



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA QUÍMICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ALIMENTOS



GRAZIELA BRUNA GUIMARÃES SILVA

SECAGEM INTEGRAL DE MAMÃO EM MICRO-ONDAS E SEUS EFEITOS NOS
COMPOSTOS BIOATIVOS

Patos de Minas

2025

GRAZIELA BRUNA GUIMARÃES SILVA

SECAGEM INTEGRAL DE MAMÃO EM MICRO-ONDAS E SEUS EFEITOS
NOS COMPOSTOS BIOATIVOS

Projeto Final de Curso apresentado à Faculdade
de Engenharia Química da Universidade
Federal de Uberlândia como requisito parcial
para obtenção do título de bacharel em
Engenharia de Alimentos.

Orientador(a): Dr. Neiton Carlos da Silva

Patos de Minas

2025



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

Faculdade de Engenharia Química

Av. João Naves de Ávila, 2121, Bloco 1K - Bairro Santa Mônica, Uberlândia-MG, CEP 38400-902

Telefone: (34) 3239-4285 - secdireq@feq.ufu.br - www.feq.ufu.br



HOMOLOGAÇÃO Nº 122

GRAZIELA BRUNA GUIMARÃES SILVA

Secagem integral de mamão em micro-ondas e seus efeitos nos compostos bioativos

Projeto Final de Curso aprovado nesta data para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Uberlândia (UFU) - *campus Patos de Minas (MG)* pela banca examinadora constituída por:

Prof. Dr. Neiton Carlos da Silva

Orientador - FEQUI/UFU

Prof.ª Dr.ª Marta Fernanda Zottarelli

FEQUI/UFU

Prof. Dr. Ricardo Correa de Santana

FEQUI/UFU

Patos de Minas, 19 de maio de 2025.



Documento assinado eletronicamente por **Neiton Carlos da Silva, Presidente**, em 19/05/2025, às 17:03, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Ricardo Correa de Santana, Membro de Comissão**, em 19/05/2025, às 17:12, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Marta Fernanda Zottarelli, Membro de Comissão**, em 20/05/2025, às 07:02, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **6309610** e o código CRC **2C7D805B**.

AGRADECIMENTOS

É com muita gratidão e felicidade que finalizo mais uma etapa para a conclusão da minha tão sonhada graduação e gostaria de agradecer aos que foram fundamentais para isso.

Primeiramente agradeço à Deus pela oportunidade concedida e por toda a força, coragem, garra, fé e determinação que me deu para vencer os desafios dessa jornada. Sem Ele, eu jamais chegaria até aqui.

Agradeço à minha família, em especial aos meus pais pelo esforço para que eu pudesse trilhar esse caminho. À minha mãe Ana Alice pela insistência de me conceder o estudo superior. Às minhas irmãs pelas brincadeiras e risos que aliviavam os dias de muita pressão. Ao Gustavo, que ria comigo, mas também percebia os momentos difíceis mesmo que eu não falasse e tentava fazer os dias se tornarem mais leves em frente aos desafios.

Agradeço ao meu orientador Neiton que além de professor que admiro muito também se tornou um amigo, por ter acreditado em meu potencial e me incentivar durante boa parte da caminhada acadêmica. Seus conselhos, preocupação e principalmente a compreensão foram fundamentais para que eu não desistisse. Muito obrigada pela orientação, apoio, paciência e companheirismo durante todo o desenvolvimento desse trabalho e na jornada acadêmica.

Agradeço aos professores Marta e Ricardo por aceitarem compor a banca de avaliação do meu trabalho.

Agradeço aos técnicos do laboratório, em especial Luiz André e Betânia, por toda a disponibilidade em me orientar e aconselhar durante a execução experimental.

Agradeço à professora Marta pela paciência, flexibilidade e empatia comigo na confecção desse trabalho. Também agradeço à professora Carla Guidini pelas conversas, apoio, ajuda e incentivo que me deu na graduação, foram essenciais.

Agradeço aos colegas Laura, Ordarlei e José Lucas pelos dias em conjunto no laboratório, que tornaram os dias de erro e resultados não esperados um pouco mais leves. Laura, obrigada pelos auxílios nos experimentos e companheirismo no laboratório e faculdade.

Agradeço a todos que me ajudaram a chegar até aqui.

Muito obrigada!

