele) é mais comum, visto que a utilização desta é maior frente as outras frações da espécie. Pesquisas indicam essa matriz como detentora de altos teores de compostos fenólicos totais (GIBBERT, 2017; NUNES *et al.*, 2016). A partir de análises qualitativas empregadas, identificou-se compostos fenólicos da subclasse dos ácidos fenólicos (p-cumárico, benzoico, gálico, clorogênico e elágico) e dos flavonoides, sendo estes: flavanóis (catequina, epicatequina, epicatequina galato, epigallocatequina galato e procianidinas ou taninos condensados - A2, B1 e B2), flavonóis (isorhamnetina-3-O-glucosídeo, quercetina, isoquercitrina, kaempferol-3-O-glucosídeo, rutina, quercitrina, miricetina e morina), que representam cerca de 11% dos compostos fenólicos totais do jambo-vermelho, e as antocianinas (BATISTA *et al.*, 2017; LAKO *et al.*, 2007; REYNERTSON *et al.*, 2008; VUOLO *et al.*, 2018).

As antocianinas correspondem aos compostos bioativos mais abundantes encontrados no jambo-vermelho, equivalendo a 75% dos compostos fenólicos totais, de acordo com Batista *et al.* (2017). A presença das antocianinas se dá tanto na polpa como na pele, porém é nesta última que há a concentração maciça desses compostos, o que justifica a coloração vermelha arroxeada do fruto (AUGUSTA, 2011; AUGUSTA *et al.*, 2010; KOTEPONG; PAULL; KETSA, 2019; NUNES, 2015; NUNES *et al.*, 2016). As antocianinas identificadas são a peonidina-3,5-O-glucosídeo, pelargonidina-3-O-glucosídeo (KOTEPONG; PAULL; KETSA, 2019), cianidina-3,5-O-diglucosídeo, peonidina-3,O-glucosídeo e a cianidina-3-O-glucosídeo, cuja presença é majoritária dentre todos os compostos bioativos encontrados (AUGUSTA, 2011; BATISTA *et al.*, 2017; KOTEPONG; PAULL; KETSA, 2019; NUNES *et al.*, 2016).

Outros pigmentos também estudados no jambo-vermelho foram os carotenoides. Khoo *et al.* (2008) caracterizaram o fruto como sendo pobre em carotenoides totais, corroborando com o argumento de que a coloração de frutos ricos nesses componentes varia predominantemente entre laranja e amarelo. Entretanto, informações contrárias são apresentadas por Lako *et al.* (2007), que determinaram conteúdos moderados de carotenoides (α -caroteno e o β -caroteno) no jambo-vermelho. Já Gibbert (2017) considerou o fruto como sendo rico em

carotenoides, pois identificou na porção comestível a presença de β -caroteno e licopeno. Este último foi considerado pelo autor como sendo responsável pela coloração vermelha do jambo, já que o teor de antocianinas encontrado no fruto foi muito baixo. Da porção comestível, Gibbert (2017) garante que a pele é a detentora da maior concentração desses compostos, assim como apontado por Batista *et al.* (2017), que determinaram a presença de carotenoides na fruta, principalmente na fração da pele.

A presença de compostos fenólicos e carotenoides corrobora com a elevada atividade antioxidante atribuída à porção comestível do jambo-vermelho (BATISTA *et al.*, 2017; LAKO *et al.*, 2007; MAISUTHISAKUL; PASUK; RITTHIRUANGDEJ, 2008; REYNERTSON *et al.*, 2008). Esses compostos antioxidantes estão presentes majoritariamente na pele do fruto e conseqüentemente essa matriz detém uma maior capacidade anti-radical frente a polpa (GIBBERT, 2017; NUNES *et al.*, 2016). Isso caracteriza a porção comestível do jambo-vermelho como uma fonte antioxidante natural (NUNES, 2015). Por isso, Augusta *et al.* (2010) sugerem a utilização industrial do jambo-vermelho como matéria-prima na extração de compostos antioxidantes e sua incorporação como conservantes em alimentos.

Benefícios relacionados com a saúde humana foram atribuídos a porção comestível do *S. malaccense* devido a sinergia entre seus compostos bioativos supracitados e suas decorrentes capacidades antioxidantes. Extratos do fruto demonstraram: controle hiperglicêmico, graças à inibição das enzimas α -amilase e α -glicosidase, o que indica sua utilização no tratamento da diabetes mellitus (AZEVEDO, 2010); propriedades de quimioprevenção contra doenças cancerígenas (FRAUCHES *et al.*, 2016), que foram comprovadas tanto pelo efeito antiproliferativo contra células do câncer de mama (RABETA *et al.*, 2013) quanto pela redução do crescimento e proliferação de células tumorais de fígado (HepG2) (VUOLO *et al.*, 2018).

A insuficiência de dados na literatura também se aplica à semente do jambo-vermelho, que se apresenta como um coproduto oriundo da alta produção da árvore do *S. malaccense*. Alguns poucos estudos foram em busca de caracterizar esse resíduo, como feito por Batista *et al.* (2017). Eles encontraram nessa matriz uma grande quantidade de compostos fenólicos totais, principalmente flavonoides, como também carotenoides, porém não traçaram o perfil desses bioativos. Conseqüentemente os autores determinaram que a semente possui uma elevada

capacidade antioxidante, tendo sido obtida por FRAP ($\sim 150 \mu\text{mol TEg}^{-1}$), DPPH ($2,47 \pm 0,05 \text{ g.L}^{-1}$), H-ORAC ($88,31 \pm 8,79 \mu\text{mol TEg}^{-1}$) e L-ORAC ($13,91 \pm 0,40 \mu\text{mol TEg}^{-1}$).

Finalmente, diante do exposto, é notório que já existem dados científicos acerca dos compostos bioativos presentes no fruto do jambo-vermelho e sua semente, porém a carência de informações mais completas deixa margem para investigações futuras.

3.3 AMIDO

O amido se consagra como um dos mais importantes polissacarídeos existentes e o segundo maior biopolímero natural, atrás apenas da celulose. É o carboidrato mais encontrado nos tecidos vegetais das plantas, desempenhando o papel de reserva energética (ADITIVOS & INGREDIENTES, 2013; BeMILLER; HUBER, 2010; LIU, 2005).

Os amidos podem ser obtidos de diversas fontes vegetais, como cereais (milho, trigo e arroz), tubérculos e raízes (batata e mandioca), sementes, oleaginosas e frutas. Dentre elas, as principais fontes comerciais são o milho e a mandioca. Matrizes como milho, batata e batata doce detêm cerca de 15% de amido em sua composição, enquanto castanhas podem chegar a 33%. Essa variação ocorre em detrimento das diferenças genéticas entre as espécies, fatores de crescimento, dentre outras razões. Os amidos detêm quantidades de compostos não carboidratos em sua composição, como cinzas, lipídeos e proteínas, além de altas quantidades de água. A presença desses constituintes influencia as propriedades do amido positivamente, como no aumento das interações com as moléculas de água e consequente aumento da viscosidade, ou negativamente, como no desenvolvimento de sabor e cor indesejáveis por ação proteica, por exemplo (BeMILLER; HUBER, 2010; LIU, 2005; SILVA, 2019).

Tanto os amidos quanto seus compostos hidrolisados são os carboidratos digestíveis mais representativos da dieta humana, contribuindo com 70-80% das calorias ingeridas pelo homem ao redor do mundo. Na abordagem nutricional, o amido pode ser dividido em glicêmico, cujo potencial digestível é alto, ou resistente, sendo este fermentado na microflora intestinal e desenvolvendo atividade funcional

semelhante às fibras. Além de ser fundamental para as plantas e para o ser humano, o amido é amplamente utilizado pela indústria alimentícia, pois é considerado uma matéria-prima abundante, barata e capaz de promover diferentes propriedades tecnológicas aos alimentos. Dentre elas estão: capacidade de promover adesão, atuar como agente ligantes, de turbidez, gelificantes, vitrificantes, umectantes, estabilizantes, espessantes, dentre outras. (ADITIVOS & INGREDIENTES, 2013; BeMILLER; HUBER, 2010; LIU, 2005). A produção de filmes biodegradáveis à base de amido é uma das vertentes tecnológicas que está em alta, pois visa a substituição dos polímeros sintéticos (AZEVEDO *et al.*, 2018).

No entanto a aplicação do amido nativo, ou seja, do amido obtido diretamente das matrizes vegetais, é limitada. Isso porque as suas características tecnológicas não são tão versáteis frente às diversas condições de processamento. Por isso, os amidos nativos passam por processos físicos, químicos ou enzimáticos, com o objetivo de se tornarem mais adequados às exigências da indústria, gerando produtos de melhor qualidade. As modificações mais comuns se referem a amidos com ligações cruzadas, estabilizados, oxidados, convertidos, despolimerizados (hidrolisados) e tratados termicamente, onde geralmente são utilizados mais de um desses processos para produção do amido modificado desejado. Essas modificações geram amidos mais resistentes às condições do processo (temperatura, pH, cisalhamento) e amidos com funcionalidades específicas no tocante a viscosidade, resistência à retrogradação, volume, facilidade de dispersão, coloração, solubilidade, brilho, dentre outras (ADITIVOS & INGREDIENTES, 2013; BeMILLER; HUBER, 2010; TESTER; KARKALAS; QI, 2004; SILVA, 2019).

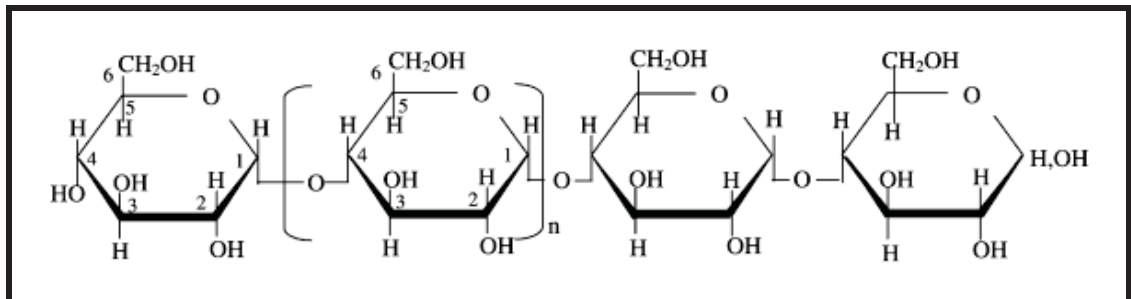
Quimicamente o amido é um homopolissacarídeo constituído por ligações glicosídicas entre monômeros de glicose, sendo estas responsáveis pela formação dos dois homoglicanos presentes em sua estrutura, a amilose e a amilopectina. Um grande emaranhado entre esses polissacarídeos, e outras moléculas que se configuram de forma intermediária entre eles, confere uma estrutura granular para o amido, diferente dos outros carboidratos. A proporção entre amilose e amilopectina varia de acordo com a matriz, podendo ser diferente para um mesmo tecido vegetal (ADITIVOS & INGREDIENTES, 2013; BeMILLER; HUBER, 2010; BERTOFT, 2017; LIU, 2005). Essa razão interfere muito nas propriedades do amido nativo. Dependendo da aplicação desejada, pode-se esperar uma fração mais pura de um dos polissacarídeos constituintes, seja amilose ou amilopectina. É o caso do amido

ceroso, cuja estrutura é formada praticamente por 100% de moléculas de amilopectina (LIU, 2005; NEWELL-McGLOUHLIN, 2010).

3.3.1 Amilose

As moléculas de amilose são estruturas poliméricas homoglicanas lineares, pois as unidades monoméricas são todas de natureza α -D-glicopiranosil, unidas entre si por ligações α -(1 \rightarrow 4), onde um dos finais da cadeia é de caráter redutor e o outro é não redutor (FIGURA 10). Entretanto, sabe-se da existência restrita de ramificações distantes na estrutura linear da amilose, podendo existir de 2 a 8 pontos de ramificação, a depender da fonte de amido. Esses ramos, que são ligados à cadeia principal por ligações α -(1 \rightarrow 6), não influenciam tanto nas propriedades da amilose, que continuam sendo relacionadas à porção linear (BeMILLER; HUBER, 2010; BULEON *et al.*, 1998; LIU, 2005).

FIGURA 10 - ESTRUTURA QUÍMICA DA AMILOSE.



FONTE: Tester; Karkalas; Qi (2004).

Tanto a cadeia principal quanto as ramificadas da amilose são longas, podendo conter cerca de 840 a 22.000 unidades monoméricas de glicose, o que justifica sua massa molar média equivalente a faixa de 136.000 a $3,5 \times 10^6$ (BeMILLER; HUBER, 2010; BERTOF, 2017; ELIASSON, 2004).

Apesar das ligações glicosídicas construírem uma estrutura majoritariamente linear, as moléculas de amilose se associam de modo a configurar um arranjo helicoidal/espiral, onde cada volta é dada pela união de seis 6 unidades de α -D-glicopiranosil. No interior dessa hélice encontra-se um meio hidrofóbico propício para complexação com moléculas de álcoois, iodo e lipídeos, enquanto no exterior estão várias hidroxilas envolvidas nas ligações intermoleculares, caracterizando o grande

potencial hidrofílico da amilose. A configuração mais linearizada juntamente com o potencial hidrofílico da molécula favorece o arranjo paralelo próximo entre moléculas de amilose, dificultando a hidratação do meio (BeMILLER; HUBER, 2010; DENARDIN; SILVA, 2009; ELIASSON, 2004; LIU, 2005).

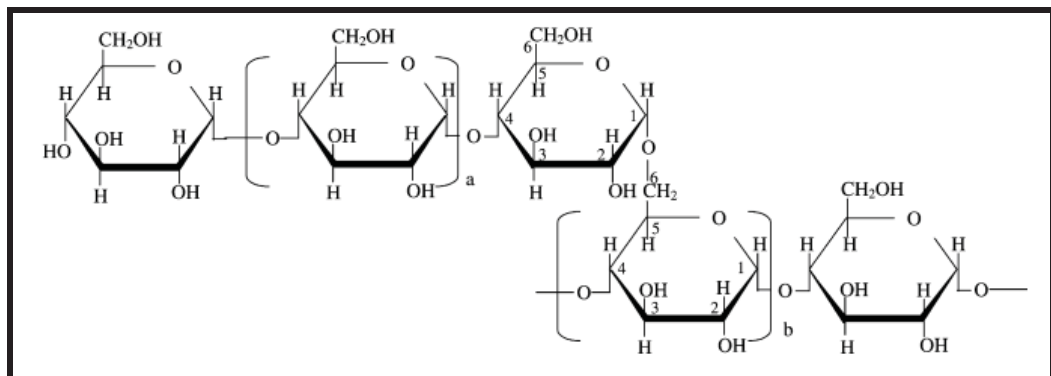
Geralmente, a maioria dos grânulos de amidos oriundos de matrizes conhecidas possui um teor de amilose na faixa de 15 a 25%, com exceção dos amidos cerosos, que tem apenas resquícios dessa molécula, e dos amidos mutantes, que detêm quantidades superiores as citadas (DENARDIN; SILVA, 2009).

3.3.2 Amilopectina

A amilopectina é o componente altamente ramificado da estrutura do grânulo de amido. Ela é formada pela união entre resíduos de α -D-glicopiranosil a partir das ligações α -(1 \rightarrow 4), sendo estas interligadas com maiores quantidades de pontos de ramificação (5 – 6%) unidos à cadeia principal por ligações α -(1 \rightarrow 6) (FIGURA 11). A estrutura básica da amilopectina é dada a partir da caracterização das 3 cadeias A, B e C (FIGURA 12). A cadeia do tipo A nada mais é do que uma molécula originária da união dos resíduos de glicose por α -(1 \rightarrow 4), sem ramificações. Elas podem estar unidas às cadeias do tipo B graças às ligações α -(1 \rightarrow 6). Essa última é formada pelas mesmas ligações, α -(1 \rightarrow 4) e α -(1 \rightarrow 6), contendo várias cadeias do tipo A e podendo se ligar a outras cadeias do tipo B através de ligações de hidrogênio. A cadeia de tipo C é composta por uma única molécula de amilopectina, formada por ligações α -(1 \rightarrow 4) e α -(1 \rightarrow 6), e possui um grupamento terminal redutor (BULEON *et al.*, 1998; LIU, 2005; PEAT; THOMAS; WHELAN, 1952).

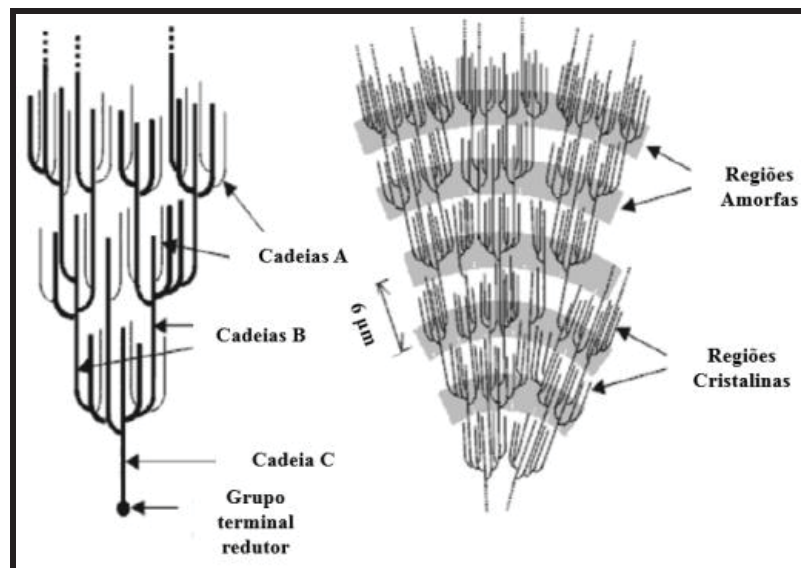
A molécula de amilopectina possui alto tamanho e grau de polimerização correspondente, sendo este na faixa de 60.000 a 3.000.000 resíduos de glicose, com uma massa molar variando entre 10^7 a 5×10^8 . Por essa razão que a amilopectina pode ser considerada uma das maiores moléculas da natureza. Sua estrutura altamente ramificada de caráter não aleatório é constituída por cadeias curtas que formam duplas hélices empacotadas, cujo papel na configuração das regiões cristalinas dos grânulos é imprescindível (FIGURA 12) (AI; JANE, 2014; BeMILLER; HUBER, 2010; BERTOFT, 2017; LIU, 2005).

FIGURA 11 - ESTRUTURA QUÍMICA DA AMILOPECTINA



FONTE: Tester; Karkalas; Qi (2004).

FIGURA 12 - ESTRUTURA MORFOLÓGICA DA AMILOPECTINA.



FONTE: Denardin e Silva (2009).

Presentes em todos os tipos de amidos, as moléculas de amilopectina constituem cerca de 75% dos grânulos, com exceção dos que são formados totalmente por esse tipo de estrutura, como é o caso dos amidos cerosos, ou ainda dos amidos *high* amilose (BeMILLER; HUBER, 2010; DENARDIN; SILVA, 2009).

3.3.3 Propriedades do amido

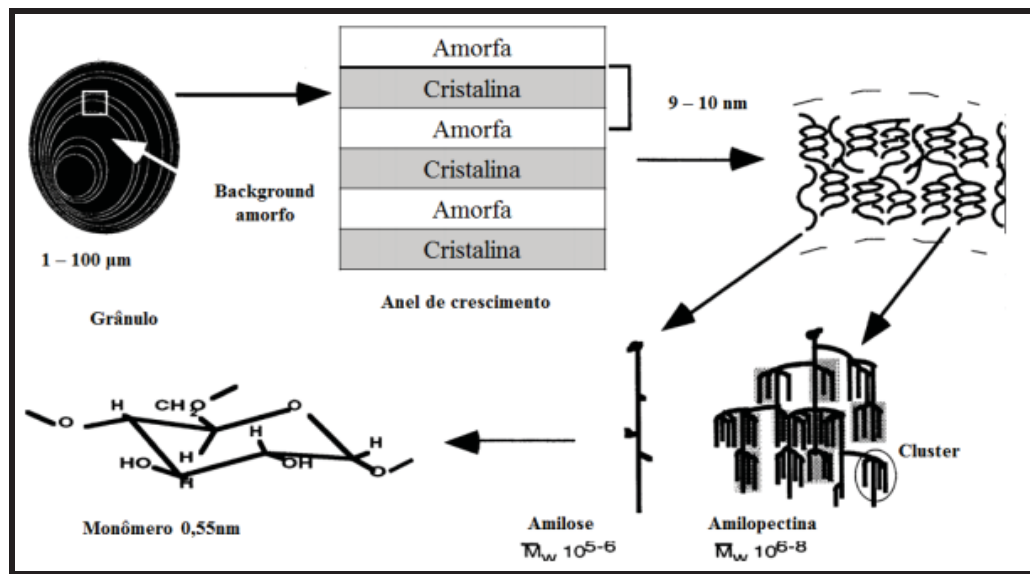
3.3.3.1 Propriedades Morfológicas

Sob a ótica molecular, sabe-se que os grânulos que constituem o amido são estruturas semicristalinas grandes, altamente organizadas e de conformação tridimensional complexa, entretanto possuem uma natureza que ainda precisa ser mais bem compreendida (BERTOF, 2017; LIU, 2005). A estrutura morfológica dos grânulos é dada por regiões cristalinas e amorfas (FIGURA 12). As primeiras são regiões densas e bem estruturadas, formadas majoritariamente pelas cadeias A e B da amilopectina, que são curtas e ramificadas, e que estão na forma de dupla hélices bem empacotadas. Já as zonas amorfas possuem baixa densidade e não apresentam uma conformação característica, sendo formada pelos pontos de ramificação das cadeias citadas e pelas moléculas de amilose (BeMILLER; HUBER, 2010; BULEON *et al.*, 1998; DENARDIN; SILVA, 2009; LIU, 2005; TESTER; KARKALAS; QI, 2004).

As ligações de hidrogênio mantidas entre as moléculas de amilose e amilopectina também são fundamentais na estruturação das regiões cristalinas e amorfas, contribuindo para o caráter heterogêneo do grânulo (FIGURA 13). Nas lamelas cristalinas, essas ligações são fortes e numerosas, enquanto nas lamelas amorfas ocorre o inverso. A estrutura semicristalina formada é influenciada grandemente pela quantidade de água intrínseca ao grânulo, principalmente graças a estabilização das ligações de hidrogênio e das estruturas de hélices das cadeias (BeMILLER; HUBER, 2010; LIU, 2005).

As lamelas cristalinas e amorfas estão orientadas dentro do grânulo de amido de forma radial, nos conhecidos anéis de crescimento do amido (FIGURA 13), sendo facilmente identificadas. A presença dos anéis concêntricos, onde há uma alternância de zonas cristalinas e amorfas, sugere que a conformação dos grânulos é dada pelo depósito regular do material recém-sintetizado na última camada, fazendo com que o grânulo cresça de tamanho. Logo, o centro “hilum” contém o terminal redutor, enquanto as moléculas de amilose e amilopectina possuem os terminais não redutores que estimulam o crescimento da cadeia de forma radial, com a adição de moléculas de glicose (BULEON *et al.*, 1998; DENARDIN; SILVA, 2009; LIU, 2005).

FIGURA 13 - ESQUEMA DA ESTRUTURA MORFOLÓGICA DO GRÂNULO DE AMIDO.



FONTE: Adaptado de Buléon *et al.* (1998).

Os grânulos do amido são estruturas relativamente densas e com tamanhos variáveis de 1 a 100 µm de diâmetro, a depender da matriz. Essa medida é dada a partir do eixo mais longo do grânulo. Este pode conter poros em sua estrutura, aumentando sua área superficial e facilitando a permeabilidade da água (LIU, 2005). A distribuição do tamanho do grânulo pode ser caracterizada como unimodal, bimodal e trimodal, sendo a grande maioria bimodal (DENARDIN; SILVA, 2009). Quanto à forma, os grânulos podem ser redondos, ogivais, ovais e alongados, ou ainda planos, lenticulares ou poliédricos, onde cada matriz tem seu perfil próprio (BeMILLER; HUBER, 2010; BERTOF, 2017).