RESUMO

O mamão é um fruto rico em compostos bioativos os quais têm despertado crescente interesse por parte dos consumidores e indústria. Porém, é um alimento altamente perecível, e enfrentando por isso, dificuldades e limitações na comercialização e exportação. A secagem por micro-ondas é uma metodologia relativamente recente no contexto industrial, porém vem ganhando destaque por proporcionar operações rápidas, eficientes, e com menor consumo energético em comparação aos métodos de secagem convencionais. A partir disso, esse trabalho foi desenvolvido com o intuito de estudar o efeito da secagem do mamão integral em diferentes potências de forno micro-ondas, sobre o teor dos compostos bioativos, considerando-se a elevada presença desses compostos não somente na polpa, mas também na casca e na semente. Para a realização do trabalho, o mamão inteiro (casca, polpa e semente) foi submetido à secagem em micro-ondas, visando encontrar os parâmetros de tempo e potência de secagem adequados para posterior avaliação da qualidade nutricional do produto seco (teor de compostos bioativos). A atividade de água e umidade foram utilizadas como critérios para o ajuste de tempo adequado de secagem, a fim de garantir a obtenção de um produto microbiologicamente seguro e com propriedades nutricionais preservadas. A cor sofreu bastante alterações devido à energia térmica ser capaz de degradar os pigmentos presentes e favorecer escurecimento enzimático. Os teores de fenólicos totais e flavonoides totais observados no material seco foram maiores que aqueles observados no *in natura*. Para os compostos fenólicos, os teores mais elevados foram encontrados na potência de 420 W (21336,36 mg de ácido gálico por 100 g de amostra em base seca) e 70 W (21211,48 mg de ácido gálico por 100 g de amostra em base seca). Para os flavonoides totais, foram as potências de 420 W (245,21 mg de rutina por 100 g de amostra em base seca) e 490 W (232,70 mg de rutina por 100 g de amostra em base seca). Na análise do teor de ácido ascórbico, foi possível encontrar valores maiores do composto nos pós de mamão seco nas potências de 280 W, 350 W, 420 W e 490 W do que na pasta de mamão *in natura* devido a utilização da casca do mamão que, além de possuir duas vezes mais ácido ascórbico em sua composição também é capaz de proteger os compostos da degradação causada pelo calor do processo de secagem. Esse estudo demonstrou que a secagem do mamão integral por meio de micro-ondas é um processo promissor capaz de gerar um produto com elevada concentração de compostos bioativos, especialmente na potência 6 (420 W), que proporcionou os melhores resultados, com tempo reduzido de processamento (21 minutos).

Palavras-chave: mamão; secagem integral; micro-ondas; compostos bioativos.

ABSTRACT

Papaya is a fruit rich in bioactive compounds that are increasingly attracting the attention of consumers and industry; however, it is a highly perishable food that faces challenges in marketing and export. The microwave is a drying method that can be considered new in the industrial field, however it has been gaining traction due to this equipment's rapid, efficient, and energy-saving drying process compared to conventional drying methods. Based on this, this work was developed with the aim of studying the effect of drying papaya at various microwave powers on the bioactive compounds of whole papaya due to the high amount of bioactive compounds not only in the pulp but also in the skin and seeds. The water activity and moisture allowed for an appropriate drying time adjustment to produce of safe food with maintained nutritional quality. The color underwent significant changes due to thermal energy being capable of degrading the present pigments and promoting enzymatic darkening. The total phenolic and flavonoid contents observed in the dried material were higher than those observed in the fresh state. For phenolic compounds, the best results were found at 420 W (21336.36 mg of gallic acid per 100 g of dry matter) and 70 W (21211.48 mg of gallic acid per 100 g of dry matter). For total flavonoids, the powers were 420 W (245.21 mg of rutin per 100 g of dry sample) and 490 W (232.70 mg of rutin per 100 g of dry sample). In the analysis of ascorbic acid content, higher values of the compound were found in dry papaya powders at powers of 280 W, 350 W, 420 W, and 490 W than in fresh papaya paste due to the use of the papaya peel which, in addition to containing twice as much ascorbic acid in its composition, is also capable of protecting the compounds from degradation caused by the heat of the drying process. This study demonstrated that drying whole papaya using microwaves is a promising process capable of generating a product with a high concentration of bioactive compounds, especially at power level 6 (420 W) with a reduced processing time (21 minutes).

Keywords: papaya; whole drying; microwave; bioactive compounds.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	1
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1	MAMÃO.....	3
2.2	COMPOSTOS BIOATIVOS.....	5
2.2.1	<i>Fenólicos.....</i>	5
2.2.2	<i>Flavonoides.....</i>	6
2.2.3	<i>Ácido ascórbico.....</i>	7
2.3	SECAGEM.....	8
2.3.1	<i>Atividade de água (a_w).....</i>	9
2.3.2	<i>Micro-ondas.....</i>	10
3	METODOLOGIA.....	12
3.1	MATERIAIS UTILIZADOS.....	12
3.1.1	<i>Mamão.....</i>	12
3.2	METODOLOGIA DE SECAGEM	13
3.2.1	<i>Micro-ondas.....</i>	13
3.3	ANÁLISES REALIZADAS.....	16
3.3.1	<i>Umidade.....</i>	16
3.3.2	<i>Atividade de água (a_w).....</i>	17
3.3.3	<i>Cor.....</i>	18
3.3.4	<i>Análises de Compostos Bioativos</i>	18
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	21
4.1	CONSIDERAÇÕES DO COMPORTAMENTO DA PASTA E DA COR EM DIFERENTES POTÊNCIAS DE SECAGEM	21
4.2	UMIDADE E ATIVIDADE DE ÁGUA (A_w)	22
4.3	COR.....	23
4.4	COMPOSTOS BIOATIVOS.....	26
4.4.1	<i>Fenólicos Totais</i>	26
4.4.2	<i>Flavonoides Totais.....</i>	28
4.4.3	<i>Ácido ascórbico</i>	29
5	CONCLUSÃO.....	32
6	REFERÊNCIAS.....	33

1 INTRODUÇÃO

O estilo de vida atual permite que as pessoas busquem alimentos pouco nutritivos, o que facilita o sedentarismo e o surgimento de doenças crônicas como diabetes, depressão, obesidade, sistema imunológico baixo, pressão alta, doenças cardiovasculares e até mesmo câncer (JADHAV et al., 2023). As frutas frescas possuem grande quantidade de compostos nutracêuticos e bioativos, através de dados epidemiológicos constatou-se que são capazes de superar doenças degenerativas como câncer, envelhecimento, artrite, doenças cardiovasculares, entre outras (ANNEGOWDA et al., 2014). Conforme definido por Jadhav et al. (2023), os alimentos relacionados à saúde podem receber nomes como 'nutracêuticos', 'suplemento dietético', 'probiótico', 'alimentos funcionais' e são termos que chamam cada vez mais a atenção dos consumidores visto que são alimentos que além de saciar a fome, também podem trazer benefícios à saúde.

Nesse contexto, o mamão (*Carica papaya L.*) é um fruto rico em compostos bioativos e inclui propriedades antioxidantes, anti-inflamatórias e antimicrobianas que são de interesse dos consumidores. É uma fruta amplamente consumida em todo o mundo devido ao sabor e ao alto valor nutricional como vitaminas A e C, minerais, carotenoides e açúcares (ANNEGOWDA et al., 2014). Segundo Biswas et al. (2023), o mamão possui potente valor nutricional com compostos fitoquímicos, como polifenóis, carotenoides, vitaminas, minerais e ácido ascórbico, indicando alta atividade antioxidante. O fruto é consumido na forma de vitaminas, doces e sobremesas, assim como ingrediente de barras de frutas e iogurtes. Acredita-se que o consumo de mamão maduro ou seu suco seja capaz de superar distúrbios digestivos, alivie infecções do colôn (atribuídas à presença da enzima papaína) e seja recomendado como remédio para intoxicação alimentar. Já em medicamentos tradicionais, o suco é considerado eficaz no tratamento de verrugas, câncer, tumores e endurecimentos da pele (ANNEGOWDA et al., 2014).

Apesar de todos os benefícios, o fruto é bastante sensível e frágil, características que dificultam a comercialização interna e, principalmente a exportação em larga escala. No Brasil, um dos principais produtores de mamão, a perda total é estimada em 10% a 40% da produção, o que torna necessário o desenvolvimento de estudos para preservação desse fruto e, por consequência, diminuir o desperdício (FERNANDES et al., 2006). De acordo com Gomes et al. (2018) as perdas da produção podem ser reduzidas por meio do processamento através da secagem ao qual é capaz de preservar a bioatividade, bem como características nutricionais e sensoriais.