A cristalinidade dos grânulos de amido pode ser determinada pela difração em raios-x, onde identifica-se um padrão de cristalinidade do tipo A, B ou C. O tipo A é mais encontrado em cereais e apresenta cadeias externas curtas da amilopectina, não excedendo 20 monômeros de glicose, porém com alto grau de empacotamento de suas estruturas helicoidais. Dessa forma, os grânulos do tipo A têm maior densidade e menos espaços vazios disponíveis para as moléculas de água. Já o amido tipo B possui as cadeias externas das amilopectinas com tamanhos maiores (mais de 22 moléculas de glicose) e menos compactadas, sendo estas mais abertas e hidratadas, podendo reter até 4 vezes mais água em sua estrutura. Esse tipo de grânulo é mais comum em tubérculos, frutas verdes, milho com altos teores de amilose e amidos retrogradados. Por fim, o tipo C é um intermediário entre os outros

dois e é mais encontrado em leguminosas e sementes (ADITIVOS & INGREDIENTES, 2013; ELIASSON, 2004).

3.3.3.2 Propriedades Térmicas

Os grânulos de amido possuem a solubilidade diretamente proporcional a temperatura do meio. Em água fria o amido pouco se hidrata, formando uma suspensão de baixa viscosidade. Assim, a absorção de uma certa quantidade de água é dada de maneira reversível, ou seja, os amidos intumescem e depois retornam ao seu tamanho original, quando submetidos à secagem. Contudo, quando essa solução é submetida a elevadas temperaturas o inchaço do grânulo pode se tornar irreversível, causando o colapso da estrutura semicristalina do amido e perda de suas propriedades. Esse processo é conhecido como gelatinização do amido (BeMILLER; HUBER, 2010; DENARDIN; SILVA, 2009; LIU, 2005).

Em maiores detalhes, a gelatinização se dá através da absorção de água por parte do grânulo sob aquecimento. A água penetra inicialmente no hilum e segue para as regiões amorfas, pois são mais suscetíveis devido a fragilidade das ligações de hidrogênio, para só então chegar nas zonas cristalinas. À medida que vai penetrando na estrutura do grânulo, a água quebra as ligações de hidrogênio existentes entre as moléculas de amilose e amilopectina e acaba por criar camadas de hidratação. Com essa solvatação, a estrutura morfológica do grânulo é perdida, principalmente devido à dissociação das duplas hélices das zonas cristalinas, fazendo com que os grânulos intumescam irreversivelmente e formem uma pasta de amido com alta viscosidade. Essa pasta é caracterizada por uma fase contínua de amilose solubilizada e/ou moléculas de amilopectina, e uma fase descontínua de grânulos remanescentes. Nesse momento o amido na forma de pasta perde suas propriedades, como cristalinidade e birrefringência (ADITIVOS & INGREDIENTES, 2013; AI; JANE, 2014; BeMILLER; HUBER, 2010; DENARDIN; SILVA, 2009; LIU, 2005).

Alguns fatores que influenciam diretamente no processo de gelatinização devem ser levados em consideração. O principal deles é a faixa de temperatura na qual ele ocorre, variando de acordo com a especificidade de cada matriz e suas respectivas heterogeneidades dos grânulos. Entretanto sabe-se que amidos com maiores teores de amilose possuem menor temperatura de gelatinização. A

proporção de água:amido, para que haja uma maior solubilização, e a taxa de cisalhamento do processo, que auxilia no rompimento granular, devem ser suficientes para que ocorra total gelatinização. Muitas vezes é necessário grande quantidade de água e altas taxas de cisalhamento para que não haja excesso de grânulos cristalinos remanescentes. Em contrapartida poderá haver respectivas consequências, como maior lixiviação de compostos e diminuição da viscosidade da pasta (BeMILLER; HUBER, 2010; DENARDIN; SILVA, 2009; ELIASSON, 2004).

Quando resfriada ou envelhecida, a pasta de amido formada na gelatinização se torna um gel viscoelástico, rígido e firme, pois os grânulos possuem a capacidade de se reassociar parcialmente, principalmente através de ligações de hidrogênio fortemente estabelecidas. Esse processo, chamado de retrogradação, nada mais é do que uma tendência dos grânulos de amido de formarem uma estrutura cristalina diferente da do amido natural, onde as moléculas tendem a se tornar menos solúveis. Tanto a amilose quanto a amilopectina estão envolvidas no processo, sendo que a primeira realiza a retrogradação de uma maneira mais acelerada, enquanto a segunda demora devido à presença de muitas ramificações. Como resultado da retrogradação, o gel formado geralmente é opaco, com alta viscosidades e apresenta sinérese (expulsão de água) (ADITIVOS & INGREDIENTES, 2013; BeMILLER; HUBER, 2010; DENARDIN; SILVA, 2009).

A retrogradação pode até ser desejável na indústria de alimentos em certas aplicações, mas no geral é considerada um efeito indesejável, pois causa instabilidade na pasta do amido formada. Alguns fatores influenciam diretamente na taxa de retrogradação do amido, como sua matriz originária, a razão de amilose e amilopectina, temperatura empregada na gelatinização e resfriamento, tamanho dos grânulos e sua heterogeneidade, quantidade de água no meio, presença de solutos, dentre outros (BeMILLER; HUBER, 2010; LIU, 2005; SILVA, 2019).

3.3.3.3 Propriedades de Pasta

A viscosidade é um parâmetro de qualidade a ser controlado durante a formação da pasta na gelatinização do amido. Condições de fluidez, resistência mecânica e tendência à retrogradação são importantes de serem conhecidos, pois interferem diretamente no processamento do amido (SILVA, 2019).

A pasta nada mais é do que o resultado da gelatinização do amido, como descrito anteriormente. No geral, essa pasta é tida como um sistema de duas fases, onde a fase dispersa é formada pelos grânulos de amidos intumescidos, que são os responsáveis pelo desenvolvimento da viscosidade, e a fase contínua, que é um meio aquoso com moléculas de amilose lixiviadas. Devido às condições de processo, como temperatura e cisalhamento, a pasta pode desenvolver diferentes tipos de viscosidade (LIU, 2005).

3.4 FARINHAS NÃO CONVENCIONAIS

De acordo com a FAO, em 2014 cerca de 1,3 bilhões de toneladas de alimentos foram desperdiçados no mundo, quantidade que seria suficiente para matar a fome de cerca de 2 bilhões de pessoas (FAO, 2014). O Brasil é um país que, devido aos hábitos de consumo de sua população, contribui de forma significativa para esse cenário (EMBRAPA, 2019). Além da fome, outro problema elencado diretamente com o elevado desperdício de alimentos está relacionado ao seu descarte, tendo em vista que o elevado volume de matéria orgânica tem grande potencial de poluição do meio ambiente (RAMOS *et al.*, 2020).

Um dos grandes representantes de resíduos de alimentos vem do setor de processamento de hortifruti, principalmente: cascas, peles, hastes e sementes. Muitos estudos vêm provando a riqueza nutricional dessas matrizes na forma de farinhas não convencionais, fazendo com que elas sejam capazes de integrar o sistema produtivo a partir do desenvolvimento de novos alimentos. Então além do mercado oferecer uma maior variedade de alimentos saudáveis, o impacto ao meio ambiente é reduzido, fortalecendo assim a segurança alimentar e a sustentabilidade (DANESI; BOLANHO, 2011; RAMOS *et al.*, 2020).

Por exemplo, sementes de frutos nativos não convencionais estão sendo estudadas para fins industriais na área de alimentos, seja na elaboração de farinhas, filmes biodegradáveis ou obtenção amidos. Esses produtos obtidos das sementes podem ser utilizados na elaboração de muitos alimentos, como pães, bolos e massas ou até mesmo na substituição de amidos em emulsões cárneas (CARPINÉ *et al.*, 2020; MANIGLIA *et al.*, 2017; MANIGLIA; TAPIA-BLÁCIDO, 2016; BARBI *et al.*, 2018).

Com isso, a semente de jambo-vermelho, ainda pouco explorada, pode ser uma alternativa de grande valor para a indústria, principalmente a do ramo alimentício. Para isso, é necessário que se tenha uma caracterização mais completa da farinha dessa matriz, seja em função de suas propriedades tecnológicas, bioativas, funcionais ou mesmo de investigação quanto a possível presença de amido ou outros constituintes.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 OBTENÇÃO DAS SEMENTES E PREPARO DA FARINHA

A obtenção das sementes foi realizada em um jardim particular, no município de Parnamirim, estado do Rio Grande do Norte – Brasil (5°56'51.1"S 35°16'16.6"W), durante o final de dezembro de 2020 e o começo de janeiro de 2021. Inicialmente os frutos maduros, indicados pela coloração arroxeada, foram coletados ao caírem das árvores e seguiram para higienização em água corrente. Foram então despulpados, com o auxílio de uma faca de aço inox, tendo suas sementes removidas. Em seguida elas foram submetidas a congelamento (-18 ± 2 °C) em freezer convencional e seguiram para transporte dentro de caixas térmicas para o Laboratório de Compostos Bioativos, do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos (PPGEAL) da Universidade Federal do Paraná (UFPR).

As sementes foram secas em estufa de circulação e renovação de ar (SolidSteel) a 40 ± 2 °C por 24 h, sendo posteriormente cortadas com o auxílio de uma faca de aço inox em tamanhos menores e devolvidas para a estufa por mais 24 h. Em seguida foram trituradas previamente em liquidificador doméstico para a obtenção de uma farinha mais grossa, que teve sua granulometria reduzida no moinho de facas (Marconi – MA 630/1). Finalmente essa farinha mais fina foi passada em peneira metálica (100 mesh – 0,110 mm), embalada a vácuo e submetida a temperatura de congelamento (-18 ± 2 °C) em freezer convencional até sua utilização.

4.1.1 Rendimento da Farinha

A fim de saber quanto que as sementes frescas do jambo-vermelho geraram de farinha, foi calculado o respectivo rendimento a partir de sua massa total utilizada antes das etapas de secagem e redução de tamanho e da massa da farinha obtida ao final do processo. O rendimento foi calculado conforme a EQUAÇÃO 1 abaixo.

$$\text{Rendimento de farinha (\%)} = \frac{\text{Massa da farinha obtida (g)}}{\text{Massa inicial das sementes (g)}} \times 100 \quad (1)$$

4.2 PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS

4.2.1 Composição Centesimal e Valor Energético

As análises de composição centesimal efetuadas para farinha da semente de jambo-vermelho foram executadas em triplicata a partir dos protocolos estabelecidos pela AOAC (2012). Elas foram realizadas no Laboratório de Análise de Alimentos, alocado no Departamento de Nutrição da UFPR.

O teor de umidade foi obtido por dessecação em estufa a 105 °C até massa constante (AOAC 926.12); proteínas totais foram realizadas pelo método de Kjeldahl, com fator de conversão de nitrogênio para proteína equivalente a 5,7 (matrizes vegetais); resíduos minerais fixos foram obtidos por incineração em mufla a 550°C (AOAC 945.46); e fibras alimentares solúveis e insolúveis, através do método enzimático-gravimétrico (AOAC 991.43). A fração lipídica foi avaliada por extração a frio, baseada no método de Bligh e Dyer (1959). O teor de carboidratos totais foi calculado pela diferença de 100 menos o somatório dos percentuais dos demais constituintes (umidade, resíduo mineral fixo, proteínas, fibras e lipídeos), enquanto a quantificação dos açúcares totais e açúcares redutores foi obtida pelos métodos colorimétricos de Dubois *et al.* (1956) e Somogyi-Nelson (NELSON, 1944; SOMOGYI, 1945), respectivamente. Já os açúcares não redutores foram obtidos pela diferença destes últimos. Por fim, o cálculo do valor energético foi reproduzido conforme o disposto pela Instrução Normativa nº 75 da ANVISA (BRASIL, 2020).

4.2.2 Determinação de Amido

Para determinar qualitativamente a presença de amido na amostra de farinha de semente de jambo-vermelho, utilizou-se o teste colorimétrico do Lugol, como preconizado pelo Instituto Adolf Lutz (2008).

4.2.3 Composição Mineral

A determinação dos minerais foi realizada de acordo com Piekarski-Barchik *et al.* (2021), com algumas modificações. As amostras foram preparadas a partir de uma digestão com HNO₃ concentrado e H₂O₂ 35% (v/v), onde 0,5 g de cada amostra

(em triplicata) foi submetida a aquecimento em chapa elétrica a 70 °C com imediata adição de 6,0 ml de HNO₃ concentrado. Ao atingir a ebulição, adicionou-se 1,0 ml de H₂O₂ 35% (v/v) e homogeneizou-se brandamente. Após cessar a ebulição da solução, adicionou-se mais uma alíquota de 1,0 ml de H₂O₂, repetindo o procedimento de homogeneização. Uma vez cessada a ebulição, a solução foi mantida a temperatura ambiente e filtrada em filtro seringa de 0,45 µm diretamente para um balão volumétrico de 25 ml, sendo o volume completado com água deionizada.

A determinação do conteúdo dos elementos minerais foi realizada no laboratório da PETROBRAS alocado no Departamento de Química da UFPR, em um espectrômetro de emissão óptica com plasma acoplado indutivamente (ICP – OES iCAP 6000 series - Thermo Scientific, Massachusetts, USA), com software Thermo iTeva Analyst versão 1.2.0.34. As condições experimentais aplicadas foram: fluxo do gás de plasma – 12,0 L.min⁻¹; fluxo do gás auxiliar – 0,5 L.min⁻¹; fluxo do gás de arraste – 0,7 L.min⁻¹; potência de radiofrequência (RF) – 1,15 kW; e tempo de estabilização – 10 s. Os comprimentos de onda dos elementos analisados variaram de 182,034 nm até 766,490 nm. A calibração foi obtida com padrões de soluções aquosas, onde as curvas analíticas foram construídas a partir de uma solução padrão multielementar contendo Ag, Al, B, Bi, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Li, Mg, Mn, Na, Ni, Pb, S e Zn, e para os demais elementos (Mo, P e Se) foram utilizadas soluções padrão monoelementares. A faixa de concentração foi de 1,0 µg.L⁻¹ a 2,0 mg.L⁻¹ em meio de HNO₃ 1% (v/v).

4.2.4 Composição de Ácidos Graxos

O óleo oriundo da farinha da semente de jambo vermelho no estágio maduro foi extraído pelo método a frio de Bligh e Dyer (1959) e foi caracterizado quanto ao perfil de ácidos graxos a partir da cromatografia gasosa acoplada a espectrômetro de massa. A análise foi conduzida no Laboratório Multiusuário do Departamento de Química da UFPR.

O óleo passou por esterificação prévia a partir do proposto na metodologia de Hartman e Lago (1973), mas com algumas modificações. Ao todo, 100 mg do óleo foi pesado em tubo de ensaio com tampa rosqueável, com posterior adição de 1,5 ml de solução de NaOH em metanol (0,5 mol.L⁻¹). Os tubos fechados ficaram em

banho maria a 90 ± 2 °C por 10 min com imediato resfriamento em banho de gelo. Em seguida adicionou-se 4,5 ml de uma solução esterificante (2,0 g de cloreto de amônio em 60 ml de metanol e adição de 3 ml de ácido sulfúrico concentrado) e os tubos fechados foram levados novamente para banho maria a 90 ± 2 °C por mais 10 min. Após resfriamento à temperatura ambiente, adicionou-se 2,5 ml de hexano padrão HPLC e 2,0 ml de água destilada. Os tubos foram então agitados e levados para centrífuga até a separação das fases, com posterior coleta da fase sobrenadante, filtração em filtro de seringa de 0,45 µm e diluição em hexano padrão HPLC.

Finalmente, 1 µl da fase detentora dos ácidos graxos esterificados foi injetada no cromatógrafo de gás GC – 2010 plus (Shimadzu) acoplado ao Gas Chromatograph Mass Spectrometer GCMS-TQ8040 (Shimadzu), usando um injetor automático e um sistema de detecção de ionização de chama (FID). A injeção foi realizada em modo split (1:40) e a separação realizada em coluna de SH-Rtx-5MS (Shimadzu) (30 m x 0,25 mm x 0,25 µm). A temperatura de injeção foi de 50 °C, sendo ela mantida por 1 min. Em seguida o forno foi aquecido a 25 °C.min⁻¹ até 175 °C e depois a 4 °C.min⁻¹ até 230 °C. A temperatura final foi mantida por 20 min. O tempo de corrida total foi de 34 min e os compostos foram identificados pelo tempo de retenção dos ácidos graxos presentes na solução de hexano frente a padrões analisados nas mesmas condições.

Os dados foram tratados pelos softwares GCMS Postrun Analysis e GCMS Real Time Analysis solution, ambos da GCMS solution versão 4.20 (Shimadzu Corporation). O gráfico foi plotado a partir do software Origin versão 9.1 (OriginLab Corporation, Massachusetts, EUA). Os resultados foram expressos em porcentagem de área para cada respectivo ácido graxo encontrado.

4.2.5 Espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FTIR)

Com a espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FTIR) pôde-se investigar a estrutura molecular físico-química da farinha da semente de jambo-vermelho no estágio maduro a partir da metodologia descrita por Ikeda *et al.* (2021). A análise foi dada no modo de refletância difusa (DRIFT) a partir de um espectrofotômetro de infravermelho (Bruker Vertex 70), alocado no Departamento de Química da UFPR. A leitura da análise ocorreu em uma faixa espectral de 400 e

4.000 cm^{-1} , com resolução de 4 cm^{-1} e utilização de 1.024 scans. As curvas foram obtidas e tratadas a partir do software Origin versão 9.1 (OriginLab Corporation, Massachussets, EUA).

4.3 PROPRIEDADES FÍSICAS E TECNOLÓGICAS

4.3.1 Colorimetria

A análise colorimétrica foi dada pelo equipamento MiniScan XE (HunterLab, Riston, Virgínia, EUA), conforme método indicado por Costa *et al.* (2021). Os dados numéricos consistem na determinação dos parâmetros de luminosidade (L^*), com variação dos valores entre 0 (preto) e 100 (branco); e cromaticidade, dada pelas coordenadas a^* e b^* , onde o valor de a^* corresponde à faixa entre as cores verde ($-a^*$) e vermelho ($+a^*$), e a coordenada b^* representa a variação entre as cores amarelo ($+b^*$) e azul ($-b^*$), de acordo com o modelo de escala colorimétrica CIEL*a*b*. O colorímetro foi calibrado a partir de uma placa branca e preta para os parâmetros L^* , a^* e b^* avaliados. Aproximadamente 5,0 g das amostras foram pesadas e colocadas em cápsulas que serviram para padronização da superfície de apoio. A análise ocorreu à luz do dia em temperatura ambiente ($25 \pm 2^\circ\text{C}$), com três repetições.

4.3.2 Granulometria (tamanho das partículas)

O tamanho das partículas da farinha de semente de jambo-vermelho no estágio maduro foi obtido a partir da metodologia apresentada por Marques *et al.* (2013), com pequenas modificações. Uma porção de 50 g de farinha foi pesada e submetida à agitação em agitador de peneiras (MBL) a 50 rpm por 10 min. Foi utilizado um conjunto de 6 peneiras metálicas redondas, com aberturas de malha em ordem decrescente de mesh: 80, 100, 150, 170, 200, 250 e um anteparo. Os conteúdos retidos em cada peneira e no anteparo foram pesados e expressos em porcentagens de retenção de massa.

4.3.3 Densidade Aparente

A partir de adaptações na metodologia de Singh et al. (2010) foi determinada a densidade aparente. A amostra de farinha da semente foi pesada em uma proveta graduada de 10 ml. A proveta foi preenchida gradativamente com a amostra e, em intervalos regulares, sua base foi gentilmente batida sobre a bancada de forma a acomodar melhor as partículas da farinha. Esse processo foi feito até que o nível de 10 ml de volume fosse alcançado, sem haver mais variação do nível por acomodação das partículas. A densidade aparente foi calculada de acordo com a EQUAÇÃO 2 abaixo.

$$\text{Densidade aparente (g.cm}^{-3}\text{)} = \frac{\text{Massa da farinha pesada (g)}}{\text{Volume da proveta (cm}^3\text{)}} \quad (2)$$

4.3.4 Higroscopicidade

Para determinação da higroscopicidade da farinha da semente do jumbo-vermelho no estágio maduro adotou-se o método de Cai e Corke (2000). Nele, 2,0 g de amostra foram pesadas, em triplicata, e colocadas em placas de Petri à temperatura ambiente (25 ± 2 °C). As placas foram incubadas em um dessecador de vidro com umidade relativa controlada, a partir de uma solução de NaCl saturada (75%). Passada uma semana, as amostras foram pesadas novamente para aferição da umidade higroscópica (higroscopicidade) a partir do ganho de massa, sendo os resultados expressos em g de umidade por 100 g de sólidos secos.

4.3.5 Solubilidade

A metodologia proposta por Cano-Chauca *et al.* (2005) foi tomada como base para a execução da solubilidade da amostra de farinha de semente de jumbo-vermelho em água fria. Para isso 2,0 g de amostra, em triplicata, foram solubilizadas em béquer contendo 10 ml de água destilada à temperatura ambiente (25 ± 2 °C), onde essa mistura foi mantida sob agitação por 2 min. Transferida para um tubo Falcon de 50 ml, a solução foi centrifugada por 5 min a 3.500 rpm. Em seguida, uma alíquota de 5 ml do sobrenadante foi coletada e depositada em uma placa de Petri,

sendo essa submetida à secagem em estufa de circulação e renovação de ar (SolidSteel) a 105 ± 5 °C por 5 h. Após a pesagem da massa do sólido sobrenadante seco, a solubilidade foi calculada a partir da EQUAÇÃO 3 a seguir.

$$\text{Solubilidade (\%)} = \frac{\text{Massa do sólido sobrenadante seco (g)}}{\text{Massa inicial da farinha (g)}} \times 100 \quad (3)$$

4.3.6 Molhabilidade

Na obtenção da molhabilidade, foi seguida a metodologia proposta por Fuchs *et al.* (2006). Basicamente, 0,1 g de farinha de semente foi pesado, em triplicata, e dispersa delicadamente na superfície de um béquer contendo 100 ml de água destilada à temperatura ambiente (25 ± 2 °C), na ausência de agitação. A partir desse momento o tempo foi cronometrado até que a última partícula da amostra fosse totalmente molhada. O tempo, dado em segundos, que determinou a extensão da molhabilidade da amostra.

4.4 PROPRIEDADES MORFOLÓGICAS: MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV)

A microscopia eletrônica de varredura foi utilizada a fim de se avaliar as características morfológicas da farinha da semente de jambo-vermelho no estágio maduro. Para isso, micropartículas da amostra foram fixadas em suportes de fita de carbono e metalizadas com ouro através de um revestimento a vácuo (Denton Vacuum – Desk V). As imagens foram geradas pelo microscópio (Jeol, modelo JSM – 6010LA), alocado no Laboratório de minerais (LAMIR) da UFPR. Foram utilizados um potencial de aceleração de elétrons de 10 kV, spot size de 30 e aumento de 110 a 1.000x.

4.5 PROPRIEDADES ESTRUTURAIS: DIFRAÇÃO DE RAIOS-X (DRX)

Como método auxiliar para confirmação da presença de amido na farinha da semente de jambo-vermelho, obteve-se o perfil morfológico por difração de raios – X (DRX), no Laboratório de minerais (LAMIR) da UFPR. Para investigação do grau de

cristalinidade relativa dos amidos presentes na farinha, foi utilizado o difratômetro de raio-X (PANalytical – modelo EMPYREAN – S/N DY 1052), cuja radiação empregada foi de Cu K α ($\lambda = 1,5406 \text{ \AA}$), configurada a 40 kV e 30 mA. A aferição da radiação dispersa foi obtida a partir do intervalo angular na faixa de 5° a 50° (2θ), com uma velocidade de escoamento equivalente a $2^\circ.\text{min}^{-1}$, ao passo de $0,033^\circ$.

Tanto o difratograma quanto o seu índice de cristalinidade relativa foram determinados pelo software Origin versão 9.1 (OriginLab Corporation, Massachussets, EUA), onde este último foi obtido a partir da relação entre área cristalina e área total do difratograma.