A secagem é um dos métodos de conservação de alimentos mais antigo e continua sendo de grande importância para a preservação de alimentos, pois a água, principal componente da maioria dos alimentos, influencia diretamente na durabilidade e qualidade dos produtos devido a interação das moléculas e efeito nas alterações físico-químicas e biológicas (FERNANDES et al., 2006). A conservação promovida pela secagem se deve à redução da taxa de deterioração dos produtos ao inibir a respiração, proliferação microbiana e as reações bioquímicas devido a remoção da umidade (YAP et al., 2020). Vale ressaltar que especialmente para frutas e vegetais além da conservação, a secagem também possui a vantagem de proporcionar armazenagem e transporte a um custo relativamente baixo em relação aos produtos originais (EL-AOUAR; AZOUBEL; MURR, 2003). Segundo Yap et al. (2020), além da função na conservação dos alimentos, a secagem também contribui significativamente para o armazenamento e o transporte mais eficientes, uma vez que promove a redução do peso do produto, ampliando, assim, o seu potencial de distribuição para diferentes regiões (El-Aouar et al., 2003);(Yap et al., 2020).

É importante destacar que os distintos métodos de secagem adotados influenciam diretamente a qualidade final dos produtos, especialmente no que se refere aos aspectos nutricionais, funcionais e sensoriais (YAP et al., 2020). Segundo El-Aouar, Azoubel e Murr (2003), algumas questões a serem bem analisadas no momento de escolher o método de conservação do alimento por secagem é com relação ao custo e a qualidade do produto final, sendo que a secagem é capaz de contribuir significativamente com relação ao custo quando comparado à utilização do produto original já que produtos secos passam por redução de volume e não necessitam de refrigeração durante o armazenamento . Diante disso, a secagem por micro-ondas surge como uma opção promissora de estudo por tratar-se de um equipamento popularizado, ao qual permite processo de secagem rápido em comparação com os métodos convencionais (SILVA, 2019).

Dessa forma, o objetivo geral desse trabalho foi avaliar o comportamento do mamão integral seco em diferentes potências do micro-ondas para posterior análise de compostos bioativos. O objetivo específico foi encontrar os parâmetros adequados de tempo e potência aplicadas na secagem por micro-ondas para que o mamão integral seco obtido tenha qualidade nutricional mantida pela retenção dos compostos bioativos mesmo após o processo da secagem.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Mamão

O mamoeiro (Figura 1-a) pertence à família botânica *Caricaceae* na qual a espécie mais importante econômica e socialmente é a *Carica papaya* devido ao rápido desenvolvimento e a alta produtividade (SILVA JÚNIOR, 2018). Essa planta produz frutos com rápido ciclo de maturação, o que resulta na alta perecibilidade que por consequência facilita altas perdas na comercialização desse fruto (Abd El-Salam et al., 2021).

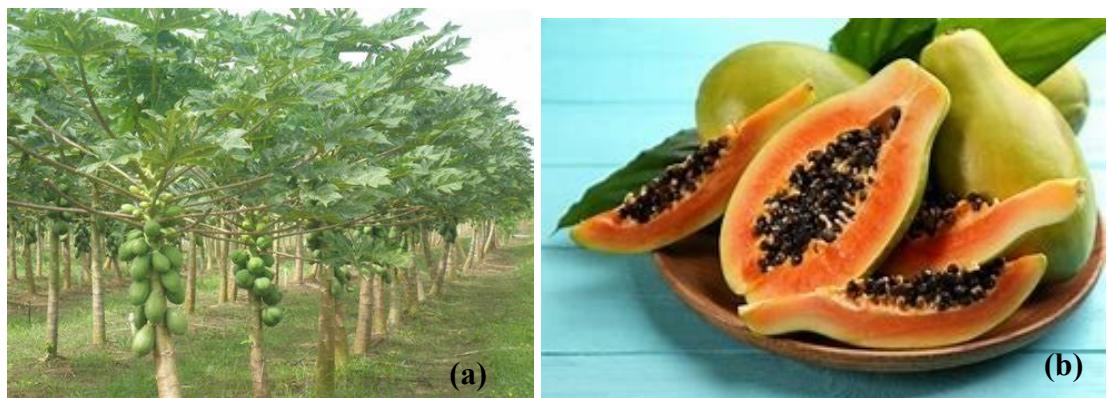


Figura 1: (a) Mamoeiro; (b) Mamão (Google Imagens).