4.6 PROPRIEDADES TÉRMICAS

4.6.1 Análise Termogravimétrica (TGA) e Termogravimetria derivada (DTG)

Para a obtenção das curvas termogravimétricas (TG) seguiu-se a metodologia proposta por Costa *et al.* (2021), mas com adaptações. A amostra de farinha foi previamente pesada (6 mg) em panelas de platina, e submetida a aquecimento, numa faixa de temperatura entre 30°C e 750°C , com taxa de aquecimento de $10^\circ\text{C}.\text{min}^{-1}$. O processo foi conduzido no Laboratório Multiusuário da Usina Piloto-A da UFPR, em um analisador térmico TGA 4.000 da Perkin Elmer (Perkin Elmer Inc., Waltham, Massachussets, USA) sob atmosfera de ar sintético, com fluxo em uma vazão equivalente a $50 \text{ mL}.\text{min}^{-1}$.

As porcentagens de perdas de massa foram avaliadas pelo software de análise de dados Pyris Manager (PerkinElmer Inc., EUA, versão 11.1). Com o mesmo software foram determinadas as respectivas variações de temperatura relacionadas à perda de massa e as temperaturas de pico dos eventos térmicos, obtidas a partir da termogravimetria derivada (DTG). O gráfico foi gerado pelo software Origin versão 9.1 (OriginLab Corporation, Massachussets, EUA).

4.6.2 Calorimetria de Varredura Diferencial (DSC)

O comportamento térmico da farinha de semente de jambo-vermelho no estágio maduro foi investigado quanto ao perfil de gelatinização dos grânulos de amido potencialmente existentes nessa matriz. A metodologia da Calorimetria de

varredura diferencial (DSC) foi utilizada segundo Barbi *et al.* (2018). A curva analítica foi obtida através do Calorímetro Exploratório Diferencial, modelo DSC 8000 (Perkin Elmer, EUA), cuja calibração foi previamente feita com índio, com grau de pureza equivalente a 99,99%, P.F. = 156,6 °C e $\Delta H = 28,56 \text{ J.g}^{-1}$. A análise foi realizada no Laboratório Multiusuário da Usina Piloto-A da UFPR.

Ao todo 6 mg da amostra foram pesadas e hidratadas em água ultrapura, na proporção 1:4 (farinha:água, m/m). Alíquotas de 12-15 mg foram submetidas a aquecimento de 0 até 100 °C ($10 \text{ }^{\circ}\text{C.min}^{-1}$) em painéis de alumínio de 50 μL . Esse processo ocorreu sob atmosfera de nitrogênio, com fluxo de 50 mL.min^{-1} . Finalmente a amostra aquecida foi deixada em repouso durante 30 min para intumescimento dos grânulos de amido. Os dados foram avaliados pelo software Pyris Manager (PerkinElmer Inc., EUA, versão 11.1) e a curva obtida pelo software Origin versão 9.1 (OriginLab Corporation, Massachussets, EUA).

4.7 PROPRIEDADES DE PASTA: RAPID VISCO ANALYZER (RVA)

O comportamento de pasta da farinha da semente de jambo-vermelho, em função da possível presença de amido, foi obtido no Laboratório de Frutas e Hortaliças do departamento de Ciência dos Alimentos da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). A análise foi conduzida em Rapid Visco Analyser – RVA 4500 (Perten Instruments, Warriewood, NSW, Australia), de acordo com o método Standard 1 do software Thermocline for Windows, conforme recomendado pelos protocolos número 162 da International Association for Cereal Science and Technology (ICC, 1995) e 76-21 da American Association of Cereal Chemists (AACC, 1999). Os parâmetros avaliados foram: pico de viscosidade máxima, viscosidade de quebra, viscosidade final de pasta, tendência à retrogradação, tempo necessário para atingir o pico de viscosidade e a temperatura média de pasta.

Foi utilizada uma solução de 2,5 g da amostra em 30 ml de água destilada, sendo ela mantida no RVA a 50 °C durante 2 min, a fim de se determinar a viscosidade das amostras a baixas temperaturas. O aquecimento permaneceu, a uma taxa de $13 \text{ }^{\circ}\text{C.min}^{-1}$ até o alcance da temperatura de 95 °C, a qual foi mantida por 3 min. Em seguida, iniciou-se o decréscimo da temperatura, a uma mesma taxa constante, até alcançar 50 °C. Essa temperatura foi mantida por 2 min. A corrida total da análise durou 13 min. Os dados foram extraídos diretamente do software

Thermocline for Windows e a curva de viscosidade foi obtida com o software Origin versão 9.1 (OriginLab Corporation, Massachusetts, EUA).

4.8 ATIVIDADE ANTIOXIDANTE

4.8.1 Obtenção do Extrato

O extrato a ser utilizado tanto nas análises de capacidade antioxidante (DPPH, FRAP e ABTS) quanto na determinação de fenólicos totais e flavonoides totais foi preparado de acordo com o proposto por Barbi *et al.* (2018), com modificações. A amostra da farinha de semente de jambo-vermelho no estágio maduro foi pesada e diluída em solução de metanol 80% (v/v) na proporção de 1:5 (m/v). A solução foi submetida a banho ultrassônico por 30 min com temperatura ambiente mantida (25 ± 2 °C) para em seguida ser centrifugada a 3.500 rpm por 15 min. O sobrenadante foi filtrado em filtros de seringa de 0,45 μm e armazenado em frasco âmbar a -18 ± 2 °C na ausência de luz até as análises ocorrerem.

4.8.2 Capacidade de eliminação do radical DPPH

A atividade de eliminação do radical DPPH (2,2-dienil-2-picrilhidrazil) foi determinada de acordo com o método modificado de Brand-Williams *et al.* (1995). Foram adicionados 290 μL de solução de DPPH metanólica ($240 \mu\text{mol.L}^{-1}$) em 10 μL de extrato metanólico previamente preparado (Seção 4.8.1). O ensaio foi realizado no total de 8 replicatas em microplacas de 96 poços, cujas absorbâncias foram medidas após a mistura ter descansado por 30 min no escuro a temperatura ambiente (25 ± 2 °C). A leitura foi realizada através de um espectrofotômetro de microplacas (Epoch -Synergy-BioTek, EUA) em um comprimento de onda de 517 nm e o resultado foi expresso em mmol de Equivalente Trolox (ET) por 100 g de amostra.

4.8.3 Poder antioxidante redutor férrico (FRAP)

O ensaio de poder antioxidante redutor férrico (FRAP) foi determinado de acordo com a metodologia descrita por Benzie e Strain (1996), com modificações. O

reagente FRAP foi preparado por uma mistura de tampão acetato (300 mmol.L^{-1} e pH 3,6), TPTZ (10 mmol.L^{-1}) solubilizado em HCl (40 mmol.L^{-1}) e cloreto férrico (20 mmol.L^{-1}), na proporção 10:1:1 (v/v/v), respectivamente. Em seguida, $10 \mu\text{L}$ de extrato metanólico (Seção 4.8.1) foram colocados em poços de uma microplaca com 96 poços, em um total de 8 replicatas, com posterior adição de $290 \mu\text{L}$ do reagente FRAP preparado. As microplacas foram mantidas à temperatura ambiente ($25 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$) no escuro por 30 min. A absorbância foi medida por um espectrofotômetro de microplacas Epoch (Synergy-BioTek, EUA) em um comprimento de onda equivalente a 593 nm e os resultados foram expressos em mmol de Equivalente Trolox (ET) por 100 g de amostra.

4.8.4 Cátion radical ABTS

A análise de ABTS foi realizada conforme relatado por Re *et al.* (1999), com modificações. Foram preparadas soluções estoque de 7 mmol.L^{-1} de ABTS•+ (2,2-azino-bis-3- 38 etilbenzotiazolina-6-ácido sulfônico) e $2,45 \text{ mmol.L}^{-1}$ de solução de persulfato de potássio. A solução de trabalho foi misturada com cada solução mãe preparada e deixada reagir durante 16 h à temperatura ambiente no escuro ($25 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$). A solução foi então diluída misturando a solução de radical ABTS•+ com metanol para obter uma absorbância de 0,70 a 750 nm . Foram adicionados em poços de uma microplaca, num total de 8 replicatas, $10 \mu\text{L}$ de extrato metanólico (Seção 4.8.1) e $290 \mu\text{L}$ de solução diluída de ABTS•+ com posterior incubação das microplacas por 30 min em local escuro a temperatura ambiente ($25 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$). Em espectrofotômetro de microplacas Epoch (Synergy-BioTek, EUA) foram medidas as absorbâncias em comprimento de onda igual a 734 nm e os resultados foram expressos em mmol de Equivalente Trolox (ET) por 100 g de amostra.

4.8.5 Compostos Fenólicos Totais e Flavonoides Totais

Os compostos fenólicos totais do extrato metanólico (Seção 4.8.1) foram determinados pelo método colorimétrico de Folin-Ciocalteu descrito por Singleton *et al.* (1999), com pequenas modificações. Uma alíquota de $10 \mu\text{L}$ da solução de extrato foi misturada com $200 \mu\text{L}$ de água destilada e $10 \mu\text{L}$ do reagente Folin-Ciocalteu, onde foram deixados a temperatura ambiente ($25 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$) por 3 min para

reagir. Em seguida, adicionou-se 10 µL de solução de carbonato de sódio (20%) seguido de ligeira agitação e a mistura foi deixada em repouso durante 1 h na ausência de luz. A absorbância foi então medida a 720 nm em um espectrofotômetro de microplacas (Epoch - Synergy-BioTek, EUA) para as 8 replicatas realizadas. Os resultados foram expressos em mg de equivalentes de ácido gálico (EAG) por 100 gramas de amostra.

Já o teor de flavonoides totais foi quantificado também por método colorimétrico, mas dessa vez com cloreto de alumínio, a partir do proposto por Zhishen *et al.* (1999). Em resumo, 10 µL de extrato metanólico (Seção 4.8.1) foram misturados com 90 µL de nitrito de sódio em cada um dos poços das 8 replicatas. Esta solução reagiu por 5 min e, em seguida, 10 µL de uma solução de cloreto de alumínio a 10% foram adicionados às microplacas e a solução foi deixada reagir por mais 5 min a temperatura ambiente (25 ± 2 °C) ao abrigo da luz. Em seguida, foram adicionados aos poços 90 µL de uma solução de hidróxido de sódio a 1 mol.L^{-1} e a absorbância foi medida no comprimento de onda de 517 nm por um espectrofotômetro de microplacas do modelo Epoch (Synergy-BioTek, EUA). Os resultados foram expressos em miligramas de equivalentes de catequina (EC) por 100 gramas de amostra.

4.9 DETECÇÃO DE GLICOSÍDEOS CIANOGENICOS

Os glicosídeos cianogênicos são substâncias que quando hidrolisados liberaram o ácido cianídrico (HCN), cuja toxicidade é elevada. A determinação qualitativa dessas substâncias na farinha de jambo-vermelho no estágio maduro foi realizada de acordo com Harborne (1972), onde na presença de glicosídeos cianogênicos há uma reação com ácido pícrico (carbazotic acid or 2,4,6-trinitrophenol) e carbonato de sódio resultando na liberação do HCN e na formação do composto isopurpuato de sódio, cuja coloração é castanho-avermelhada. O desenvolvimento dessa coloração indica potencial toxicidade das amostras.

4.10 EXTRAÇÃO ÁCIDA DE AMIDO

A fim de se obter uma quantificação da presença de amido na farinha da semente de jambo-vermelho, utilizou-se a extração com ácido ascórbico, pois ela é

considerada uma extração verde dada natureza do ácido fraco envolvido. A metodologia utilizada esteve de acordo com Maniglia e Tapia-Blácido (2016), com adaptações.

No total, 150 g de farinha foi solubilizada em solução de ácido ascórbico a 1% na proporção de 1:3 (m/v). A mistura foi homogeneizada em liquidificador doméstico por 3 minutos e passada em peneira metálica de 100 mesh, para separação do extrato ácido, que seguiu para refrigeração ($5 \pm 2^{\circ}\text{C}$) durante 24 h.

Passado o tempo necessário, o extrato foi dividido em tubos falcon, que seguiram para centrifugação a 5.000 rpm por 15 minutos. O sobrenadante foi descartado cuidadosamente e o decantado foi ressuspenso em solução de ácido ascórbico para ser novamente centrifugado. Esse processo foi realizado por três vezes consecutivas. Só então o decantado foi suspenso em água destilada e a solução foi neutralizada a partir da adição NaOH até atingir pH 7,0, cujo acompanhamento foi feito por fitas indicadoras de pH. Em seguida, a solução neutralizada foi filtrada a vácuo em papel filtro (80g com abertura de 150 mm) e este levado para estufa de circulação de ar para secagem ($40 \pm 2^{\circ}\text{C}$) durante 24 h. Finalmente o material amiláceo seco foi retirado dos papéis filtro, macerado em almofariz, peneirado em peneira metálica de 150 mesh e pesado para cálculo de rendimento.

O rendimento da extração ácida foi calculado conforme a equação 4 abaixo.

$$\text{Rendimento de amido (\%)} = \frac{\text{Massa do amido obtido (g)}}{\text{Peso inicial da farinha (g)}} \times 100 \quad (4)$$

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 RENDIMENTO DA FARINHA

A proporção de semente do fruto do jambo-vermelho no estágio maduro correspondeu a 11,9% do fruto, enquanto o rendimento da farinha obtida a partir das sementes frescas foi equivalente a 59,5 %, sendo esse valor bem superior ao encontrado por Mahawan *et al.* (2015), que obtiveram 32,9% de rendimento para a farinha de semente de abacate, por exemplo. Considerando-se desprezível a perda de massa de farinha durante o processo de secagem e as etapas de redução de tamanho (trituração, moagem e peneiramento), pode-se considerar que 40,5 % da massa inicial das sementes corresponde a água eliminada na secagem.

5.2 PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS

5.2.1 Composição Centesimal e Valor Energético

Não existem dados na literatura a respeito da composição centesimal da semente de jambo-vermelho, ou mesmo de sua farinha, para que sejam feitas comparações diretas. Dessa forma, os dados apresentados a seguir são inéditos e vêm para consagrar a farinha não convencional de semente de jambo-vermelho maduro como uma alternativa nutricionalmente viável para consumo.

A TABELA 3 a seguir traz a composição centesimal e o valor energético da farinha da semente do jambo-vermelho no estágio maduro.

TABELA 3 – COMPOSIÇÃO CENTESIMAL E VALOR ENERGÉTICO DA FARINHA DA SEMENTE DE JAMBO-VERMELHO NO ESTÁDIO MADURO

Composição centesimal %	
Umidade (g.100g ⁻¹)	12,50 ± 0,55
Cinzas (g.100g ⁻¹)	2,96 ± 0,06
Proteínas (g.100g ⁻¹)	4,63 ± 0,14
Lipídeos (g.100g ⁻¹)	4,48 ± 0,11
Fibras alimentares totais (g.100g ⁻¹)	37,25 ± 0,00
Fibras solúveis (g.100g ⁻¹)	1,14 ± 0,08
Fibras insolúveis (g.100g ⁻¹)	36,11 ± 0,33

Carboidratos (g.100g ⁻¹)	38,18 ± 0,56
Açúcares totais ¹ (g.100g ⁻¹)	9,13 ± 0,25
Açúcares redutores ¹ (g.100g ⁻¹)	0,78 ± 0,00
Açúcares não redutores ¹ (g.100g ⁻¹)	8,35 ± 0,25
Valor energético (kcal.100g ⁻¹)	360,56

NOTA: ¹teor em g de glicose em 100g de amostra

FONTE: Autor (2021).

Utilizando-se como base a legislação brasileira para cereais, farinhas amidos e farelos, pode-se admitir que a umidade da farinha de semente de jambo-vermelho (12,50%) está dentro dos 15 % estabelecidos como limite para comercialização desses produtos no mercado (BRASIL, 2005). A baixa umidade é um fator desejável para produtos secos tendo em vista uma maior estabilidade no armazenamento (MELO *et al.*, 2021).

O valor energético dessa matriz é similar aos das farinhas amplamente comercializadas, como milho (351 kcal), trigo (360 kcal), arroz (363 kcal) e mandioca (361 kcal) (NEPA, 2011), sendo inferior aos das farinhas não convencionais de semente de bacupari (*Garcinia brasiliensis* (Mart.)) (382 kcal) (MELO *et al.*, 2021) e de semente de melão (*Cucumis melo L. var. reticulatus*) (425 kcal) (CUNHA *et al.*, 2020), por exemplo. Os carboidratos são os principais responsáveis pelo valor energético da farinha da semente de jambo-vermelho, visto que os teores de lipídeos e proteínas estão em quantidades bastante inferiores.

Mesmo não sendo muito significativo, o teor lipídico da farinha de jambo-vermelho (TABELA 3) é mais elevado que os das farinhas supracitadas: trigo (1,40 %), milho (1,50 %), arroz e mandioca (0,30 %) (NEPA, 2011), o que favorece sua aplicação em função de maior palatabilidade, saciedade e nutrição (SARASWAT *et al.*, 2021), por exemplo. A porção comestível liofilizada do fruto do jambo-vermelho (polpa e pele) também possui uma quantidade de lipídeos inferior em relação à farinha de sua semente, totalizando apenas 2,62 % (BATISTA *et al.*, 2017). Entretanto essa nova matriz farinácea possui teor bem abaixo do que a farinha de semente de melão, que apresenta 30,43 % de lipídios (CUNHA *et al.*, 2020).

As proteínas também não se sobressaem em sua composição centesimal, tendo seu conteúdo inferior tanto frente à porção comestível liofilizada do fruto (5,23 %) (BATISTA *et al.*, 2017) quanto às farinhas de trigo (9,80 %) e de milho (7,20 %).

Entretanto a farinha da semente de jambo-vermelho possui teor proteico superior às farinhas de arroz (1,30 %) e mandioca (1,20 %) (NEPA, 2011), e similar à farinha não convencional de semente de juçara (*Euterpe edulis* Mart.) (4,55 %) (CARPINÉ *et al.*, 2019).

As macromoléculas que mais se destacam na composição da farinha de semente de jambo-vermelho são os carboidratos, com destaque para subclasse de fibras. Cada um desses macronutrientes representa mais de um terço da composição da farinha, como pode-se observar na TABELA 3. Seu elevado teor de carboidratos (38,18 %) indica potencial utilização para obtenção de amido não convencional, como também sugerido por Ikeda *et al.* (2021) para a farinha não convencional de semente de achachairu (*Garcinia humilis*). Dentro dos carboidratos, os açúcares não redutores preminam na farinha da semente do fruto. Já os açúcares redutores se apresentaram em uma quantidade bem inferior quando comparada à porção comestível do fruto liofilizada (49,55 %), sendo esta última considerada rica nesses compostos (BATISTA *et al.*, 2017).

Contrariamente aos carboidratos, a quantidade de fibras da farinha de semente do jambo-vermelho supera, e muito, tanto o teor das farinhas comerciais de milho (5,50 %), trigo (2,30 %), arroz (0,60 %) e mandioca (6,40 %) (NEPA, 2011), quanto as quantidades das farinhas não convencionais de semente de durião (*Durio zibethinus* Murr.) (BARAHENG; KARRILA, 2019), mamoncillo (*Melicoccus bijugatus*) (MOO-HUCHIN *et al.*, 2020) e de achachairu (*Garcinia humilis*) (IKEDA *et al.*, 2021), cujos teores de fibras alimentares totais são de 0,90, 1,70 e 28,2 %, respectivamente. A predominância de fibras insolúveis (TABELA 3) em detrimento das solúveis nessa matriz ocorre da mesma forma na porção comestível liofilizada do fruto, que apresenta 27,92 e 5,62 %, respectivamente (BATISTA *et al.*, 2017), entretanto a farinha da semente detém um maior conteúdo de fibras insolúveis.

A Instrução Normativa nº 75 da ANVISA (2020) determina como alimento fonte de fibras o que possui em sua composição pelo menos 10 % do valor diário recomendável desses constituintes em sua porção. Como o documento preconiza que esse valor corresponde 25 gramas para as fibras alimentares, e que a porção de farinhas é correspondente a 50 gramas, pode-se alegar que a farinha da semente de jambo-vermelho é fonte desses macronutrientes. Além disso, alega-se também que essa matriz possui alto teor de fibras, já que supera os 20% do valor diário recomendado por porção da farinha.

A riqueza desses constituintes sugere a utilização da farinha para a produção de alimentos com apelo funcional, como por exemplo granola e barras de cereal. O consumo dos produtos derivados, ou mesmo da farinha *in natura*, que totalize 67,11 g de farinha, já supre a ingestão diária de fibras recomendada para um ser humano cuja dieta é equivalente a 2000 calorias (ANVISA, 2020). É importante ressaltar que benefícios para a saúde humana estão diretamente relacionados a ingestão de fibras alimentares, como controle da obesidade, prevenção e controle de doenças cardiovasculares, alguns tipos de câncer e diabetes, além da melhoria do trato intestinal (MERENKOVA *et al.*, 2020).

5.2.2 Determinação de Amido

O método qualitativo empregado indicou a presença de amido na farinha da semente de jambo-vermelho maduro a partir do desenvolvimento da coloração azulada. O mesmo foi observado por Ikeda *et al.* (2021) para a farinha não convencional de semente de achachairu. Essa confirmação, aliada ao elevado teor de carboidratos em sua composição, indica que a matriz farinácea pode ser potencial fonte de amido não convencional. Entretanto serão necessárias outras análises que venham caracterizar melhor esse potencial amiláceo diante de outras abordagens.

5.2.3 Composição Mineral

Do total dos 22 minerais investigados na farinha de semente de jambo-vermelho, os 13 elementos que foram detectados na matriz estão presentes na TABELA 4. O restante, correspondente a prata, bismuto, cádmio, cobalto, cromo, lítio, molibdênio, níquel e selênio não foram identificados na composição da farinha.

TABELA 4 – COMPOSIÇÃO MINERAL DA FARINHA DE SEMENTE DE JAMBO-VERMELHO NO ESTÁDIO MADURO

Elemento	Concentração (mg.100g ⁻¹)
Al	0,65 ± 0,16
B	0,59 ± 0,04
Ca	48,16 ± 3,11

Cu	4,02 ± 0,19
Fe	0,56 ± 0,03
K	857,43 ± 43,71
Mg	101,15 ± 7,06
Mn	0,16 ± 0,00
Na	46,68 ± 3,51
P	70,93 ± 3,08
Pb	0,10 ± 0,03
S	57,76 ± 4,73
Zn	0,38 ± 0,02

FONTE: Autor (2021).

A TABELA 4 indica que o mineral mais abundante na farinha de semente de jambo-vermelho é o potássio (K), seguido pelo magnésio (Mg), fósforo (P), enxofre (S), cálcio (Ca) e sódio (Na). Dentre eles, apenas o teor de K se apresenta superior ao da farinha de quinoa (*Chenopodium quinoa*) (552,80 mg.100g⁻¹), que contém maiores quantidades de P (415,40 mg.100g⁻¹), Mg (154,10 mg.100g⁻¹) e S (140,10 mg.100g⁻¹) (CONTRERAS-JIMÉNEZ; TORRES-VARGAS; RODRÍGUEZ-GARCÍA, 2019). Quando comparada à farinha não convencional de semente de melão, a farinha da semente de jambo-vermelho apresenta menores teores de K, Mg e P, desde que Cunha et al. (2020) determinaram para esses minerais 957,35, 504,03 e 1.507,62 mg.100g⁻¹, respectivamente. Porém, as quantidades de Ca e Na para a farinha de semente de jambo-vermelho são maiores frente a farinha de semente de melão (36,54 e 18,50 mg.100g⁻¹, respectivamente).

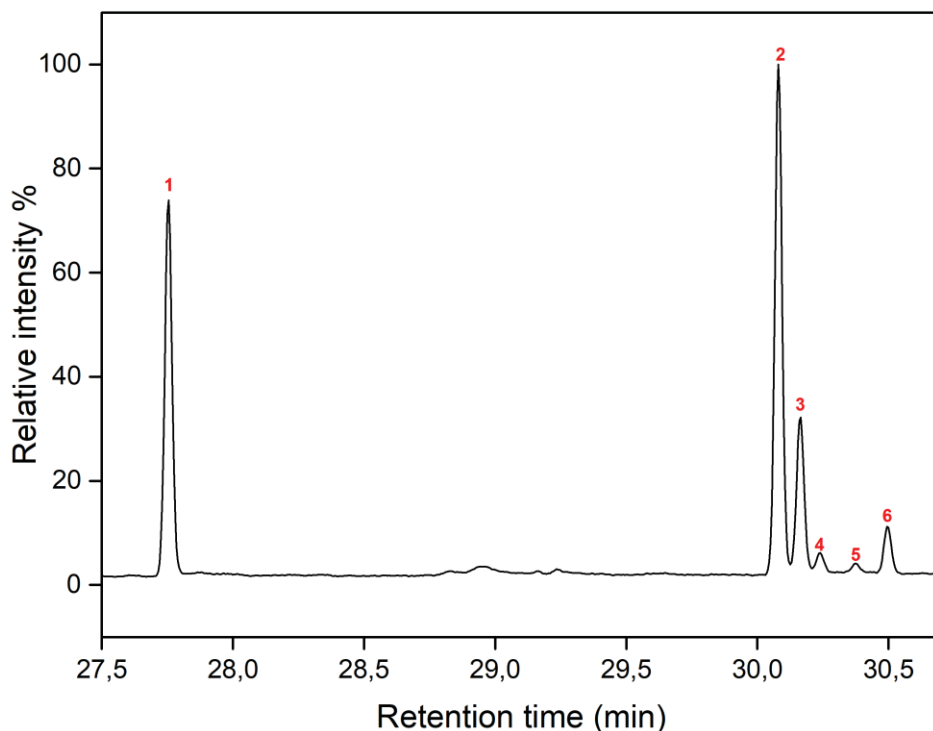
Tanto esses minerais mais abundantes quanto os encontrados em menor concentração (TABELA 4) conferem à farinha de semente de jambo-vermelho potencial utilização na produção de alimentos funcionais voltados para a suplementação de dietas, a fim de suprir as ingestões diárias recomendadas estabelecidas. O consumo de uma porção de 30 g de farinha de jambo-vermelho *in natura*, ou como ingrediente na formulação de pães, bolos, biscoitos, dentre outros, seria responsável por uma ingestão de 51 % de Se, 12% de Mg, 3% de P, 2% de Zn e 1% de Ca, Fe e Na, segundo os valores diários recomendados para homens e mulheres de 19 a 70 anos (ANVISA, 2020). Além disso, a utilização dessa matriz com foco na sua atividade antioxidante, atribuída a presença desses elementos (PIEKARSKI-BARCHIK *et al.*, 2021), pode ser abordada pela indústria alimentícia

com foco na produção de alimentos mais sustentáveis e potencialmente benéficos à saúde.

5.2.4 Composição de Ácidos Graxos

O perfil de ácidos graxos que integram a fração lipídica da farinha da semente de jambo-vermelho (TABELA 3) está representado no cromatograma da FIGURA 14. Foram encontrados ácidos graxos tanto saturados, como o palmítico e esteárico, quanto insaturados. Dentre esses últimos, se fizeram presentes os ácidos poliinsaturados linoleico e 8,11,14-docosatrienoico; e os ácidos monoinsaturados elaídico e vacênico. Entretanto, a predominância na matriz farinácea foi dos ácidos graxos insaturados, representando 62,78 % de área em concentração frente a 37,22 % de saturados.

FIGURA 14 – CROMATOGRAMA CORRESPONDENTE AO PERFIL DE ÁCIDOS GRAXOS DA FARINHA DE SEMENTE DE JAMBO-VERMELHO.



NOTA: 1: Ácido palmítico; 2: Ácido linoleico; 3: Ácido 8,11,14-docosatrienoico; 4: Ácido elaídico; 5: Ácido vacênico; 6: Ácido esteárico.

Fonte: Autor (2021).

Dos ácidos graxos identificados, o linoleico foi o mais abundante (44,17 %), seguido pelo palmítico (32,68 %), 8,11,14-docosatrienoico (14,7 %), esteárico (4,62 %), elaídico (2,26 %) e vacênico (1,52 %). O perfil dos ácidos graxos saturados foi similar ao encontrado para as farinhas de semente de abóbora (ÖZTÜRK; TURHAN, 2020) e melão (CUNHA *et al.*, 2020), as quais apresentaram predominância de ácido palmítico e esteárico. O ácido poliinsaturado linoleico também foi o de maior concentração nessas farinhas, que também destacaram a presença do ácido monoinsaturado oleico, cuja presença não foi detectada na farinha da semente de jambo-vermelho.

A predominância dos ácidos graxos insaturados confere à farinha da semente de jambo-vermelho potencial uso como ingrediente que diminua, ou mesmo substitua, o uso das gorduras saturadas habitualmente em uso, favorecendo mais uma vez sua aplicação em alimentos funcionais. Entretanto a presença dessas moléculas em maior quantidade torna essa matriz e seus alimentos derivados mais suscetíveis à degradação oxidativa (ÖZTÜRK; TURHAN, 2020).

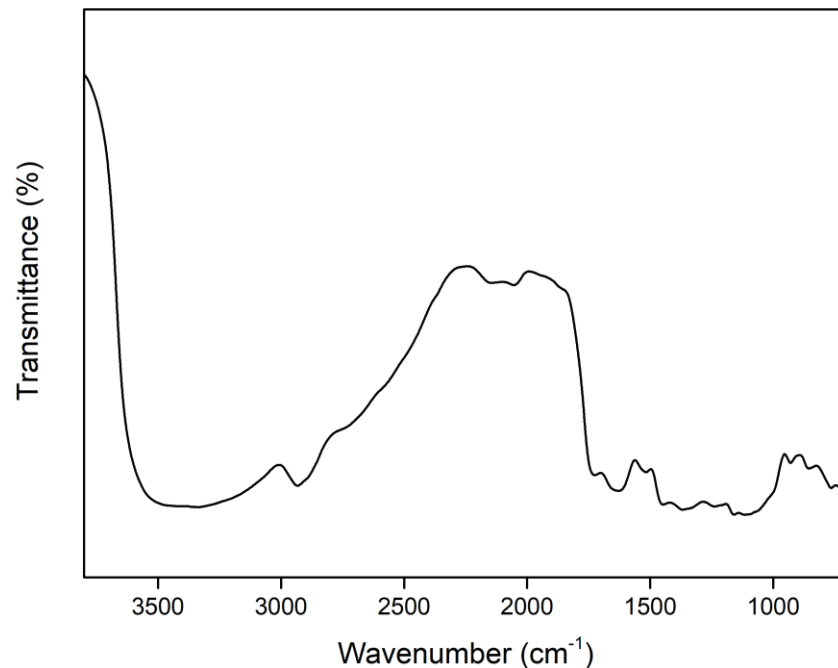
O caráter funcional dessas substâncias lipídicas presentes na nova farinha se dá devido a comprovações de benefícios à saúde humana quando estas são ingeridas na dieta. Evidências científicas indicam que os ácidos graxos insaturados são capazes não só de auxiliar no tratamento, mas principalmente na prevenção de doenças cardiovasculares, asma, alergias, constipação, além de desempenharem papel anti-inflamatório, antioxidante e regularem funções imunológicas (ASIF, 2015).

5.2.5 Espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FTIR)

A farinha de semente de jambo-vermelho apresentou manifestações intervaladas em quatro períodos, contabilizando dois picos de maior evidência, como pode ser observado no espectro da FIGURA 15.

A primeira vibração observada foi entre 3.700 e 3.200 cm^{-1} , aproximadamente, onde a região mostrou-se graficamente estável e contínua. Esta faixa corresponde à deformação axial das ligações OH (SILVERSTEIN; WEBSTER, 2006), cujo alongamento encontra-se precisamente em 3.400 cm^{-1} , porém pode apresentar deslocamento conforme a matriz, visto que na farinha de semente de cereja esta vibração foi detectada em 3.310 cm^{-1} (LIMA *et al.*, 2014).

FIGURA 15 – FTIR DA FARINHA DA SEMENTE DE JAMBO-VERMELHO



FONTE: Autor (2021).

Na segunda manifestação foi possível identificar um pico pontual em torno de 2.900 cm^{-1} . De acordo com Ning *et al.* (2009), nesta região há um indicativo da formação de ligações de hidrogênio derivadas da molécula D-glicose. O pico em 2.930 cm^{-1} corresponde ao alongamento CH, ligados a estes átomos de hidrogênio (TAPIA-BLÁCIDO; SOBRAL; MENEGALLI, 2010), afirmando, portanto, a presença deste açúcar. Contudo, neste mesmo pico, Lima *et al.* (2014) relacionou a banda com o alongamento CH presente no amido de farinhas provenientes de sementes frutíferas. Esta informação sugere característica amilácea para a farinha de semente do jambo-vermelho.

Outro pico, de menor intensidade, foi identificado em torno de 1.600 cm^{-1} . Os comprimentos de banda referentes à esta região exibem absorções relacionadas à vibração da molécula de água (ZHANG *et al.*, 2007). A farinha de semente de achachairu, cuja umidade corresponde à 15% (IKEDA *et al.*, 2021), e a farinha de casca de bacupari, com umidade em torno de 10% (MELO *et al.*, 2021), mostraram manifestação de pico similares. Estes dados corroboram com o conteúdo de umidade presente na farinha de semente de jambo-vermelho (12,5%). Contudo, ainda neste espectro, Lima *et al.* (2014) identificaram a presença de bandas características de proteínas, amida I e amida II, em farinhas produzidas a partir de

sementes de laranja e melão, constatando, portanto, similaridade na caracterização proteica presente na amostra de farinha da semente de jambo-vermelho.

Por fim, observou-se manifestação nas bandas abaixo de 1.400 cm^{-1} , com pequenos picos variados. Estruturas complexas, como fibras, compostas principalmente de ligações CH, CH₂, COH e OH, foram identificadas em vibrações correspondentes à 998 e 855 cm^{-1} (MOUSIA *et al.*, 2001). Além disso, valores abaixo de 900 cm^{-1} incluem os picos de absorção relacionados com a presença de ligações glicosídicas α -1,4 e α -1,6, características da cadeia de amido (GORDILLO *et al.*, 2014; HASANVAND *et al.*, 2015). Ambas as constatações convergem com a composição centesimal identificada na farinha de semente de jambo-vermelho, reforçando a propriedade funcional conferida pela presença de fibra alimentar e sugerindo potencial obtenção de amido a partir desta farinha.

5.3 PROPRIEDADES FÍSICAS E TECNOLÓGICAS

5.3.1 Colorimetria

A cor de um alimento é um atributo que influencia diretamente no poder de escolha dos consumidores. Dentre os parâmetros de cor da CIELAB avaliados para a farinha da semente de jambo-vermelho, a luminosidade (L^*) foi igual a $10,66 \pm 0,00$, e a cromaticidade, em função de a^* e b^* , equivalente a $4,68 \pm 0,01$ e $8,55 \pm 0,01$, respectivamente. Na escala, esses valores positivos e próximos de zero expressam que a cor da farinha é um marrom claro, como ilustrado na FIGURA 16.

A presença de elevado teor de fibras na farinha (TABELA 3) pode justificar essa coloração, tendo em vista que alimentos ricos em fibras alimentares apresentam cor em tons de marrom. Além disso, as sementes possivelmente sofreram escurecimento não enzimático, como a reação de Maillard, durante a etapa de secagem, tendo em vista a presença de proteínas e carboidratos em sua composição. Essa coloração possibilita a aplicação da farinha da semente de jambo-vermelho em sobremesas, biscoitos, pães e bolos, onde em muitos casos essa cor é desejada como atributo sensorial.

FIGURA 16 – FARINHA DA SEMENTE DE JAMBO-VERMELHO NO ESTÁDIO MADURO



FONTE: Autor (2021).

5.3.2 Granulometria (tamanho das partículas)

Na TABELA 5 pode-se observar a heterogeneidade da farinha quanto ao tamanho de suas partículas. A maior retenção mássica foi dada em granulometrias superiores a 150 mesh, chegando a mais de 80 % em massa, com predominância na peneira de abertura correspondente a 0,106 mm. Quando comparada às farinhas de semente de milheto, alpiste e níger, que tiveram maior porcentagem de retenção em peneiras de 30 e 35 mesh (0,6 e 0,5 mm) (LIMA *et al.*, 2021), a farinha de semente de jambo-vermelho apresenta uma composição de sólidos mais finos, pois possui uma menor granulometria. Essa diferença pode ser atribuída a natureza única das sementes e às diferentes variáveis do processo de obtenção das farinhas.

De acordo com Brito *et al.* (2019), quanto maior a granulometria das partículas de farinha retidas, maior o teor de fibras nesta porção. Por isso, as partículas sólidas da semente de jambo-vermelho de maior tamanho (<150 mesh) são de natureza predominantemente fibrosa, o que corrobora com a grande presença desses compostos em sua composição (TABELA 3). Além disso, é possível inferir que nessas estruturas estejam aprisionados outros constituintes, como os carboidratos amiláceos.

TABELA 5 – GRANULOMETRIA DA FARINHA DE JAMBO-VERMELHO EM FUNÇÃO DA RETENÇÃO MÁSSICA

Abertura das peneiras		
Mesh	Mm	Massa retida (%)
80	0,180	23,41
100	0,150	10,80
150	0,106	47,70
170	0,090	7,00
200	0,075	7,37
250	0,063	3,21
Base	0	0,51
Soma	-	100

FONTE: Autor (2021).

Amidos são partículas sólidas que possuem pequenos diâmetros, a depender da matriz de origem, como comprovado por Waterschoot *et al.* (2014), que determinaram o diâmetro médio para dos grânulos de amido de trigo (A: 0,017 mm e B: 0,003 mm), batata (0,029 mm), arroz (0,002 mm), mandioca (0,011 mm) e milho (0,013 mm). Com isso pode-se inferir que a natureza das partículas de farinha de semente de jambo-vermelho de granulometria inferior a 0,106 mm é potencialmente de natureza amilácea, onde sua retenção mássica somada foi equivalente a cerca de 18 % do total. A liberação dos amidos das estruturas fibrosas pode ter ocorrido principalmente em decorrência do tratamento dado às sementes, como na etapa de moagem, por exemplo.

5.3.3 Densidade Aparente

A densidade aparente da farinha de semente de jambo-vermelho está diretamente relacionada a predominância de partículas de maior tamanho em sua composição, partículas essas correspondentes às estruturas fibrosas, como discutido na Seção 5.3.2. Como grande parte do possível material amiláceo existente nessa matriz deve estar aprisionado nessas estruturas, a densidade aparente da farinha se torna mais elevada, corroborando com Plaami (1997), que afirma que a presença de estruturas poliméricas de amido livres reduz essa propriedade da farinha.

A densidade aparente da farinha de semente de jambo-vermelho, equivalente a $0,83 \pm 0,02 \text{ g.ml}^{-1}$, foi maior que a da farinha de trigo ($0,76 \text{ g.ml}^{-1}$) (CHANDRA; SINGH; KUMARI, 2015) e que as farinhas não convencionais de semente de abacate (*Persia americana*) ($0,72 \text{ g.ml}^{-1}$) (EMELIKE *et al.*, 2020) e de mamão papaia (*Carica papaya*) ($0,78 \text{ g.ml}^{-1}$) (KURE; INELO; DONALDBEN, 2021). Emelike *et al.* (2020) garantem que farinhas com elevada densidade aparente podem servir como espessantes em alimentos, sugerindo uma aplicação para a farinha de jambo-vermelho na indústria alimentícia.

5.3.4 Higroscopicidade

A higroscopicidade é uma propriedade física relacionada a capacidade de um alimento em absorver a umidade do ambiente que o cerca (SILVA *et al.*, 2019). Para a farinha da semente de jambo-vermelho, a higroscopicidade foi equivalente a $4,20 \pm 0,04 \%$, valor inferior ao encontrado por Melo *et al.* (2021) para a farinha da semente de bacupari (6,98 %), por exemplo. De acordo com um manual da Gea Niro (2005), os pós podem ser classificados a partir de sua higroscopicidade em: não higroscópicos (<10 %), levemente higroscópicos (10,1 - 15%), higroscópicos (15,1 – 20 %), muito higroscópicos (20,1 – 25 %) e extremamente higroscópicos (>25 %). Com base nessa classificação, é possível afirmar que a farinha da semente de jambo-vermelho é não higroscópica.

Essa característica pode ser atribuída a grande presença de fibras alimentares, principalmente as insolúveis, e lipídeos, tendo em vista o caráter mais hidrofóbico desses macronutrientes (BO *et al.*, 2017). Com essa maior resistência a absorção de água, pode-se pensar na utilização da farinha da semente de jambo-vermelho como um ingrediente de potencial ação antiúmectante natural, podendo ser utilizada em alimentos em que seja desejável evitar absorção de água, como produtos de panificação, granola e biscoitos, por exemplo.

5.3.5 Solubilidade

A solubilidade é uma outra propriedade física importante na área de alimentos, pois prevê a capacidade de absorção e distribuição de um material em um determinado meio, principalmente aquoso. A farinha da semente de jambo-

vermelho apresentou solubilidade de $9,42 \pm 0,75$ %, sendo mais solúvel que as farinhas comerciais de trigo e aveia (4 – 5 %) (SANTANA; OLIVEIRA FILHO; EGEEA, 2017) e a farinha não convencional de semente de bacupari (4,19 %) (MELO *et al.*, 2021), o que torna seu uso potencialmente interessante para a indústria, considerando que a água é o solvente mais utilizado nos processos. Esse valor encontrado pode ser explicado em virtude da majoritária presença de carboidratos, principalmente os açúcares, na composição dessa nova farinha (TABELA 3) e seu respectivo caráter hidrofílico.

Entretanto a solubilidade poderia ser ainda maior para a nova farinha, desde que a presença de fibras de caráter insolúvel e lipídeos tendem a reduzi-la. O potencial caráter amiláceo da matriz também atua na redução dessa propriedade, já que o amido apresenta baixa solubilidade em água fria (MELO *et al.*, 2021). Uma alternativa para elevar a solubilidade seria aumentar a temperatura, pois essa propriedade é diretamente proporcional a temperatura do meio (BARAHENG; KARRILA, 2019).

Pode-se perceber ainda que as propriedades de solubilidade e higroscopicidade (Seção 5.3.4) não corroboram totalmente. Isso pode ser explicado a partir das interações entre os carboidratos da farinha com as moléculas de água. Essas interações tendem a ser facilitadas em um meio aquoso quando comparado a um ambiente que contenha umidade no ar. Por isso, os carboidratos, que estão em sua maioria aprisionados nas estruturas fibrosas, tendem a ter um contato maior com água líquida, que penetra nas estruturas da farinha mesmo com uma certa resistência. Logo, essa nova farinha acaba por apresentar uma solubilidade mais significativa do que a higroscopicidade.

5.3.6 Molhabilidade

Pode-se afirmar que a molhabilidade da farinha de semente de jambo-vermelho em água fria é baixa, sendo ela inversamente proporcional ao tempo, que foi de $207,80 \pm 52,85$ s, mais elevado que o encontrado para a farinha da semente de bacupari (125 s) (MELO *et al.*, 2021). O elevado tempo necessário para que todas as partículas da farinha fossem molhadas ocorreu em virtude dos mesmos fatores apresentados anteriormente: grande quantidade de fibras na composição da farinha, principalmente as insolúveis; carga lipídica; presença de carboidratos

amiláceos. Esses fatores contribuem para maior dificuldade de penetração da água fria nas estruturas das partículas.

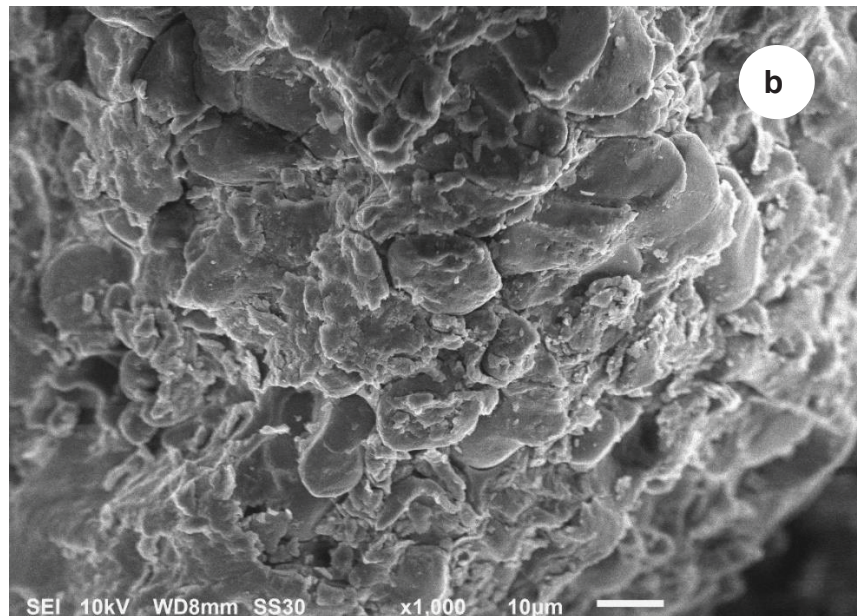
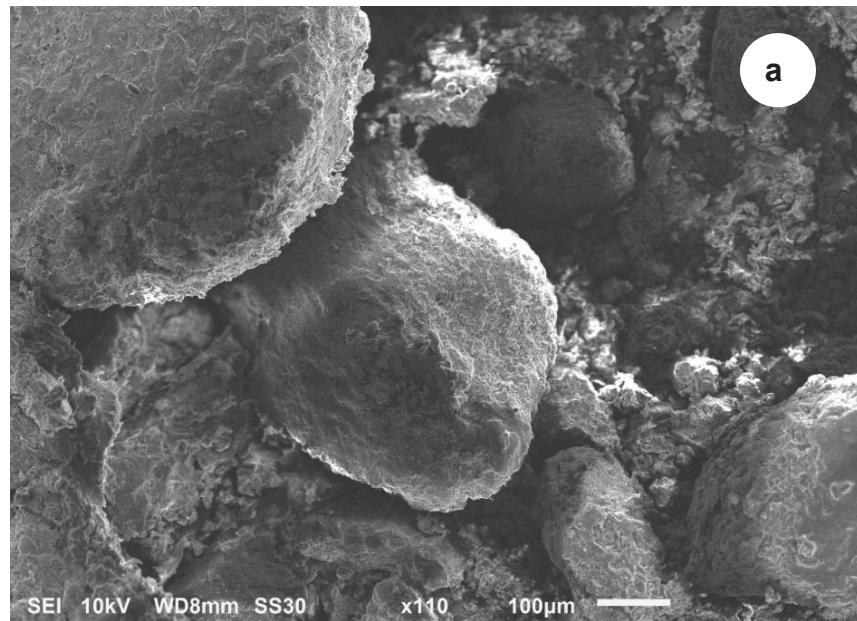
A densidade, fortemente relacionada aos tamanhos das partículas (Seções 5.3.2 e 5.3.3), também influenciou no elevado tempo necessário para molhabilidade total da farinha, pois com uma densidade menor que a da água, o conjunto de partículas sofre maior resistência a vencer a tensão superficial desse solvente e acabar se molhando completamente por ele.