O fruto do mamoeiro (Figura 1-b) é proveniente do Sul do México, típico de regiões tropicais e apresenta sabor doce e delicado (GARCIA et al., 2012). Além disso possui formato de baga ovoide de tamanho entre 2 e 30 cm de comprimento e de 1 a 6 cm de largura podendo atingir peso de até 10 kg. Quando maduro, a casca do mamão é fina com coloração entre amarelo e laranja enquanto a polpa comumente é amarela, alaranjada ou avermelhada. Esse fruto possui interior oco com presença de sementes esféricas e pretas (SILVA JÚNIOR, 2018).

O mamão *Carica papaya* é considerado uma fruta saudável e barata disponível por todo o ano de forma independente da estação ou do clima. Os aspectos característicos de sabor, qualidade nutricional e propriedades digestivas fazem do mamão um fruto apreciado em todo o mundo (CHANG et al., 2020). Segundo Zhou et al. (2023) além do consumo *in natura*, o mamão também é amplamente utilizado como ingrediente na formulação de geleias, sorvetes, bebidas e também pode ser empregado na elaboração de sobremesas diversas.

De acordo com Ming et al. (2008), o mamão foi classificado juntamente com goiaba, melancia, toranja e kiwi como as cinco frutas mais benéficas nutricionalmente quando comparadas com 38 frutas comuns, o que mostra que é uma cultura de frutas econômica e nutricionalmente importantes. Além disso, devido aos componentes nutricionais é popular e comumente consumida como fruta fresca diariamente entre a população (ZHOU et al., 2023).

O consumo regular dessa fruta garante quantidade suficiente de vitaminas A, B2 e C assim como de minerais como folato, cálcio, ferro e potássio (SILVA JÚNIOR, 2018). Segundo Garcia et al. (2012) a polpa do mamão possui licopeno, a β -criptoxantina e o β -caroteno, pigmentos tipicamente vermelho-alaranjados como carotenoides majoritários.

O mamoeiro possui uma particularidade de não apenas a polpa como também as folhas, raízes, sementes e cascas poderem ser consumidas. Vale ressaltar que todas as partes da planta são reconhecidas pelas propriedades medicinais e inclusive já tem sido usada contra uma variedade de doenças (YAP *et al.*, 2020). Além disso o consumo de mamão gera uma grande quantidade de resíduos sólidos na forma de cascas (12% da fruta) e sementes (15–20% da fruta), sendo importante encontrar formas de aproveitamento desses subprodutos (ALHANIF; KUMORO; WARDHANI, 2022).

As folhas do mamoeiro contêm diversos compostos bioativos, entre os quais se destacam os flavonoides (como kaempferol e miricetina), os alcaloides (carpaína, pseudocarpaína, desidrocarpaína I e II), os compostos fenólicos (ácido ferúlico, ácido cafeico e ácido clorogênico), além de compostos cianogenéticos, como o benzilglucosinolato (YAP *et al.*, 2020). Além disso, segundo Subenthiran et al. (2013) o suco extraído das folhas de mamão tem demonstrado potencial para elevar a contagem de leucócitos, o nível de hematócrito e de plaquetas, normalizar o processo de coagulação sanguínea, auxiliar na regeneração hepática e atuar no tratamento de pacientes com infecções virais, como a dengue, além de apresentar propriedades inibitórias sobre o crescimento de células cancerígenas.

O processamento da polpa do mamão vem sendo cada vez mais estudado devido à fragilidade do fruto. É uma forma de evitar desperdício e aumentar a disponibilidade do fruto para os consumidores e indústrias na forma de purê, fatias e pó podendo ser utilizados como ingrediente formulador na produção de muitos alimentos como néctar, sabor de sorvete, cereais frutados prontos para comer, entre outros (QADRI; OSAMA; SRIVASTAVA, 2020). A polpa do mamão é rica em componentes bioativos, como aminoácidos, saponinas, flavonoides e taninos. Além disso apresenta propriedades farmacológicas e atributos terapêuticos, como ação antioxidante, anticancerígeno, antialérgico, antifúngico e anti-inflamatório (ZHOU *et al.*, 2023).

As sementes do mamão são consideradas um subproduto, podendo ser destinadas para a produção de ração animal, porém sem valor agregado (BUALUANG *et al.*, 2019). Pesquisas anteriores relataram que sementes de mamão possuem grande potencial no desenvolvimento de novos produtos nas indústrias alimentícia e farmacêutica devido à riqueza de nutrientes (gordura, proteína, carboidratos, minerais, fibras), alto teor de compostos fenólicos, e

carotenoides. Todos esses compostos conferem à semente de mamão características antivirais, antibacterianas, cardioprotetoras e antioxidantes (ALHANIF; KUMORO; WARDHANI, 2022).