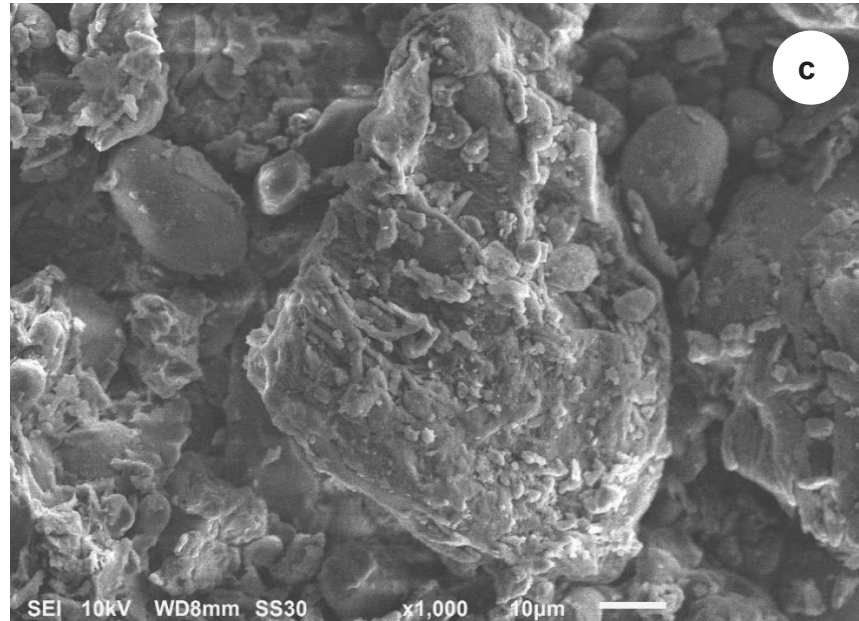
5.4 PROPRIEDADES MORFOLÓGICAS: MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV)

Com as micrografias geradas a partir da microscopia eletrônica de varredura, presentes na FIGURA 17, foi possível avaliar a morfologia das principais estruturas das partículas presentes na farinha da semente de jambo-vermelho. Dentre elas se destacaram grandes estruturas íntegras que podem ser observadas na FIGURA 17a, com ampliação de 110 vezes. Possivelmente são essas as partículas de natureza fibrosa que compuseram a maior fração mássica retida nas peneiras na análise de tamanho de partículas (Seção 5.3.2), sendo elas as maiores estruturas presentes na farinha.

Ao se aumentar o *spot size* para 1.000 vezes é possível perceber estruturas semelhantes a grânulos de amido aprisionados nessas grandes estruturas vegetais fibrosas (FIGURA 17b), endossando a hipótese levantada na Seção 5.3.2. Os processos físicos aos quais foi submetida a farinha podem ter promovido o rompimento dessas estruturas e a consequente liberação de alguns desses grânulos de amido, como ilustrado com maior clareza na FIGURA 17c. Grânulos estes cujas superfícies aparentam ser lisas e de forma granular geométrica oblonga, semelhante ao encontrado para a farinha da quinoa (CONTRERAS-JIMÉNEZ; TORRES-VARGAS; RODRÍGUEZ-GARCÍA, 2019).

FIGURA 17 – MICROGRAFIAS DA FARINHA DA SEMENTE DE JAMBO-
VERMELHO: A) 110X; B) 1.000X; C) 1.000X.





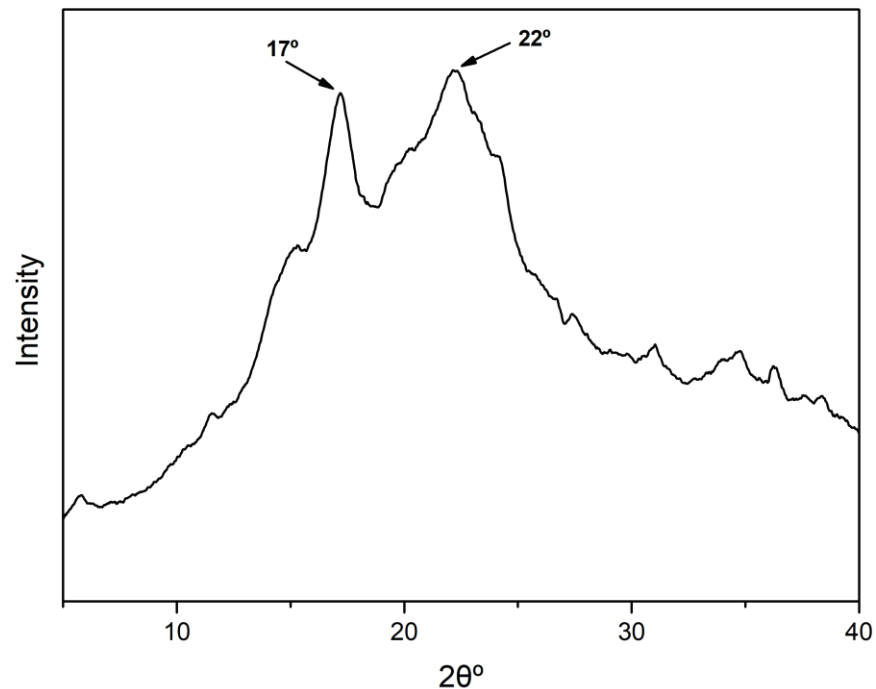
FONTE: Autor (2021)

5.5 PROPRIEDADES ESTRUTURAIS: DIFRAÇÃO DE RAIOS-X (DRX)

A leitura de difração de raios-x foi realizada como método adicional na investigação da presença de amido na farinha da semente de jambo-vermelho, desde que essa técnica é capaz de prever o arranjo tridimensional dos cristais de amido, fazendo com que seja possível a identificação das regiões cristalinas dos grânulos (ELIASSON, 2006).

A partir do difratograma apresentado na FIGURA 18, observa-se que a farinha da semente de jambo-vermelho apresenta dois picos mais significativos de cristalinidade que são característicos de amido, mais precisamente em $2\theta = 17^\circ$ e $2\theta = 20^\circ$. O padrão de cristalinidade encontrado foi similar ao determinado por Melo *et al.* (2021) para a farinha da semente de bacupari. Dessa forma os grânulos de amido existentes na farinha da semente de jambo-vermelho podem ser classificados como uma mistura de polimorfos do tipo A e B, sendo classificados assim como amido do tipo C.

FIGURA 18 – DIFRATOGRAMA DE RAIOS X PARA A FARINHA DA SEMENTE DE JAMBO-VERMELHO



FONTE: Autor (2021).

O grau de cristalinidade encontrado nessa matriz farinácea foi de 18,7 %, valor inferior ao determinado para as farinha de sementes de achachairu (32,1 %) (IKEDA *et al.*, 2021) e bacupari (80 %) (MELO *et al.*, 2021). Esse valor pode ter sofrido interferência direta da existência de outros compostos como fibras, proteínas e lipídeos. Ainda assim, segundo Cheetham e Tao (1998), o grau de cristalinidade é inversamente proporcional ao conteúdo de amilose presente na farinha, ou seja, quanto maior o grau de cristalinidade menor será o teor de amilose. Essa alegação corrobora com o fato de que as cadeiras laterais de duplas hélices das moléculas de amilopectina são as principais responsáveis pela zona cristalina dos grânulos de amido (YU *et al.*, 2013). Logo, o baixo grau de cristalinidade encontrado para a farinha da semente de jambo-vermelho indica a possível presença majoritária de moléculas de amilose na composição dos grânulos de amido, tendo assim grandes chances de ser de natureza high-amilose.

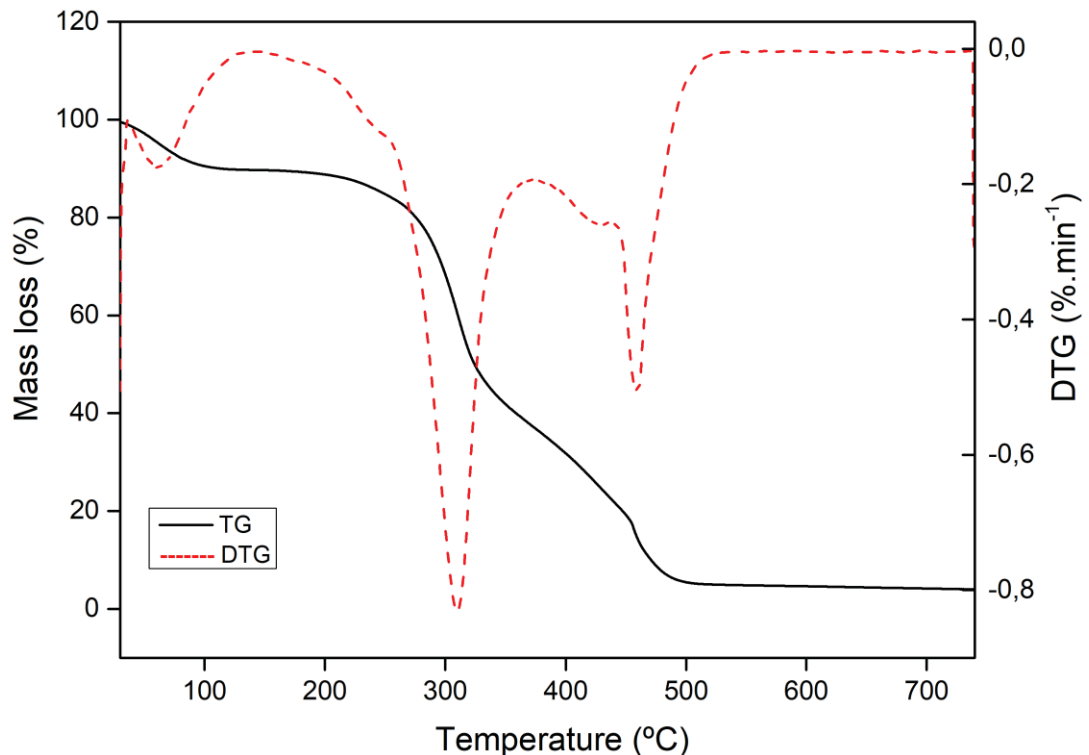
5.6 PROPRIEDADES TÉRMICAS

5.6.1 Análise Termogravimétrica (TGA) e Termogravimetria derivada (DTG)

A termogravimetria é uma ferramenta fundamental para se conhecer o comportamento térmico de um alimento. A partir dela é possível direcionar de uma forma precisa a aplicação industrial da farinha da semente de jambo-vermelho em diversas operações que envolvam grandes variações de temperatura.

Através da curva termogravimétrica, demonstrada na FIGURA 19, e dos dados apresentados na TABELA 6, é possível perceber três eventos térmicos principais que indicam perda de massa (Δm) para a farinha de jambo-vermelho. Esses eventos podem estar relacionados à desidratação (perda de água livre na multicamada), degradação de óleos, proteínas e fibras, gelatinização de amidos, além da oxidação de toda essa matéria orgânica, como observado para as farinhas de semente de bacupari (*Garcinia brasiliensis*) e achachairu (*Garcinia humilis*), em trabalhos realizados por Melo *et al.* (2021) e Ikeda *et al.* (2021), respectivamente.

FIGURA 19 – CURVA TERMOGRAVIMÉTRICA (TG) E DERIVADA TERMOGRAVIMÉTRICA (DTG) DA FARINHA DE SEMENTE DO JAMBO-VERMELHO



FONTE: Autor (2021).

TABELA 6 – EVENTOS TÉRMICOS E SEUS RESPECTIVOS PARÂMETROS OBTIDOS A PARTIR DAS CURVAS DE TG E DTG

Amostra	Eventos térmicos	Δm (%)	ΔT (°C)	T_p (°C)
Farinha	1	10	30 - 115	66
	Estabilidade	-	115 - 202	-
	2	65	202 - 436	315
	3	19	436 - 553	465

FONTE: Autor (2021).

O primeiro evento térmico para a farinha de jambo-vermelho (ΔT : 30 – 115 °C), corresponde ao processo de desidratação da amostra, ou seja, perda da água livre disponível na farinha, além de caracterizar o início da oxidação da matéria orgânica. Esse evento demonstrou que a farinha de jambo-vermelho teve uma perda de 10% da sua massa em umidade, corroborando de forma aproximada com o seu valor de umidade (TABELA 3). O primeiro, e menos significativo, pico da curva DTG corresponde ao evento de desidratação da matriz farinácea, cuja temperatura de pico (T_p) foi de 66 °C. Este comportamento é de grande valia para a indústria de alimentos, uma vez que elevadas perdas de umidade sob temperaturas não tão altas auxiliam na ampliação da vida útil de alimentos, dada a redução na taxa de deterioração, principalmente para os que já contenham baixos teores de umidade, como é o caso da farinha da semente de jambo-vermelho (BARBI *et al.*, 2018).

Antes do segundo evento térmico, na faixa correspondente a 115 – 202 °C, é possível verificar instabilidade térmica na amostra de farinha de jambo-vermelho, apesar desse intervalo ser conhecido por estabilidade térmica. Esse pré segundo evento indica decomposições consecutivas sofridas pela farinha, tornando a análise do seu comportamento térmico dificultada. A falta de estabilidade nessa porção da curva termogravimétrica está relacionada tanto com a presença de água remanescente, que permanece ligada na multicamada a outros componentes, quanto de proteínas, lipídios e carboidratos que começaram a sofrer os processos de degradação, oxidação e desintegração (HORNUNG *et al.*, 2018; MANIGLIA; TAPIA-BLÁCIDO, 2016). Bet *et al.* (2019) demonstraram que a farinha de amaranto sofreu sucessivas decomposições logo após o primeiro evento, apresentando também uma instabilidade antes do segundo evento térmico de degradação.

O segundo evento térmico corresponde a despolimerização dos carboidratos, associada a presença de amido (Seção 5.4 e 5.5) (MELO *et al.*, 2021),

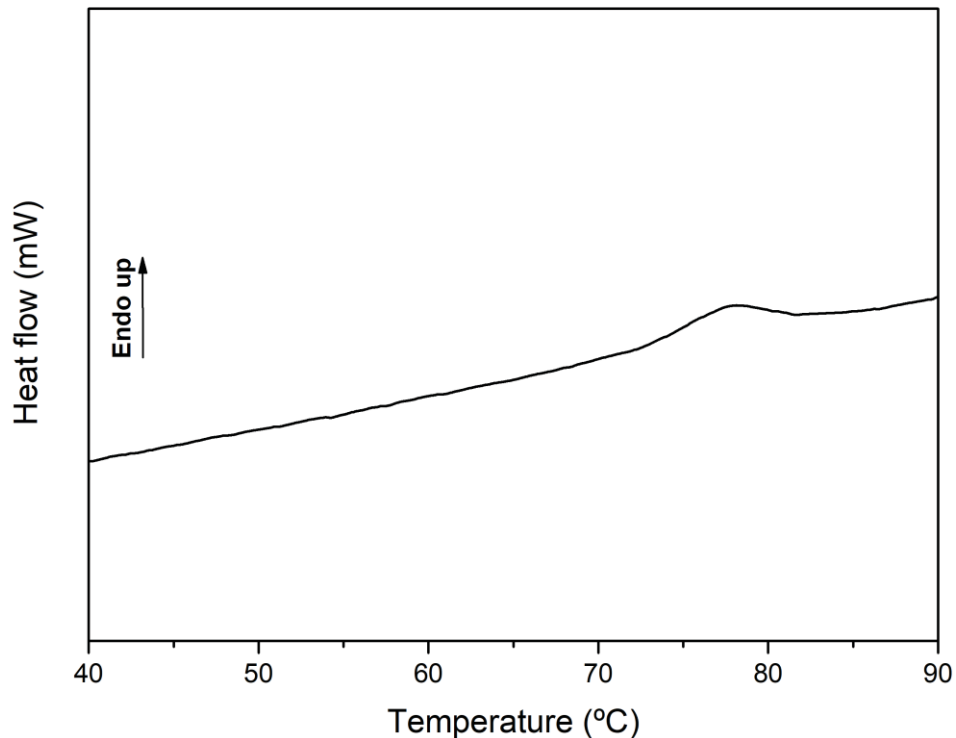
e degradação de proteínas, lipídeos e fibras. Por sua vez, para a amostra de jambo-vermelho, foi este evento que demonstrou a perda de massa mais significativa (65%), ou seja, a maior decomposição do material farináceo. Além disso, o segundo evento apresentou a maior faixa de temperatura (202 – 436 °C) relacionada à degradação de componentes. A associação entre a ampla faixa de temperatura e a maior quantidade de massa perdida é dada em função dos macroconstituintes presentes na farinha, principalmente dos carboidratos e fibras, pois estão em maior proporção (TABELA 3). Como esses componentes possuem diferentes temperaturas de degradação, existe uma dificuldade em prever a temperatura específica de perda de massa ocasionada pela degradação de cada um deles. Corradini *et al.* (2009), por exemplo, relacionam a ampla faixa térmica do segundo evento com a degradação sofrida por fibras como a lignocelulose e a lignina, uma vez que as duas apresentam uma faixa de temperatura de decomposição entre 200 e 530 °C, levando a um aumento na faixa de temperatura do segundo evento. Com isso, a grande quantidade de fibras na farinha da semente de jambo-vermelho pode justificar a elevada faixa de temperatura do segundo evento térmico.

De acordo com Ikeda *et al.* (2021) e Melo *et al.* (2021), o terceiro evento térmico descrito para farinhas não-convencionais é caracterizado pelo fenômeno da carbonização, onde ocorre a formação e fixação de resíduos minerais oriundos da matéria orgânica mediante a finalização da decomposição de ácidos graxos e outros componentes gerados pela despolimerização (MICIĆ *et al.*, 2015). O terceiro evento térmico para a farinha de jambo-vermelho foi compreendido na faixa de temperatura entre 436 °C e 553 °C. É interessante destacar a menor duração deste evento para essa matriz em comparação a outras farinhas não convencionais como as de semente de bacupari (390 – 532 °C) e achachairu (393 – 513 °C) (IKEDA *et al.*, 2021; MELO *et al.*, 2021). Além disso, é possível perceber que a perda de massa da matriz farinácea em estudo (19 %) nesse evento também foi ligeiramente menor do que a perda de massa para farinha de bacupari e achachairu (26,78 % e 23 %, respectivamente) (IKEDA *et al.*, 2021; MELO *et al.*, 2021). Essa diferença pode ter ocorrido em função da própria natureza orgânica das matrizes e pela ocorrência do terceiro evento para a farinha da semente de jambo-vermelho em uma maior faixa de temperatura, além dessa matriz ter tido maiores perdas nos eventos anteriores.

5.6.2 Calorimetria de Varredura Diferencial (DSC)

A curva do DSC (FIGURA 20) e seus respectivos dados obtidos para a farinha de jambo-vermelho permitiram identificar os eventos térmicos que estão relacionados ao fenômeno de transição vítrea. Como a matriz é uma farinha com presença de material amiláceo, como já discutido, o fenômeno térmico em enfoque será a gelatinização do seu amido, isso através do conhecimento dos parâmetros de temperatura inicial (T_i), temperatura de pico (T_p), temperatura final (T_f) e a entalpia de gelatinização (ΔH).

FIGURA 20 – CURVA DE DSC PARA A FARINHA DE SEMENTE DE JAMBO-VERMELHO



FONTE: Autor (2021).

De modo geral, a farinha obtida da semente de jambo-vermelho demonstrou uma ampla faixa de transição de temperatura, que variou de 73,48 a 82,34 °C, aliada a um baixo valor de ΔH (0,77 J/g). Esses resultados sugerem que a amostra necessitou de uma maior temperatura para sofrer a gelatinização em decorrência da presença de lipídeos e proteínas, por exemplo, pois esses diminuem a mobilidade da cadeia amorfa dos grânulos de amido (BISINELLA *et al.*, 2021; THOMAZ *et al.*, 2019). A faixa de temperatura de transição determinada foi mais elevada do que a

encontrada para a farinha não convencional de semente de achachairu (69.7 – 75.6 °C) (IKEDA *et al.*, 2021), que obteve menores teores de proteínas e fibras em relação à farinha da semente de jambo-vermelho.

Desta forma, percebe-se que o comportamento térmico de gelatinização dessa matriz farinácea é fortemente influenciado pela sua composição química centesimal. Eliasson, (2006) e Iturriaga *et al.* (2004) afirmam que a água absorvida pelos demais componentes estruturais da farinha durante o processo de gelatinização reduzem a carga hídrica, o que leva ao aumento das temperaturas de transição. Villarreal *et al.* (2013), por sua vez, sugerem que a presença de fibras na farinha é capaz de diminuir o nível de absorção de água por parte das amostras, causando alterações no fenômeno de gelatinização. Além do mais, esses componentes, associados a proteínas e lipídeos, agem como uma barreira física ao redor dos grânulos de amido, também diminuindo a absorção de água e atrasando a gelatinização (KONG; BAO; CORKE, 2009). Esses resultados corroboram com as análises de higroscopicidade, solubilidade e molhabilidade demonstrados previamente nas Seções 5.3.4 a 5.3.6.

O valor de entalpia (ΔH : 0,77 J/g) observado para a farinha da semente de jambo-vermelho pode também estar relacionado ao conteúdo lipídico da amostra. Iturriaga *et al.* (2004) afirmam que o baixo conteúdo lipídico é diretamente proporcional a baixa energia requerida para o fenômeno de gelatinização. Já de acordo com Hong *et al.* (2019), este comportamento pode também estar relacionado a cristalinidade do amido; uma vez que áreas cristalinas, que são mais ordenadas com suas estruturas complexas e organizadas, exigem uma maior energia para que ocorra a gelatinização. Este resultado está de acordo com os parâmetros obtidos através da análise difração de raios-X (DRX) (Seção 5.5), onde o grau de cristalinidade observado para a amostra foi de apenas 18%, indicando um potencial amido com elevado teor de amilose. Isso pode ser explicado pela capacidade da amilose existente nos grânulos de amido da farinha de formar complexos com outros componentes, especialmente lipídeos. A formação desses complexos influencia as propriedades funcionais da farinha, causando um aumento no pico de temperatura, que neste caso foi de 77.08 °C (FIGURA 20), e conseqüentemente alterando o valor de entalpia (ΔH) durante o processo de gelatinização (ZHU; WANG, 2013).

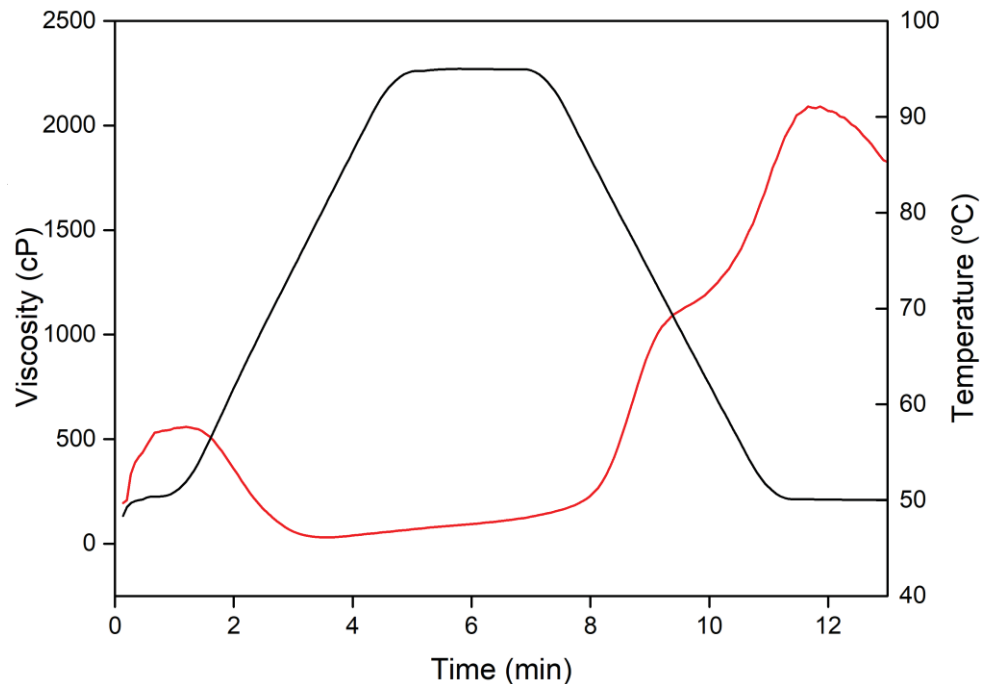
5.7 PROPRIEDADES DE PASTA: *RAPID VISCO ANALYZER* (RVA)

A avaliação das propriedades de pasta no Rapid Visco Analyzer (RVA) nos dá uma ideia de possíveis aplicações industriais para a farinha a partir de seu comportamento de pasta. Quando o amido é aquecido em excesso de água, seus grânulos intumescem e a organização cristalina decompõe-se para formar regiões amorfas. Essa desordem molecular é denominada gelatinização e resulta em um aumento de viscosidade (KOHYAMA *et al.*, 2004). Entretanto, existe uma certa limitação para aplicação dessa análise em farinhas não convencionais, já que as características de pasta por RVA são normalmente obtidas para farinhas com elevado conteúdo de amido, como a farinha de trigo comercial que possui entre 70 e 75% de amido (SCHEUER *et al.*, 2011), ou mesmo para amidos puros.

Os resultados para a viscosidade da farinha obtidos na análise RVA (FIGURA 21) mostraram consistência com as micrografias (FIGURA 17), teor de carboidratos (TABELA 3) e difratograma do DRX (FIGURA 18), no aspecto da presença de material amiláceo na farinha. Isso porque a farinha da semente de jambo-vermelho apresentou formação de pasta (FIGURA 21), reforçando a hipótese da presença de grânulos de amido em sua composição na farinha. Contudo, serão consideradas duas hipóteses relacionadas ao comportamento de pasta desenvolvido por essa matriz farinácea.

A primeira hipótese é que o pico de viscosidade de gelatinização encontrado para a farinha da semente de jambo-vermelho é o pico inicial correspondente a 586 cP, valor foi muito menor do que o da farinha de semente de durião (aproximadamente 2500 cP) (BARAHENG; KARRILA, 2019) e superior ao da farinha da semente de bacupari (aproximadamente 300 cP) (MELO *et al.*, 2021), indicando ser uma farinha não convencional de viscosidade de gelatinização intermediária.

FIGURA 21 - PERFIL DE PROPRIEDADE DE PASTA PARA A FARINHA DE SEMENTE DE JAMBO-VERMELHO



FONTE: Autor (2021).

Gutiérrez (2018) garante que a propriedade de pasta é grandemente influenciada pela relação amilose/amilopectina presente nos grânulos de amido de farinhas com elevados teores de amido. Melo et al. (2021) complementam alegando que a viscosidade do amido da farinha é diretamente proporcional ao teor de amilopectina, que é a principal responsável pela formação das regiões cristalinas. Sendo assim, a hipótese de que a farinha de semente de jambo-vermelho apresenta grânulos de amido com alto teor de amilose (Seção 5.5) é capaz de explicar sua viscosidade não muito significativa.

A capacidade das cadeias de amilose se recristalizarem durante o resfriamento formando um gel está diretamente ligada com a retrogradação do amido (FIGUEROA *et al.*, 2015). Em contrapartida ao alegado anteriormente, para essa primeira hipótese levantada, a provável existência de maior teor de amilose possivelmente explica o segundo e maior pico da FIGURA 21 e seus respectivos valores de viscosidade de retrogradação e a viscosidade final mais elevados para a farinha da semente de jambo-vermelho (1825 cP e 1729 cP, respectivamente), comportamento similar ao da farinha de semente de bacupari imaturo (MELO *et al.*, 2021).

Os dados apresentados para esta hipótese sugerem que a farinha de semente de jambo-vermelho pode ser aplicada na formulação de alimentos que exijam baixas viscosidades que sejam desenvolvidas em menores temperaturas, como por exemplo alimentos de formulação infantil, já que a temperatura de pasta foi de apenas 50,25 °C, ajudando inclusive a preservar compostos benéficos presentes nesses alimentos.

A segunda hipótese a ser levantada é que o pico inicial da FIGURA 21, equivalente a 586 cP, seria correspondente à viscosidade de gelatinização da pequena parcela de grânulos de amido livres na farinha, oriundo dos processos físicos aos quais ela foi submetida, não conseguindo desenvolver uma viscosidade significativa em função da pouca quantidade de amido disponível. Além disso, em virtude do aprisionamento da maior parte desses grânulos nas estruturas fibrosas (FIGURA 17b), a farinha sofre uma resistência para desenvolver o efeito de viscosidade do amido em sua totalidade, levando a uma demora maior para que a água consiga penetrar nessas estruturas e os grânulos finalmente possam intumescer e gelatinizar. Por isso, propõe-se que no segundo pico da FIGURA 21, equivalente a 1825 cP, ocorre de fato o rompimento das estruturas cristalinas intumescidas, resultando na viscosidade máxima de gelatinização. Logo seria o pico característico do RVA para farinhas com elevados teores de amido, entretanto aparecendo tardiamente em função do impedimento físico causado aos grânulos de amido por parte das fibras.

5.8 ATIVIDADE ANTIOXIDANTE, COMPOSTOS FENÓLICOS TOTAIS E FLAVONOIDES TOTAIS

O consumo de alimentos ricos em compostos bioativos está comprovadamente relacionado com uma menor incidência de doenças crônicas não transmissíveis, como doenças cardiovasculares, câncer, diabetes, obesidade, dentre outras. O principal papel atribuído a esses compostos bioativos na prevenção e tratamento dessas doenças é a atividade antioxidante desempenhada por eles. A principal classe de compostos bioativos presente em alimentos é a de compostos fenólicos, cujo papel benéfico na prevenção e combate dessas doenças não se resume a sua atividade antioxidante, mas também na regulação de processos celulares em diferentes níveis, como por exemplo inibição enzimática, modulação da

expressão gênica, fosforilação de proteínas, dentre outros (DE LA ROSA *et al.*, 2019).

Para a farinha da semente de jambo-vermelho foi determinado um teor de compostos fenólicos totais (CFT) equivalente a $1.132,84 \pm 165,33$ mgGAE.100g⁻¹, valor superior ao encontrado por Batista *et al.* (2017) ($1.063,81$ mgGAE.100g⁻¹), que utilizou a semente liofilizada. Além disso, o teor de fenólicos totais supera, e muito, as quantidades determinadas tanto para a porção comestível (polpa e pele) liofilizada do fruto ($229,61$ mgGAE.100g⁻¹) (BATISTA *et al.*, 2019), quanto para a pele e polpa *in natura* avaliados separadamente ($392,92$ mgGAE.100g⁻¹ e $28,40$ mgGAE.100g⁻¹, respectivamente) (BATISTA *et al.*, 2017).

Existem algumas classes de compostos fenólicos, sendo uma das principais a dos flavonoides, que foram quantificados para a farinha de semente de jambo-vermelho e resultaram em um total de $612,65 \pm 28,95$ mgCE.100g⁻¹. Esse valor é superior ao determinado para a semente liofilizada ($154,37$ mgCE.100g⁻¹) e para a porção comestível da fruta (polpa e pele) *in natura* ($12,86$ mgCE.100g⁻¹) (BATISTA *et al.*, 2017).

É importante salientar que, quando ingeridos em excesso, os compostos bioativos, dentre eles os compostos fenólicos e sua subclasse dos flavonoides, podem apresentar potenciais efeitos tóxicos ao organismo (BERNHOF, 2010). Dessa forma é fundamental a continuidade de estudos na área da toxicologia de alimentos, em virtude de relacionar a toxicidade ao teor de compostos fenólicos e flavonoides presentes na farinha da semente de jambo-vermelho, a fim de assegurar seu consumo em dietas para seres humanos.

Em virtude não só da presença dos compostos fenólicos, mas também de outros compostos bioativos que não foram avaliados nesse trabalho, a farinha da semente de jambo-vermelho apresentou uma elevada capacidade antioxidante pelos três métodos avaliados. Pela técnica de DPPH, a matriz teve uma atividade antioxidante de $14,22 \pm 1,65$ mmolTE.100g⁻¹, valor muito acima do determinado para a porção comestível do fruto ($2,41$ mmolTE.100g⁻¹), conhecida por sua excelente atividade antioxidante (NUNES *et al.*, 2016). Essa reconhecida atividade antioxidante se dá principalmente em função da pele do fruto, dada a presença majoritária de antocianinas. Entretanto essa matriz liofilizada apresentou apenas $4,74$ e $1,84$ mmolTE.100g⁻¹, segundo Nunes *et al.* (2016) e Gibbert (2017),

respectivamente, sendo esses valores inferiores ao determinado para a farinha da semente dessa fruta.

Pelo método do FRAP, obteve-se para a farinha da semente de jambo-vermelho uma atividade antioxidante ainda mais significativa, equivalente a $16,47 \pm 1,29$ mmolTE.100g⁻¹. Mais uma vez, esse valor foi muito superior ao determinado para a semente (aproximadamente 0,15 mmolTE.100g⁻¹) (BATISTA *et al.*, 2017), a porção comestível (polpa e pele) (0,81 mmolTE.100g⁻¹) e a polpa e a pele avaliadas individualmente (0,80 e 0,84, respectivamente), todas liofilizadas (GIBBERT, 2017). E para confirmar o potencial antioxidante da matriz farinácea estudada, tem-se que a análise por ABTS resultou em um valor um pouco menor do que o determinado nas técnicas de DPPH e FRAP, equivalente a $9,76 \pm 0,47$ mmolTE.100g⁻¹.

Diante do exposto, pode-se considerar que o processo de secagem utilizado na produção da farinha da semente de jambo-vermelho apresentou maior conservação dos compostos analisados frente ao processo de liofilização utilizado pelos autores previamente citados nas diferentes partes do fruto do jambo. É válido considerar também que existe uma grande variação na caracterização dos frutos do jambo-vermelho obtidos em diferentes localidades, como comprovado por Nunes *et al.* (2016) e Nunes (2015). Logo, essas diferenças nos teores dos compostos bioativos estudados e suas consequentes atividades antioxidantes podem ser dadas em função de variações genéticas intrínsecas à espécie, diferentes condições ambientais de clima e solo, ou mesmo o manejo no cultivo e na pós-colheita.

Corroborando com Nunes *et al.* (2016) e Vuolo *et al.* (2018), foram encontrados coeficientes de correlação positivos entre as três técnicas utilizadas (DPPH, FRAP e ABTS) e a presença de compostos fenólicos e flavonoides totais, todos com $r > 0,9$, relacionando a atuação desses compostos enquanto agentes antioxidantes. Diante disso, indica-se a utilização da farinha da semente de jambo-vermelho tanto como matriz para a extração de compostos bioativos, que ainda precisam ser determinados, quanto para sua inserção direta em alimentos, funcionando, dentre outras coisas, como possível conservante natural, possibilitando a redução, ou mesmo eliminação, dos conservantes artificiais normalmente utilizados. Além disso, essa farinha não convencional, enquanto constituinte alimentar, oferecerá um apelo funcional aos produtos, frente ao que já foi abordado a respeito dos benefícios dos compostos bioativos ingeridos na dieta

5.9 DETECÇÃO DE GLICOSÍDEOS CIANOGENÍCOS

Assim como constatado por Ikeda *et al.* (2021), para a farinha da semente de achachairu, o teste qualitativo realizado na farinha da semente de jambo-vermelho no estágio maduro resultou negativo para detecção de compostos glicosídeos cianogênicos. Assim, pode-se afirmar que essa matriz apresenta caráter atóxico, levando em conta apenas a ausência dessas substâncias.

5.10 EXTRAÇÃO ÁCIDA DE AMIDO

Não há dados disponíveis na literatura a respeito da extração de amido não convencional da semente do *S. malaccense*. Nesse estudo obteve-se um rendimento de 22,83% a partir da extração com ácido ascórbico, sendo mais elevado que os encontrados tanto para a extração aquosa de semente de abacate (*Persea americana Mill*), que correspondeu a 10,67% (MACENA *et al.*, 2020), quanto para as extrações ácida e alcalina realizadas na semente de lichia (*Litchi chinensis*), equivalendo a 12,6 e 11%, respectivamente (JAISWAL; KUMAR 2015). Sendo assim, comprova-se efetivamente a presença de amido na farinha da semente de jambo-vermelho, corroborando com todas as análises descritas acima. Entretanto é fundamental que se aprofunde os estudos tanto nas técnicas de extração, quanto na caracterização completa do amido obtido.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante do exposto, o jambo-vermelho é tido como um fruto abundante com grande potencial agroindustrial subutilizado. Suas grandes safras, ainda que não tenham caráter comercial, geram índices significativos de frutos que são desperdiçados. Conseqüentemente, um grande volume de sementes, que podem corresponder até cerca de 17% do fruto, segue como rejeito. Ainda quando realizado um aproveitamento industrial do jambo-vermelho, haverá a geração de sementes como coprodutos.

O estudo realizado é o pioneiro na caracterização geral da semente de jambo-vermelho na forma de farinha, tendo em vista a ausência de dados na literatura. Essa matriz farinácea apresentou elevado rendimento a partir da semente, o que torna sua produção vantajosa tendo em vista a grande geração de sementes como resíduo.

Pode-se concluir que essa farinha apresenta grande apelo funcional, pois além de ser fonte de fibras, essa matriz detém uma diversidade de minerais (principalmente K, Mg, P, S e Ca) e presença majoritária de ácidos graxos insaturados em sua fração lipídica. Além disso, a elevada atividade antioxidante atrelada a presença de altos teores de compostos fenólicos, dentre eles os flavonoides, complementa o potencial funcional da farinha não convencional de semente de jambo-vermelho. Sendo assim, como essa matriz apresentou caráter atóxico, em função da ausência de compostos cianogênicos, sugere-se sua inserção em cadeias produtivas tanto de alimentos saudáveis com apelo funcional, como granola, snacks, barras de cereal, dentre outros, quanto para a obtenção substâncias naturais de grande importância, como os compostos bioativos.

A aplicação industrial da farinha da semente se apresenta favorável frente as propriedades tecnológicas encontradas nesse estudo. A coloração da farinha indica sua aplicação em uma gama de alimentos que exigem essa cor como atributo sensorial, como alimentos à base de chocolate e caramelo, por exemplo. Já sua elevada densidade possibilita sua utilização como espessante, enquanto a baixa higroscopicidade sugere sua aplicação como antiúmectante na formulação e sua densidade indica uma aplicação satisfatória em meios aquosos.

Finalmente, a matriz farinácea teve a presença de amido confirmada a partir da grande quantidade de carboidratos em sua composição centesimal, bem como do

comportamento morfológico, térmico e reológico da farinha, onde ambos confirmaram seu perfil amiláceo. A análise quantitativa, dada a partir da extração ácida de amido, comprovou a presença desse constituinte, apresentando um rendimento total de 22,83 % de material amiláceo. Por isso, a farinha da semente de jambo-vermelho pode ser utilizada para obtenção de amido não convencional, podendo este ser aplicado na indústria de alimentos como matéria prima na obtenção de filmes biodegradáveis, ou ainda sobremesas, emulsões cárneas, dentre outros alimentos, dada a versatilidade do uso de amido. Entretanto é necessário que se faça um estudo mais aprofundado a respeito da extração de amido nessa matriz e sua caracterização, tendo em vista que as propriedades apresentadas nesse estudo dizem respeito ao material farináceo complexo oriundo da semente de jambo-vermelho.

REFERÊNCIAS

AACC. Approved Methods of Analysis, 11th Ed. Method 76-21,01. General pasting method for starch using the rapid visco analyser. Approved November 3, 1999. Cereals & Grains Association, St. Paul, MN, U.S.A. 1999.

ADITIVOS & INGREDIENTES. **AMIDO: Fontes, tipos e propriedades**. p. 02- 11, 2013. Disponível em < <https://aditivosingredientes.com/artigos/ingredientes-funcionais/amido-fontes-tipos-e-propriedades> >. Acesso em: 21 nov. 2021.

AI, Yongfeng; JANE, Jay Lin. Gelatinization and rheological properties of starch. **Starch/Staerke**, [s. l.], vol. 67, no. 3–4, p. 213–224, 2014. Available at: <https://doi.org/10.1002/star.201400201>

ALBUQUERQUE, Ana Christina Sagebin; SILVA, Aliomar Gabriel da. **Agricultura Tropical: quatro décadas de inovações tecnológicas, institucionais e políticas. Vol. 2**. [S. l.: s. n.], 2008.

ALMEIDA, Eduardo José de *et al.* Vegetative propagation of Malay apple [*Syzygium malaccense* (L.) Merr. & L.M. Perry]. **Ciênc. agrotec., (Impr.)**, [s. l.], vol. 34, no. SPE, p. 1658–1663, 2010. Available at: <https://doi.org/10.1590/S1413-70542010000700012>

ALMEIDA, Vanessa de Oliveira. **ESTUDOS EM MIRTÁCEAS EM QUATRO MUNICÍPIOS DO RECÔNCAVO DA BAHIA**. 92 f. 2011. - Universidade Federal do Recôncavo da Bahia. Centro de Ciências Agrárias Ambientais e Biológicas. Programa de Pós-Graduação em Recursos Genéticos Vegetais, [s. l.], 2011.

ALVES, Clayton Q.; DAVID, Jorge M. Métodos para determinação de atividade antioxidante in vitro em substratos orgânicos. **Química Nova**, [s. l.], vol. 33, no. 10, p. 2202–2210, 2010. Available at: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422010001000033>

ANDRADE, Paulo Fernando de Souza. **PROGNÓSTICO DA FRUTICULTURA 2020**. In: **ANÁLISE DA CONJUNTURA 1 – PANORAMA MUNDIAL**. DEPARTAMENTO DE ECONOMIA RURAL – DERAL. **PROGNÓSTICO FRUTICULTURA 2020**. [S. l.: s. n.], 2020.

ANGELO, Priscila Milene; JORGE, Neuza. Compostos fenólicos em alimentos - Uma breve revisão. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, [s. l.], vol. 66, no. 1, p. 1–9, 2007.

ANVISA. INSTRUÇÃO NORMATIVA-IN Nº 75, DE 8 DE OUTUBRO DE 2020. Estabelece os requisitos técnicos para declaração da rotulagem nutricional nos alimentos embalados. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Ministério da Saúde (MS). Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/instrucao-normativa-in-n-75-de-8-de-outubro-de-2020-282071143> Acesso em 29 de outubro de 2021.

AOAC, (2012). Official methods of analysis, Association of official analytical chemist 19th edition, Washington D.C., USA.

APAK, Reşat *et al.* Novel total antioxidant capacity index for dietary polyphenols and vitamins C and E, using their cupric ion reducing capability in the presence of neocuproine: CUPRAC method. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, [s. l.], vol. 52, no. 26, p. 7970–7981, 2004. Available at: <https://doi.org/10.1021/jf048741x>

ARIHARA, Keizo; OHATA, Motoko. Bioactive Compounds in Meat. *In*: MEAT BIOTECHNOLOGY. [S. l.: s. n.], 2008. p. 231–249. Available at: <https://doi.org/10.1007/978-0-387-79382-5>

ARTS, Ilja C.W.; HOLLMAN, Peter C.H. Polyphenols and disease risk in epidemiologic studies. **The American journal of clinical nutrition**, [s. l.], vol. 81, p. 317–325, 2005. Available at: <https://doi.org/10.1093/ajcn/81.1.317s>

ASIF, Mohammad. Chemical characteristics and nutritional potentials of unsaturated fatty acids. **Chemistry International**, [s. l.], vol. 1, no. 3, p. 118–133, 2015. Available at: <https://doi.org/10.31221/osf.io/dv43m>

AUGUSTA, Ivanilda Maria. **Extração e Secagem da Casca de Jambo Vermelho (Syzygium malaccensis, (L.) Merryl Et Perry) para obtenção de corante**. 137 f. 2011. - Universidade Federal do Rio de Janeiro. Programa de Pós- Graduação de Processos Químicos e Bioquímicos, [s. l.], 2011.

AUGUSTA, Ivanilda Maria *et al.* Physical and chemical characterization of Malay red-apple (*Syzygium malaccensis*, (L.) Merryl & Perry) skin and pulp. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, [s. l.], vol. 30, no. 4, p. 928–932, 2010. Available at: <https://doi.org/10.1590/S0101-20612010000400014>

AZEVEDO, Juliana Chrís Silva de. **Estratégias de Obtenção do Corante do Jambo Vermelho (Syzygium malaccense) e Avaliação de sua Funcionalidade**. 101 f. 2010. - Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN. Departamento de Engenharia Química. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química., [s. l.], 2010.

AZEVEDO, Luciana Cavalcanti *et al.* Propriedades Do Amido E Suas Aplicações Em Biopolímeros. **Cadernos de Prospecção**, [s. l.], vol. 11, no. Edição Especial, p. 351–358, 2018. Available at: <https://doi.org/10.9771/cp.v11i2.23173>

BALASUNDRAM, Nagendran; SUNDRAM, Kalyana; SAMMAN, Samir. Phenolic compounds in plants and agri-industrial by-products: Antioxidant activity, occurrence, and potential uses. **Food Chemistry**, [s. l.], vol. 99, no. 1, p. 191–203, 2006. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.07.042>

BARAHENG, Surayani; KARRILA, Taewee. Chemical and functional properties of durian (*Durio zibethinus* Murr.) seed flour and starch. **Food Bioscience**, [s. l.], vol. 30, no. May, 2019. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2019.100412>

BARBI, Rafaela Cristina Turola *et al.* Eriobotrya japonica seed as a new source of starch: Assessment of phenolic compounds, antioxidant activity, thermal, rheological

and morphological properties. **Food Hydrocolloids**, [s. l.], vol. 77, p. 646–658, 2018. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.11.006>

BARBOSA, Kiriaque Barra Ferreira *et al.* Estresse oxidativo: Conceito, implicações e fatores modulatórios. **Revista de Nutricao**, [s. l.], vol. 23, no. 4, p. 629–643, 2010. Available at: <https://doi.org/10.1590/S1415-52732010000400013>

BASANTA, Angelique. **The post-harvest storage of pomegranate (*Syzygium malaccense*) under refrigerated and controlled atmosphere conditions**. [S. l.: s. n.], 2008.

BASTOS, Deborah H. M.; ROGERO, Marcelo M.; ARÊAS, José Alfredo G. Mecanismos de ação de compostos bioativos dos alimentos no contexto de processos inflamatórios relacionados à obesidade. **Arquivos Brasileiros de Endocrinologia & Metabologia**, [s. l.], vol. 53, no. 5, p. 646–656, 2009. Available at: <https://doi.org/10.1590/s0004-27302009000500017>

BATISTA, Ângela Giovana *et al.* Red-jambo (*Syzygium malaccense*): Bioactive compounds in fruits and leaves. **LWT - Food Science and Technology**, [s. l.], vol. 76, p. 284–291, 2017. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.05.013>

BATISTA, Ângela Giovana *et al.* *Syzygium malaccense* fruit supplementation protects mice brain against high-fat diet impairment and improves cognitive functions. **Journal of Functional Foods**, [s. l.], vol. 65, no. September 2019, 2019. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jff.2019.103745>

BENKEBLIA, N.; EMANUEL, M. A. Variation of Reducing and Total Sugars, Total Phenolics and Anthocyanins in Otaheite (*Syzygium malaccense* L.) during Three “On Tree” Ripening Stages. **Acta Horticulturae**, [s. l.], vol. 1047, p. 161–164, 2013. Available at: <https://doi.org/10.17660/actahortic.2014.1047.17>

BENNETT, RICHARD N.; WALLSGROVE, ROGER M. Secondary metabolites in plant defence mechanisms. **New Phytol.**, [s. l.], vol. 127, p. 617–633, 1994. Available at: <https://doi.org/10.1071/AP99008>

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**, [s. l.], vol. 239, p. 70–76, 1996.

BEMILLER, J. N.; HUBER, K. C. Carboidratos. p.75-130. In: Damodaran, S.; Parkin, K. L.; Fennema, O. R. 2010. Química de Alimentos de Fennema. 4. ed. Porto Alegre: Artmed.

BERNHOF, Aksel. A brief review on bioactive compounds in plants. *In:* , 2010. **Bioactive compounds in plants – benefits and risks for man and animals**. [S. l.: s. n.], 2010. p. 11–17.

BERTOFT, Eric. Understanding starch structure: Recent progress. **Agronomy**, [s. l.], vol. 7, no. 3, p. 1–29, 2017. Available at: <https://doi.org/10.3390/agronomy7030056>

BET, Camila Delinski *et al.* Aqueous extraction of organic amaranth starch and their by-products: Characterisation before and after degreasing. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, [s. l.], vol. 138, no. 4, p. 2733–2749, 2019. Available at: <https://doi.org/10.1007/s10973-019-08374-7>

BIALE, J. B. Growth, Maturation, and Senescence in Fruits: Recent knowledge on growth regulation and on biological oxidations has been applied to studies with fruits. **Science**, [s. l.], vol. 146, no. 3646, p. 880–888, 1964. Available at: <https://doi.org/10.1126/science.146.3646.880>

BIANCHI, Maria de Lourdes Pires; ANTUNES, Lusânia Maria Greggi. RADICAIS LIVRES E OS PRINCIPAIS ANTIOXIDANTES DA DIETA. **Rev. Nutr.**1, [s. l.], vol. 12, no. 1, p. 123–130, 1999. Available at: <https://doi.org/10.1248/jhs1956.35.P28>

BLAZOTTO, Katia Regina *et al.* Brazilian Biodiversity Fruits: Discovering Bioactive Compounds from Underexplored Sources. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, [s. l.], vol. 67, no. 7, p. 1860–1876, 2019. Available at: <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.8b05815>

BISINELLA, Radla Zabian Bassetto *et al.* Thermal, structural and morphological characterisation of organic rice starch after physical treatment. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, [s. l.], 2021. Available at: <https://doi.org/10.1007/s10973-021-10712-7>

BLIGH, E.G.; DYER, W.J. A RAPID METHOD OF TOTAL LIPID EXTRACTION AND PURIFICATION. **Canadian Journal of Biochemistry and Physiology**, [s. l.], vol. 37, no. 8, p. 911–917, 1959.

BO, Linga *et al.* Moisture sorption characteristics of full fat and defatted pistachio kernel flour. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, [s. l.], vol. 10, no. 3, p. 283–294, 2017. Available at: <https://doi.org/10.3965/j.ijabe.20171003.2838>

BRAND-WILLIAMS, W.; CUVÉLIER, M. E.; BERSET, C. Use of a Free Radical Method to Evaluate Antioxidant Activity. **LWT Food Sci Technol.**, [s. l.], vol. 28, no. 1, p. 25–30, 1995.

BRASIL. RDC nº 263, de 22 de setembro de 2005 ementa: REGULAMENTO TÉCNICO PARA PRODUTOS DE CEREAIS, AMIDOS, FARINHAS E FARELOS. **ANVISA - Agência Nacional de Vigilância Sanitária**, [s. l.], 2005.

BREWER, M. S. Natural Antioxidants: Sources, Compounds, Mechanisms of Action, and Potential Applications. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, [s. l.], vol. 10, no. 4, p. 221–247, 2011. Available at: <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2011.00156.x>

BRECHT, J. K.; RITENOUR, M. A.; HAARD, N. F.; CHISM, G. W. Fisiologia Pós-Colheita de Tecidos Vegetais Comestíveis. p. 759-817. In: DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L.; FENNEMA, O. R. Química de Alimentos de Fennema. Artmed, 4 ed., 2010.

BRITO, T. B. *et al.* Fruit and vegetable residues flours with different granulometry range as raw material for pectin-enriched biodegradable film preparation. **Food Research International**, [s. l.], vol. 121, no. January, p. 412–421, 2019. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.03.058>

BULEON, Alain *et al.* Starch granules : structure and biosynthesis. **International Journal of Biological Macromolecules**, [s. l.], vol. 21, p. 85–112, 1998.

CAI, Y. Z.; CORKE, H. Production and Properties of Spray-dried Amaranthus Betacyanin Pigments. **Journal of Food Science**, [s. l.], vol. 65, no. 6, p. 1248–1252, 2000.

CANO-CHAUCA, Milton *et al.* Effect of the carriers on the microstructure of mango powder obtained by spray drying and its functional characterization. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, [s. l.], vol. 6, no. 4, p. 420–428, 2005. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2005.05.003>

CARDOSO, Ricardo Luis. **Estabilidade de geléia de jambo-vermelho (Eugenia maçacensis, Lin) em copo de vidro**. 157 f. 1994. - Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP. Faculdade de Engenharia de Alimentos, [s. l.], 1994.

CARPINÉ, Danielle *et al.* Valorization of Euterpe edulis Mart. agroindustrial residues (pomace and seeds) as sources of unconventional starch and bioactive compounds. **Journal of Food Science**, [s. l.], vol. 0, no. 0, p. 96–104, 2019. Available at: <https://doi.org/10.1111/1750-3841.14978>

CARPINÉ, Danielle *et al.* Valorization of Euterpe edulis Mart. agroindustrial residues (pomace and seeds) as sources of unconventional starch and bioactive compounds. **Journal of Food Science**, [s. l.], vol. 85, no. 1, p. 96–104, 2020. Available at: <https://doi.org/10.1111/1750-3841.14978>

CASTRO, Tânia Maria Neves *et al.* Parâmetros de qualidade de polpas de frutas congeladas Parameters of quality of frozen fruit. **Rev Inst Adolfo Lutz**, [s. l.], vol. 74, p. 426–436, 2015.

CAVALCANTE, Paulo B. Eugenia malaccensis L. *In*: FRUTAS COMESTÍVEIS DA AMAZÔNIA II. PUBLICAÇÕES AVULSAS. Belém - PA: [s. n.], 1974. vol. 33, p. 24.

CHANDRA, Suresh; SINGH, Samsheer; KUMARI, Durvesh. Evaluation of functional properties of composite flours and sensorial attributes of composite flour biscuits. **Journal of Food Science and Technology**, [s. l.], vol. 52, no. 6, p. 3681–3688, 2015. Available at: <https://doi.org/10.1007/s13197-014-1427-2>

CHEETHAM, Norman W.H.; TAO, Leping. Variation in crystalline type with amylose content in maize starch granules: An X-ray powder diffraction study. **Carbohydrate Polymers**, [s. l.], vol. 36, no. 4, p. 277–284, 1998. Available at: [https://doi.org/10.1016/S0144-8617\(98\)00007-1](https://doi.org/10.1016/S0144-8617(98)00007-1)

COLLINS, Andrew R. Antioxidant intervention as a route to cancer prevention. **European Journal of Cancer**, [s. l.], vol. 41, no. 13, p. 1923–1930, 2005. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ejca.2005.06.004>

CONTRERAS-JIMÉNEZ, Brenda; TORRES-VARGAS, Olga L.; RODRÍGUEZ-GARCÍA, Mario E. Physicochemical characterization of quinoa (*Chenopodium quinoa*) flour and isolated starch. **Food Chemistry**, [s. l.], vol. 298, no. June, p. 124982, 2019. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.124982>

CORRADINI, Elisângela *et al.* Effect of coconut, sisal and jute fibers on the properties of starch/ gluten/glycerol Matrix. **Journal of Polymers and the Environment**, [s. l.], vol. 17, no. 1, p. 1–9, 2009. Available at: <https://doi.org/10.1007/s10924-009-0115-1>

COSTA, B. P. *et al.* Thermal , structural , morphological and bioactive characterization of acid and neutral modified loquat (*Eriobotrya japonica* lindl .) seed starch and its by - products. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, [s. l.], no. 0123456789, 2021. Available at: <https://doi.org/10.1007/s10973-021-10965-2>

COSTA, Raquel Silva *et al.* Aspectos morfológicos e influência do tamanho da semente na germinação do jambo-vermelho. **Revista Brasileira de Fruticultura**, [s. l.], vol. 28, no. 1, p. 117–120, 2006. Available at: <https://doi.org/10.1590/S0100-29452006000100032>

CUNHA, Josiane Araújo *et al.* From seed to flour: Sowing sustainability in the use of cantaloupe melon residue (*Cucumis melo* L. Var. *Reticulatus*). **PLoS ONE**, [s. l.], vol. 15, no. 1, p. 1–18, 2020. Available at: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0219229>

DALVI, Luana Taquette. Mecanismos de ação de antioxidantes de origem vegetal: estudo do polifenol ácido elágico e do extrato de caqui (*Diospyros kaki*). 2008. 129 f. Dissertação (Mestrado em Nutrição)-Universidade de Brasília, Brasília, 2008.

DANESI, Eliane; BOLANHO, Beatriz. Avaliação da composição e dos parâmetros tecnológicos de farinhas produzidas a partir de subprodutos agroindustriais. **Revista Tecnológica**, [s. l.], vol. 0, no. 0, p. 21–28, 2011. Available at: <https://doi.org/10.4025/revtecnol.v0i0.14954>

DE LA ROSA, Laura A. *et al.* Phenolic compounds. *In*: POSTHARVEST PHYSIOLOGY AND BIOCHEMISTRY OF FRUITS AND VEGETABLES. [S. l.]: Elsevier Inc., 2019. p. 253–271. Available at: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813278-4.00012-9>

DENARDIN, Cristiane Casagrande; SILVA, Leila Picolli da. Estrutura dos grânulos de amido e sua relação com propriedades físico-químicas. **Ciência Rural**, [s. l.], vol. 39, no. 3, p. 945–954, 2009. Available at: <https://doi.org/10.1590/s0103-84782009005000003>

DENG, Jing; CHENG, Wangyuan; YANG, Guangzhong. A novel antioxidant activity index (AAU) for natural products using the DPPH assay. **Food Chemistry**, [s. l.], vol.

125, no. 4, p. 1430–1435, 2011. Available at:
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.10.031>

DU, Yu; GUO, Huaifang; LOU, Hongxiang. Grape seed polyphenols protect cardiac cells from apoptosis via induction of endogenous antioxidant enzymes. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, [s. l.], vol. 55, no. 5, p. 1695–1701, 2007. Available at: <https://doi.org/10.1021/jf063071b>

DUBOIS, M. *et al.* Colorimetric Method for Determination of Sugars and Related Substances. **Analytical Chemistry**, [s. l.], vol. 28, no. 3, p. 350–356, 1956. Available at: <https://doi.org/10.1021/ac60111a017>

ELIASSON, A. C. (2006). Carbohydrates in food (2nd ed.). New York: Taylor & Francis Group, (Chapter 9).

ELIASSON, A. C. Starch in food: structure, function and applications. New York: Boca Raton, CRC, 2004.

EMBRAPA. Perdas e Desperdício de Alimentos [Internet]. EMBRAPA; 2019. Visto em: 24 de novembro de 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/tema-perdas-e-desperdicio-de-alimentos/sobre-o-tema>.

EMELIKE, N. J. T.; UJONG, A. E.; ACHINEWHU, S. C. Proximate Composition, Mineral Bioavailability and Functional Properties of Defatted and Undefatted Avocado Pear (*Persia americana*) Seed Flours. **Asian Food Science Journal**, [s. l.], vol. 17, no. 3, p. 1–10, 2020. Available at: <https://doi.org/10.9734/afsj/2020/v17i330191>

ENIDIOK, S. E.; ATTAH, L. E. CHEMICAL COMPOSITION IN RELATION TO THE QUALITY OF WINES PRODUCED FROM NIGERIAN SYZYGIUM MALACCENSIS AND EUGENIA OWARIENSIS APPLES. **African Journal of Food Agriculture Nutrition and Development**, [s. l.], vol. 10, no. 2, p. 2124–2139, 2010.

FALCÃO, Martha de Aguiar; PARALUPPI, Norival D.; CLEMENT, Charles R. Fenologia e produtividade do Jambo (*Syzygium malaccensis*) na Amazônia Central. **Acta Amazonica**, [s. l.], vol. 32, no. 1, p. 3–8, 2002. Available at: <https://doi.org/10.1590/1809-43922002321008>

FAO. Food losses and waste in the Latin America and the Caribbean. [Internet]. Food and Agriculture Organization for the United Nations, Rome; 2014 Visto em: 24 de novembro de 2021.. Disponível em: <http://www.fao.org/3/a-i3942e.pdf/>.

FENNEMA, O. R.; DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L. Química de Alimentos de Fennema – 4^a ed. – Editora Artmed, 2010

FERNANDES, Fabiano A.N.; RODRIGUES, Sueli. Jambo— *Syzygium malaccense*. *In*: EXOTIC FRUITS REFERENCE GUIDE. Federal Uned. Fortaleza - CE: Elsevier Inc., 2018. p. 245–249. Available at: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-803138-4.00031-9>

FIGUEROA, Amanda Mileo *et al.* Caracterização Das Propriedades De Pasta E Térmicas De Amidos De Feijão Branco, Carioca, Fradinho E Preto. **Brazilian Journal of Thermal Analysis**, [s. l.], vol. 4, no. 3, p. 12, 2015. Available at: <https://doi.org/10.18362/bjta.v4.i3.197>

FONTAN, R. C.I. *et al.* Composition and thermophysical properties of Malay Rose apple pulp. **International Food Research Journal**, [s. l.], vol. 25, no. 3, p. 1067–1073, 2018.

FRAUCHES, Nayara *et al.* Brazilian Myrtaceae Fruits: A Review of Anticancer Proprieties. **British Journal of Pharmaceutical Research**, [s. l.], vol. 12, no. 1, p. 1–15, 2016. Available at: <https://doi.org/10.9734/bjpr/2016/26782>

FUCHS, M. *et al.* Encapsulation of oil in powder using spray drying and fluidised bed agglomeration. **Journal of Food Engineering**, [s. l.], vol. 75, no. 1, p. 27–35, 2006. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.03.047>

FUKUMOTO, L. R.; MAZZA, G. Assessing antioxidant and prooxidant activities of phenolic compounds. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, [s. l.], vol. 48, no. 8, p. 3597–3604, 2000. Available at: <https://doi.org/10.1021/jf000220w>

GEA NIRO RESEARCH LABORATORY. (2005). Analytical methods dry milk products: 14 a – Hygroscopicity. Disponível em: https://www.gea.com/en/binaries/A%2014%20a%20-%20Hygroscopicity_tcm11-30922.pdf . Acesso em 31 de outubro de 2021.

GIBBERT, Luciana. **Caracterização físico-química, potencial antioxidante, e toxicidade preliminar do jambo vermelho (*Syzygium malaccense* (L.) Merr. & L. M. perry)**. 83 f. 2017. - Universidade Federal do Paraná - UFPR. Departamento de Nutrição. Programa de Pós-Graduação em Alimentação e Nutrição., [s. l.], 2017.

GIBBERT, Luciana; BERTIN, Renata; KRUGER, Claudia Hecke. A BRIEF REVIEW OF THE SPECIES *Syzygium malaccense* (L.) MERR. & L.M. PERRY AS SOURCE OF BIOACTIVE COMPOUNDS. [s. l.], p. 140–152, 2017.

GORDILLO, Carlos Andrés Sandoval; VALENCIA, Germán Ayala; ZAPATA, RUBÉN ANTONIO VARGAS HENAO, Ana Cecilia Agudelo. Physicochemical characterization of arrowroot starch (*maranta arundinacea* linn) and glycerol/arrowroot starch membranes. **International Journal of Food Engineering**, [s. l.], vol. 10, no. 4, p. 727–735, 2014. Available at: <https://doi.org/10.1515/ijfe-2014-0122>

GUAADAQUI, Abdelkarim *et al.* What is a bioactive compound? A combined definition for a preliminary consensus. **International Journal of Nutrition and Food Sciences**, [s. l.], vol. 3, no. 3, p. 174–179, 2014. Available at: <https://doi.org/10.11648/j.ijnfs.20140303.16>

GUTIÉRREZ, Tomy J. Plantain flours as potential raw materials for the development of gluten-free functional foods. **Carbohydrate Polymers**, [s. l.], vol. 202, p. 265–279, 2018. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.08.121>

HALLIWELL, Barry. Reactive species and antioxidants. Redox biology is a fundamental theme of aerobic life. **Plant Physiology**, [s. l.], vol. 141, no. 2, p. 312–322, 2006. Available at: <https://doi.org/10.1104/pp.106.077073>

HARBORNE, J. B. (1972). Cyanogenic glucosides and their function. *Phytochemical Ecology* (Vols. 104–123). London: Academic Press.

HARTMAN, L.; LAGO, R. C. A. Rapid preparation of fatty acid methyl esters from lipids. **Laboratory Practice**, [s. l.], vol. 22, no. 7, p. 475–476, 1973.

HASANVAND, Elham *et al.* **Novel starch based nanocarrier for Vitamin D fortification of milk: Production and characterization**. [S. l.]: Institution of Chemical Engineers, 2015. ISSN 09603085.vol. 96 Available at: <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2015.09.007>

HEIM, Kelly E.; TAGLIAFERRO, Anthony R.; BOBILYA, Dennis J. Flavonoid antioxidants: Chemistry, metabolism and structure-activity relationships. **Journal of Nutritional Biochemistry**, [s. l.], vol. 13, no. 10, p. 572–584, 2002. Available at: [https://doi.org/10.1016/S0955-2863\(02\)00208-5](https://doi.org/10.1016/S0955-2863(02)00208-5)

HO, C.-T.; RAFI, M. M.; e GHAI, G. Substâncias Bioativas: Nutracêuticas e Tóxicas. p. 585-608. In: DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L.; FENNEMA, O. R. *Química de Alimentos de Fennema*. Artmed, 4 ed., 2010.

HONG, Jing *et al.* Effect of Heat–Moisture Treatment on Physicochemical, Thermal, Morphological, and Structural Properties of Mechanically Activated Large A- and Small B-Wheat Starch Granules. **Journal of Food Science**, [s. l.], vol. 84, no. 10, p. 2795–2804, 2019. Available at: <https://doi.org/10.1111/1750-3841.14745>

HORNUNG, Polyanna Silveira *et al.* Brazilian Amazon white yam (*Dioscorea* sp.) starch: Impact on functional properties due to chemical and physical modifications processes. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, [s. l.], vol. 134, no. 3, p. 2075–2088, 2018. Available at: <https://doi.org/10.1007/s10973-018-7353-1>

HORST, M. A., CRUZ, A. DE C., & LAJOLO, F. M. (2016). Biodisponibilidade de compostos bioativos de alimentos. In *Biodisponibilidade de Nutrientes*. Barueri: Manole.

HUGHES, David A. Dietary carotenoids and human immune function. **Nutrition**, [s. l.], vol. 17, no. 10, p. 823–827, 2001. Available at: [https://doi.org/10.1016/S0899-9007\(01\)00638-4](https://doi.org/10.1016/S0899-9007(01)00638-4)

ICC, International Cereals Chemists. Rapid Pasting Method using the Newport Rapid Visco Analyser. In: Method for using the Rapid Visco Analyser as Rapid pasting method for determining pasting properties of cereals, starches prepared from cereals and other starches. 1996. http://old.icc.or.at/standard_methods/162 of subordinate document. Accessed 10 Sept 2019.

IKEDA, Monica *et al.* Nutritional and bioactive composition of achachairu (*Garcinia humilis*) seed flour : A potential ingredient at three stages of ripening. **LWT - Food**

Science and Technology, [s. l.], vol. 152, 2021. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112251>

IKRAM, Emmy Hainida Khairul *et al.* Antioxidant capacity and total phenolic content of Malaysian underutilized fruits. **Journal of Food Composition and Analysis**, [s. l.], vol. 22, no. 5, p. 388–393, 2009. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2009.04.001>

INSTITUTO ADOLFO LUTZ (São Paulo). Métodos físico-químicos para análise de alimentos/coordenadores Odair Zenebon, Neus Sadocco Pascuet e Paulo Tiglea - São Paulo: 104 PESQUISA Instituto Adolfo Lutz, 2008, p. 1020.

ISMAIL, Intan S.; ISMAIL, Norakmar; LAJIS, Nordin. Ichthyotoxic properties and essential oils of *syzygium malaccense* (Myrtaceae). **Pertanika Journal of Science and Technology**, [s. l.], vol. 18, no. 1, p. 1–6, 2010.

ITURRIAGA, Laura; LOPEZ, Beatriz; AÑÓN, María. Thermal and physicochemical characterization of seven argentine rice flours and starches. **Food Research International**, [s. l.], vol. 37, no. 5, p. 439–447, 2004. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2003.12.005>

JAIGANESH, R.; SAMPATH KUMAR, N. S. Marine Bacterial Sources of Bioactive Compounds. *In*: ADVANCES IN FOOD AND NUTRITION RESEARCH. 1. ed. [S. l.]: Elsevier Inc., 2012. vol. 65, p. 389–408. Available at: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-416003-3.00025-1>

JAISWAL, P.; KUMAR, K. J. Physicochemical properties and release characteristics of starches from seeds of Indian Shahi Litchi. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 79, p. 256–261, 2015.

KHOO, Hock Eng *et al.* Carotenoid content of underutilized tropical fruits. **Plant Foods for Human Nutrition**, [s. l.], vol. 63, no. 4, p. 170–175, 2008. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11130-008-0090-z>

KIM, Hae Suk; QUON, Michael J.; KIM, Jeong a. New insights into the mechanisms of polyphenols beyond antioxidant properties; lessons from the green tea polyphenol, epigallocatechin 3-gallate. **Redox Biology**, [s. l.], vol. 2, no. 1, p. 187–195, 2014. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.redox.2013.12.022>

KOHYAMA, Kaoru *et al.* A differential thermal analysis of the gelatinization and retrogradation of wheat starches with different amylopectin chain lengths. **Carbohydrate Polymers**, [s. l.], vol. 58, no. 1, p. 71–77, 2004. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2004.06.032>

KONG, Xiangli; BAO, Jinsong; CORKE, Harold. Physical properties of Amaranthus starch. **Food Chemistry**, [s. l.], vol. 113, no. 2, p. 371–376, 2009. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.06.028>

KOTEPONG, P.; PAULL, R. E.; KETSA, S. Anthocyanin accumulation and differential gene expression in wild-type and mutant *Syzygium malaccense* fruits during their

growth and ripening. **Biologia Plantarum**, [s. l.], vol. 63, p. 710–720, 2019. Available at: <https://doi.org/10.32615/bp.2019.068>

KURE, O. A.; INELO, E. D.; DONALDBEN, N. S. Effects of Pawpaw (*Carica papaya*) Seed Flour Addition on the Quality of Wheat Bread. **Asian Food Science Journal**, [s. l.], vol. 20, no. 4, p. 51–63, 2021. Available at: <https://doi.org/10.9734/afsj/2021/v20i430287>

KUSWANDI; ANDINI, Mega; HADIATI, Sri. Pengaruh Curah Hujan dalam Pembentukan Bunga dan Buah Jambu Bol (*Syzygium malaccense*). **Jurnal Budidaya Pertanian**, [s. l.], vol. 15, no. 1, p. 38–43, 2019. Available at: <https://doi.org/10.30598/jbdp.2019.15.1.38>

LAGO, Regina Celi Araujo; MAIA, Marcos Luiz Leal; MATTA, Virgínia Martins. **O Sabor das Frutas Tropicais no Brasil**. [S. l.: s. n.], 2016.

LAKO, Jimaima *et al.* Phytochemical flavonols, carotenoids and the antioxidant properties of a wide selection of Fijian fruit, vegetables and other readily available foods. **Food Chemistry**, [s. l.], vol. 101, no. 4, p. 1727–1741, 2007. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.01.031>

LIM, A. S.L.; RABETA, M. S. Proximate analysis, mineral content and antioxidant capacity of milk apple, malay apple and water apple. **International Food Research Journal**, [s. l.], vol. 20, no. 2, p. 673–679, 2013.

LIM, T. K. *Syzygium malaccense*. In: EDIBLE MEDICINAL AND NON MEDICINAL PLANTS. [S. l.: s. n.], 2012. vol. 3, p. 769–775. Available at: <https://doi.org/10.1007/978-94-007-2534-8>

LIMA, B. N. B. *et al.* Determination of the centesimal composition and characterization of flours from fruit seeds. **Food Chemistry**, [s. l.], vol. 151, p. 293–299, 2014. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.11.036>

LIMA, Juliana França *et al.* Characterization of Nonconventional Food Plants Seeds *Guizotia abyssinica* (L.f.) Cass., *Panicum miliaceum* L., and *Phalaris canariensis* L. for Application in the Bakery Industry. **Agronomy**, [s. l.], vol. 11, no. 9, p. 1873, 2021. Available at: <https://doi.org/10.3390/agronomy11091873>

LIU, Qiang. Understanding Starches and Their Role in Foods. In: FOOD CARBOHYDRATES. [S. l.: s. n.], 2005. p. 309–355. Available at: <https://doi.org/10.1201/9780203485286.ch7>

LIU, Rui Hai. Health benefits of fruit and vegetables are from additive and synergistic combinations of phytochemicals. **American Journal of Clinical Nutrition**, [s. l.], vol. 78, no. 3 SUPPL., p. 3–6, 2003. Available at: <https://doi.org/10.1093/ajcn/78.3.517s>

LIU, Rui Hai. Potential synergy of phytochemicals in cancer prevention: Mechanism of action. **Journal of Nutrition**, [s. l.], p. 3479–3485, 2004. Available at: <https://doi.org/10.1093/jn/134.12.3479s>

MACENA, J. F. F. et al. Physico-chemical, morphological and technological properties of the avocado (*Persea americana* mill. cv. hass) seed starch. **Ciencia e Agrotecnologia**, v. 44, 2020.

MAHAWAN, Macey A et al. Characterization of Flour from Avocado Seed Kernel. **Asia Pacific Journal of Multidisciplinary Research**, [s. l.], vol. 3, no. 4, p. 34–40, 2015. Available at: www.apjmr.com

MAISUTHISAKUL, Pitchaon; PASUK, Sirikarn; RITTHIRUANGDEJ, Pitiporn. Relationship between antioxidant properties and chemical composition of some Thai plants. **Journal of Food Composition and Analysis**, [s. l.], vol. 21, no. 3, p. 229–240, 2008. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2007.11.005>

MANACH, Claudine et al. Polyphenols: Food sources and bioavailability. **American Journal of Clinical Nutrition**, [s. l.], vol. 79, no. 5, p. 727–747, 2004. Available at: <https://doi.org/10.1093/ajcn/79.5.727>

MANDAL, Sulekha et al. Antioxidants: A review. **Journal of Chemical and Pharmaceutical Research**, [s. l.], vol. 1, no. 1, p. 102–104, 2009. Available at: <https://doi.org/10.3233/JPB-130084>

MANIGLIA, Bianca C. et al. Bioactive films based on babassu mesocarp flour and starch. **Food Hydrocolloids**, [s. l.], vol. 70, p. 383–391, 2017. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.04.022>

MANIGLIA, Bianca Chierogato; TAPIA-BLÁCIDO, Delia R. Isolation and characterization of starch from babassu mesocarp. **Food Hydrocolloids**, [s. l.], vol. 55, p. 47–55, 2016. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.11.001>

MARQUES, Tamara Rezende et al. Chemical constituents and technological functional properties of acerola (*Malpighia emarginata* DC.) waste flour. **Food Science and Technology**, [s. l.], vol. 33, no. 3, p. 526–531, 2013. Available at: <https://doi.org/10.1590/S0101-20612013005000085>

McCLEMENTS, D. J.; DECKER, E. A. Lipídeos. p. 131-178.
In: DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L.; FENNEMA, O. R. *Química de Alimentos de Fennema*. Artmed, 4 ed., 2010.

MELO, Anely Maciel et al. Valorization of the agro-industrial by-products of bacupari (*Garcinia brasiliensis* (Mart.)) through production of flour with bioactive properties. **Food Bioscience**, [s. l.], 2021. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.101343>

MELO, René Rodrigues De et al. Características farmacobotânicas, químicas e biológicas de *Syzygium malaccense* (L.) Merr. & I. M. Perry. **Farmacognosia**, [s. l.], vol. 90, no. 4, p. 298–302, 2009.

MELO, Enayde De Almeida et al. Capacidade antioxidante de frutas. **Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas/Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences**, [s. l.], vol. 44, no. 2, p. 193–201, 2008. Available at: <https://doi.org/10.1590/S1516-93322008000200005>

MERENKOVA, S. P. *et al.* Effects of dietary fiber on human health: A review. **Human Sport Medicine**, [s. l.], vol. 20, no. 1, p. 106–113, 2020. Available at: <https://doi.org/10.14529/HSM200113>

MICIĆ, Darko M. *et al.* Thermal behavior of raspberry and blackberry seed flours and oils. **Thermochimica Acta**, [s. l.], vol. 617, p. 21–27, 2015. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.tca.2015.08.017>

MOLYNEUX, Philip. The Use of the Stable Free Radical Diphenylpicryl-hydrazyl (DPPH) for Estimating Antioxidant Activity. **Songklanakarín Journal of Science and Technology**, [s. l.], vol. 26, no. 2, p. 211–219, 2004. Available at: <https://doi.org/10.1287/isre.6.2.144>

MOO-HUCHIN, Víctor M. *et al.* Huaya (*Melicoccus bijugatus*) seed flour as a new source of starch: physicochemical, morphological, thermal and functional characterization. **Journal of Food Measurement and Characterization**, [s. l.], vol. 14, no. 6, p. 3299–3309, 2020. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11694-020-00573-3>

MORTON, J. F. Malay Apple. *In*: FRUITS OF WARM CLIMATES. Miami: [s. n.], 1987. p. 378 – 381.

MOUSIA, Z. *et al.* FTIR microspectroscopy study of composition fluctuations in extruded amylopectin-gelatin blends. **Biopolymers - Biospectroscopy Section**, [s. l.], vol. 62, no. 4, p. 208–218, 2001. Available at: <https://doi.org/10.1002/bip.1015>

NACATA, Guilherme; DE ANDRADE, Renata Aparecida. Germination of *Syzygium malaccense* and *Syzygium jambos* seeds under different thermal conditions and seedling morphology. **Revista Brasileira de Fruticultura**, [s. l.], vol. 42, no. 3, p. 1–8, 2020. Available at: <https://doi.org/10.1590/0100-29452020645>

NELSON, Norton. A Photometric Adaptation of the Somogyi Method for the Determination of Glucose. **Journal of Biological Chemistry**, [s. l.], vol. 153, no. 2, p. 375–380, 1944. Available at: [https://doi.org/10.1016/s0021-9258\(18\)71980-7](https://doi.org/10.1016/s0021-9258(18)71980-7)

NEPA. **Tabela brasileira de composição de alimentos - TACO**. 4ª edição. Campinas - SP: [s. n.], 2011. ISSN 16248597. vol. 3 Available at: <https://doi.org/10.1007/s10298-005-0086-x>

NEWELL-McGLOUHLIN, M. Impacto da Biotecnologia sobre o Suprimento e a Qualidade dos Alimentos. p. 819-858. *In*: DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L.; FENNEMA, O. R. Química de Alimentos de Fennema. Artmed, 4 ed., 2010.

NIGAM, Varsha; NIGAM, Ritu; SINGH, Asheesh. Distribution and Medicinal Properties of *Syzygium* species. **Current Research in Pharmaceutical Sciences**, [s. l.], vol. 02, p. 73–80, 2012. Available at: [325542367_PLANTS_OF_THE_GENUS_SYZYGIIUM_MYRTACEAE_A_REVIEW_ON_ETHNOBOTANY_MEDICINAL_PROPERTIES_AND_PHYTOCHEMISTRY](https://doi.org/10.325542367_PLANTS_OF_THE_GENUS_SYZYGIIUM_MYRTACEAE_A_REVIEW_ON_ETHNOBOTANY_MEDICINAL_PROPERTIES_AND_PHYTOCHEMISTRY)

NING, Wang *et al.* Effect of citric acid and processing on the performance of thermoplastic starch/montmorillonite nanocomposites. **Carbohydrate Polymers**, [s. l.], vol. 76, no. 1, p. 68–73, 2009. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2008.09.021>

NUNES, Polyana Campos. **Caracterização física, química e avaliação da capacidade antioxidante do fruto jambo vermelho (*Syzygium malaccense*)**. 100 f. 2015. - Universidade Federal de Pernambuco - UFPE. Centro de Ciências da Saúde. Programa de Pós-Graduação em Nutrição, [s. l.], 2015.

NUNES, Polyana Campos *et al.* Physico-chemical characterization, bioactive compounds and antioxidant activity of Malay apple [*Syzygium malaccense* (L.) Merr. & L.M. Perry]. **PLoS ONE**, [s. l.], vol. 11, no. 6, p. 1–11, 2016. Available at: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0158134>

OLDONI, T. L. C. **Prospecção e identificação de compostos bioativos de subprodutos agroindustriais**. 2010. 195 f. Tese (doutorado) – Universidade de São Paulo, Centro de Energia Nuclear na Agricultura. Piracicaba, 2010.

OLIVEIRA, Sandro de; BAADER, Wilhelm Josef. **Determinação da capacidade antirradicalar de produtos naturais utilizando-se a quimiluminescência do luminol e ensaios fotométricos com radicais estáveis**. 2011. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

OLIVEIRA, Alane Cabral; VALENTIM, Iara Barros; GOULART, Marflia Oliveira Fonseca. Fontes vegetais naturais de antioxidantes alane. **Química Nova**, [s. l.], vol. 32, no. 3, p. 689–702, 2009. Available at: <https://doi.org/10.1590/s0100-40422009000300013>

OZCELIK, B.; LEE, J.H.; MIN, D.B. Effects of light , oxygen , and pH on the pH absorbance of 2 , 2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl. **Food Chemistry and Toxicology**, [s. l.], vol. 68, no. 2, p. 487–490, 2003.

ÖZTÜRK, Tansu; TURHAN, Sadettin. Physicochemical properties of pumpkin (*Cucurbita pepo* L.) seed kernel flour and its utilization in beef meatballs as a fat replacer and functional ingredient. **Journal of Food Processing and Preservation**, [s. l.], vol. 44, no. 9, p. 1–9, 2020. Available at: <https://doi.org/10.1111/jfpp.14695>

PAZ, Mário *et al.* Brazilian fruit pulps as functional foods and additives: Evaluation of bioactive compounds. **Food Chemistry**, [s. l.], vol. 172, p. 462–468, 2015. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.09.102>

PEAT, STANLEY; THOMAS, GWEN J.; WHELAN, W. J. The Enzymic Synthesis and Degradation of Starch. Part XVII.* 2-Enzyme. **Journal of Chemical Society**, [s. l.], p. 722–733, 1952.

PEREIRA, M. C. **Avaliação de compostos bioativos em frutos nativos do Rio Grande do Sul**. 2011. 131 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos. Porto Alegre, 2011.

PEREIRA, Renata Junqueira; CARDOSO, Maria das Graças. Metabólitos secundários vegetais e benefícios antioxidantes. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, [s. l.], vol. 3, no. 4, p. 146–152, 2012. Available at: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/95139>

PIEKARSKI-BARCHIK, Paula *et al.* Mineral Content, Antioxidant Activity and Essential Oil of *Allophylus edulis* (A. St.-Hil., A. Juss. & Cambess.) Radlk. Leaves: Plant from South American Biodiversity. **Chemistry and Biodiversity**, [s. l.], vol. 18, no. 8, 2021. Available at: <https://doi.org/10.1002/cbdv.202100257>

PIETTA, Pier Giorgio. Flavonoids as antioxidants. **Journal of Natural Products**, [s. l.], vol. 63, no. 7, p. 1035–1042, 2000. Available at: <https://doi.org/10.1021/np9904509>

PINO, Jorge A. *et al.* Volatile constituents of Malay rose apple [*Syzygium malaccense* (L.) Merr. & Perry]. **Flavour and Fragrance Journal**, [s. l.], vol. 19, no. 1, p. 32–35, 2004. Available at: <https://doi.org/10.1002/ffj.1269>

PLAAMI, S.P (1997). Content of dietary Fiber in Foods and its physiological effects, *Food Rev. Internl.* 13:27-76.

PRESCOTT, Christopher; BOTTLE, Steven E. Biological Relevance of Free Radicals and Nitroxides. **Cell Biochemistry and Biophysics**, [s. l.], vol. 75, no. 2, p. 227–240, 2016. Available at: <https://doi.org/10.1007/s12013-016-0759-0>

PRIOR, Ronald L.; WU, Xianli; SCHAICH, Karen. Standardized methods for the determination of antioxidant capacity and phenolics in foods and dietary supplements. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, [s. l.], vol. 53, no. 10, p. 4290–4302, 2005. Available at: <https://doi.org/10.1021/jf0502698>

RABETA, M. S. *et al.* Anticancer effect of underutilized fruits. **International Food Research Journal**, [s. l.], vol. 20, no. 2, p. 551–556, 2013.

RAMOS, Raíssa Vieira Ribeiro *et al.* Sustentabilidade: utilização de vegetais na forma integral ou de partes alimentícias não convencionais para elaboração de farinhas. **DEMETRA: Alimentação, Nutrição & Saúde**, [s. l.], vol. 15, 2020. Available at: <https://doi.org/10.12957/demetra.2020.42765>

RATNAM, D. Venkat *et al.* Role of antioxidants in prophylaxis and therapy: A pharmaceutical perspective. **Journal of Controlled Release**, [s. l.], vol. 113, no. 3, p. 189–207, 2006. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2006.04.015>

RE, ROBERTA *et al.* ANTIOXIDANT ACTIVITY APPLYING AN IMPROVED ABTS RADICAL CATION DECOLORIZATION ASSAY. **Free Radical Biology & Medicine**, [s. l.], vol. 26, no. 9/10, p. 1231–1237, 1999.

REYNERTSON, Kurt A. *et al.* Quantitative analysis of antiradical phenolic constituents from fourteen edible Myrtaceae fruits. **Food Chemistry**, [s. l.], vol. 109,

no. 4, p. 883–890, 2008. Available at:
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.01.021>

ROBARDS, Kevin. Strategies for the determination of bioactive phenols in plants, fruit and vegetables Kevin. **J chromatogr**, [s. l.], vol. 1000, p. 657–691, 2003. Available at: https://doi.org/10.1007/978-3-642-33965-3_2

ROLEIRA, Fernanda M.F. *et al.* Plant derived and dietary phenolic antioxidants: Anticancer properties. **Food Chemistry**, [s. l.], vol. 183, p. 235–258, 2015. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.03.039>

RUFINO, M. S. M.; ALVES, R. E.; BRITO, E. S.; MORAIS, S. M.; SAMPARIO, C. G.; PÉREZ-JIMÉNES J.; SAURA-CALIXTO, F. D. Metodologia Científica: Determinação da Atividade Antioxidante Total em Frutas pelo Método de Redução do Ferro (FRAP). Comunicado Técnico. Embrapa, Fortaleza, dez. 2006

RYADIN, A.R. *et al.* Vegetative Propagation of Five Local Cultivars of Malay Apple (*Syzygium malaccense* spp.) in Ternate Island. **International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology**, [s. l.], vol. 4, no. 2, p. 35–39, 2014. Available at: <https://doi.org/10.18517/ijaseit.4.2.371>

SÁNCHEZ-MORENO, C. Methods Used to Evaluate the Free Radical Scavenging Activity in Foods and Biological Systems. **Food Science and Technology International**, [s. l.], vol. 8, no. 3, p. 121–137, 2002. Available at: <https://doi.org/10.1106/108201302026770>

SANKAT, C. K.; BASANTA, A.; MAHARAJ, V. Light mediated red colour degradation of the pomarac (*Syzygium malaccense*) in refrigerated storage. **Postharvest Biology and Technology**, [s. l.], vol. 18, no. 3, p. 253–257, 2000. Available at: [https://doi.org/10.1016/S0925-5214\(99\)00081-2](https://doi.org/10.1016/S0925-5214(99)00081-2)

SANTANA, Gabriela Silva; OLIVEIRA FILHO, Josemar Gonçalves de; EGEA, Mariana Buranelo. Características Tecnológicas De Farinhas Vegetais Comerciais. **Journal of Neotropical Agriculture**, [s. l.], vol. 4, no. 2, p. 88–95, 2017. Available at: <https://doi.org/10.32404/rean.v4i2.1549>

SANTOS, Pedro Henrique *et al.* Influence of temperature , concentration and shear rate on the rheological behavior of malay apple (*Syzygium malaccense*) juice Influência da temperatura , concentração e taxa de deformação no. **Brazilian Journal of Food Technology**, [s. l.], vol. 19, p. 1–9, 2016.

SARASWAT, P.; SUBASHINI, S. P.; KAUR, S. Lipids: Functions, Applications in Food Industry and Oxidation. **Journal of Emerging Technologies and Innovative Research**, v. 8, n. 7, p. a300–a305, 2021.

SAURA-CALIXTO, Fulgencio; GOÑI, Isabel. Antioxidant capacity of the Spanish Mediterranean diet. **Food Chemistry**, [s. l.], vol. 94, no. 3, p. 442–447, 2006. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.11.033>

SCHEUER, P.M. *et al.* Trigo: Características E Utilização Na Panificação. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, [s. l.], vol. 13, no. 2, p. 211–222, 2011. Available at: <https://doi.org/10.15871/1517-8595/rbpa.v13n2p211-222>

SCHIEBER, Michael; CHANDEL, Navdeep S. ROS function in redox signaling and oxidative stress. **Current Biology**, [s. l.], vol. 24, no. 10, p. R453–R462, 2014. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.cub.2014.03.034>

SEBRAE. **Agronegócio - Fruticultura**. In: BOLETIM DE INTELIGÊNCIA. [S. l.: s. n.], 2015. p. 1–6.

SHAHIDI, Fereidoon; AMBIGAIPALAN, Priyatharini. Phenolics and polyphenolics in foods, beverages and spices: Antioxidant activity and health effects - A review. **Journal of Functional Foods**, [s. l.], vol. 18, p. 820–897, 2015. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jff.2015.06.018>

SHAHIDI, Fereidoon; YEO, Ju Dong. Insoluble-bound phenolics in food. **Molecules**, [s. l.], vol. 21, p. 1–22, 2016. Available at: <https://doi.org/10.3390/molecules21091216>
SHIRAHIGUE, Ligianne Din; CECCATO-ANTONINI, Sandra Regina. Agro-industrial wastes as sources of bioactive compounds for food and fermentation industries. **Ciencia Rural**, [s. l.], vol. 50, no. 4, 2020. Available at: <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20190857>

SILVA, C. **FRACIONAMENTO BIOGUIADO DE FOLHAS DE Syzygium malaccense**. 2018. 43 f. Monografia (graduação) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Pato Branco, Curso de Química. Pato Branco, 2018.

SILVA, A. M. **INFLUÊNCIA DO TIPO DE AMIDO E AQUECIMENTO - CONVENCIONAL E ÔHMICO - SOBRE AS PROPRIEDADES DE GÉIS**. 2019. 90 f. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Departamento de Engenharia Química, Pós – Graduação em Engenharia Química. Porto Alegre, 2019.

SILVA, Semirames do N. *et al.* Production and Physical and Physicochemical Characterization Powder in Natura and Freeze-Dried of Moringa Seeds. **Journal of Agricultural Science**, [s. l.], vol. 11, no. 9, p. 11–20, 2019. Available at: <https://doi.org/10.5539/jas.v11n9p11>

SILVERSTEIN, R. e WEBSTER, F. Identificação Espectrofotométrica de Compostos Orgânicos, 6a Edição. Livros Técnicos e Científicos Editora SA, p. 67-135. 2006.

SINGH, Narpinder *et al.* Diversity in seed and flour properties in field pea (*Pisum sativum*) germplasm. **Food Chemistry**, [s. l.], vol. 122, no. 3, p. 518–525, 2010. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.02.064>

SINGLETON, V. L.; ORTHOFER, R.; LAMUELA-RAVENTÓS, R. M. Analysis of Total Phenols and Other Oxidation Substrates and Antioxidants by Means of Folin-Ciocalteu Reagent. **METHODS IN ENZYMOLOGY**, [s. l.], vol. 299, p. 152–178, 1999.

SOMOGYI, Michael. A New Reagent for the Determination of Sugars. **Journal of Biological Chemistry**, [s. l.], vol. 160, no. 1, p. 61–68, 1945. Available at: [https://doi.org/10.1016/s0021-9258\(18\)43097-9](https://doi.org/10.1016/s0021-9258(18)43097-9)

STALIKAS, Constantine D. Extraction, separation, and detection methods for phenolic acids and flavonoids. **Journal of Separation Science**, [s. l.], vol. 30, no. 18, p. 3268–3295, 2007. Available at: <https://doi.org/10.1002/jssc.200700261>

STALIKAS, Constantine D. Phenolic Acids and Flavonoids: Occurrence and Analytical Methods. *In*: FREE RADICALS AND ANTIOXIDANT PROTOCOLS, METHODS IN MOLECULAR BIOLOGY. [S. l.: s. n.], 2010. vol. 610, p. 65–90. Available at: <https://doi.org/10.1007/978-1-60327-029-8>

TAPIA-BLÁCIDO, Delia R.; SOBRAL, Paulo J.A.; MENEGALLI, Florencia C. Potential of *Amaranthus cruentus* BRS Alegria in the production of flour, starch and protein concentrate: Chemical, thermal and rheological characterization. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, [s. l.], vol. 90, no. 7, p. 1185–1193, 2010. Available at: <https://doi.org/10.1002/jsfa.3946>

TEODORO, Anderson Junger. Bioactive compounds of food: Their role in the prevention and treatment of diseases. **Oxidative Medicine and Cellular Longevity**, [s. l.], 2019. Available at: <https://doi.org/10.1155/2019/3765986>

TESTER, Richard F.; KARKALAS, John; QI, Xin. Starch - Composition, fine structure and architecture. **Journal of Cereal Science**, [s. l.], vol. 39, no. 2, p. 151–165, 2004. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2003.12.001>

THOMAZ, Luísa *et al.* Effects of dual modification on thermal, structural and pasting properties of taro (*Colocasia esculenta* L.) starch. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, [s. l.], vol. 139, no. 5, p. 3123–3132, 2019. Available at: <https://doi.org/10.1007/s10973-019-08728-1>

TSAO, Rong. Chemistry and biochemistry of dietary polyphenols. **Nutrients**, [s. l.], vol. 2, no. 12, p. 1231–1246, 2010. Available at: <https://doi.org/10.3390/nu2121231>

TUROLA BARBI, Rafaela Cristina *et al.* *Eriobotrya japonica* seed as a new source of starch: Assessment of phenolic compounds, antioxidant activity, thermal, rheological and morphological properties. **Food Hydrocolloids**, [s. l.], vol. 77, p. 646–658, 2018. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.11.006>

VALKO, Marian *et al.* Free radicals and antioxidants in normal physiological functions and human disease. **International Journal of Biochemistry and Cell Biology**, [s. l.], vol. 39, no. 1, p. 44–84, 2007. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.biocel.2006.07.001>

VILLARREAL, Myriam E.; RIBOTTA, Pablo D.; ITURRIAGA, Laura B. Comparing methods for extracting amaranthus starch and the properties of the isolated starches. **LWT - Food Science and Technology**, [s. l.], vol. 51, no. 2, p. 441–447, 2013. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.11.009>

VUOLO, Milena Morandi *et al.* Red-jambo peel extract shows antiproliferative activity against HepG2 human hepatoma cells. **Food Research International**, [s. l.], vol. 124, no. August 2018, p. 93–100, 2018. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.08.040>

WATERSCHOOT, Jasmien *et al.* Production, structure, physicochemical and functional properties of maize, cassava, wheat, potato and rice starches. **Starch/Staerke**, [s. l.], vol. 66, p. 1–16, 2014. Available at: <https://doi.org/10.1002/star.201300238>

WHISTLER, W Arthur; ELEVITCH, Craig R. *Syzygium malaccense* (Malay apple). **Species Profiles for Pacific Island Agroforestry**, [s. l.], no. April, p. 1–13, 2006.

WONG, K. C.; LAI, F. Y. Volatile constituents from the fruits of four *Syzygium* species grown in Malaysia. **Flavour and Fragrance Journal**, [s. l.], vol. 11, no. 1, p. 61–66, 1996. Available at: [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1026\(199601\)11:1<61::AID-FFJ539>3.0.CO;2-1](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1026(199601)11:1<61::AID-FFJ539>3.0.CO;2-1)

YE, Zhi Wei *et al.* Oxidative stress, redox regulation and diseases of cellular differentiation. **Biochimica et Biophysica Acta**, [s. l.], vol. 1850, no. 8, p. 1607–1621, 2015. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.bbagen.2014.11.010>

YU, Huaguang *et al.* Structure and physicochemical properties of starches in lotus (*Nelumbo nucifera* Gaertn.) rhizome. **Food Science & Nutrition**, [s. l.], vol. 1, no. 4, p. 273–283, 2013. Available at: <https://doi.org/10.1002/fsn3.37>

ZHANG, Shui Dong *et al.* Modified corn starches with improved comprehensive properties for preparing thermoplastics. **Starch/Staerke**, [s. l.], vol. 59, no. 6, p. 258–268, 2007. Available at: <https://doi.org/10.1002/star.200600598>

ZHISHEN, J.; MENGCHENG, T.; JIANMING, W. The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals. **Food Chemistry**, [s. l.], vol. 64, p. 555–559, 1999.

ZHU, Fan; WANG, Ya Jane. Characterization of modified high-amylose maize starch- α -naphthol complexes and their influence on rheological properties of wheat starch. **Food Chemistry**, [s. l.], vol. 138, no. 1, p. 256–262, 2013. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.09.097>