A casca do mamão é um resíduo frequentemente descartado, embora seja rica em fibras, compostos fenólicos, sólidos solúveis, vitamina C, acidez titulável e minerais como cobre e cobalto podendo ser considerada fonte de alto poder antioxidante (SINGLA; SINGH; SIT, 2023).

O grau de amadurecimento dos frutos também afeta os compostos bioativos sendo que, de modo geral, quanto mais maduros (coloração próxima do laranja), maior é a capacidade antioxidante, bem como do teor de compostos fenólicos (YAP *et al.*, 2020).

Como pode ser observado, dada a grande riqueza de componentes bioativos presentes em várias partes do mamão, escolheu-se explorar nesse trabalho a secagem integral da fruta, visando quantificar os compostos bioativos presentes na polpa, sementes e casca do mamão maduro a partir da secagem em micro-ondas.

2.2 Compostos Bioativos

Os compostos bioativos são componentes dos alimentos que, além de fornecerem nutrientes, podem promover benefícios à saúde (MARTINEZ-MAYORGA *et al.*, 2013). Segundo Silva (2019), as substâncias antioxidantes ganham destaque entre os compostos bioativos devido a capacidade de retardar e/ou inibir a oxidação de um substrato oxidável, o que permite proteger o organismo humano contra o efeito oxidativo em radicais livres.

O mamão é um fruto de destaque no consumo humano devido à alta disponibilidade de nutrientes e baixa quantidade de calorias sendo que a maior parte predomina carboidratos, apresentando, contudo, baixos teores de gordura e proteína (KUMARASINGHE *et al.*, 2024). Alguns compostos bioativos importantes encontrados no mamão e que serão abordados nesse trabalho são apresentados em tópicos na sequência.

2.2.1 Fenólicos

Os compostos fenólicos são conhecidos pela sua capacidade antioxidante, podendo neutralizar radicais livres, reduzindo o estresse oxidativo, o que por consequência, podem diminuir a tendência de doenças crônicas como câncer e distúrbios cardiovasculares. Além dessas contribuições mencionadas, os compostos fenólicos podem fortalecer o sistema imunológico e minimizar inflamações (KUMARASINGHE *et al.*, 2024).

Esses compostos podem ser categorizados como hidrossolúveis, na classe de ácidos fenólicos (fenilpropanóides, flavonoides e quinonas), assim como insolúveis em água (taninos condensados, ligninas e ácidos hidroxicinâmicos ligados à parede celular) (HAMINIUK et al., 2012). A estrutura química desses compostos possui um anel aromático com um ou mais grupos hidroxídos (Figura 2). O número de anéis de fenol e dos elementos que ligam esses anéis permite a classificação dos compostos gerados em ácidos fenólicos, flavonoides, estilbenos e taninos (Butterfield et al., 2002).

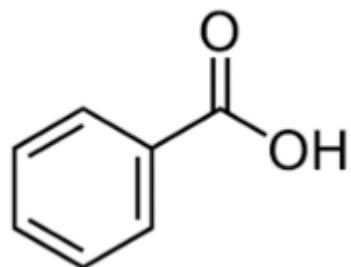


Figura 2: Estrutura básica de compostos fenólicos (Adaptado Chen & Patel, 2008).

Podem ser citados como compostos fenólicos presentes no mamão a quercetina, ácido p-cumárico, ácido gálico e ácido ferúlico (KUMARASINGHE *et al.*, 2024).

2.2.2 Flavonoides

Os flavonoides são a classe de fenólicos mais importante e diversificada, visto que é amplamente distribuída em diversas partes constituintes da estrutura de vegetais (COUTINHO; MUZITANO; COSTA, 2009). A estrutura química básica de flavonoides é formada pelo esqueleto de flavanos que, de acordo com o grau de oxidação e cadeia de ligação permite a classificação em seis grupos principais (Figura 3) sendo eles: isoflavonoides, flavanonas, flavonoides, flavonóis, flavonas e antocianidinas (KOPUSTINSKIENE *et al.*, 2020). Assim, flavonoides é considerado o maior, mais importante e diversificado grupo existente dentro dos compostos fenólicos (SILVA, 2019).

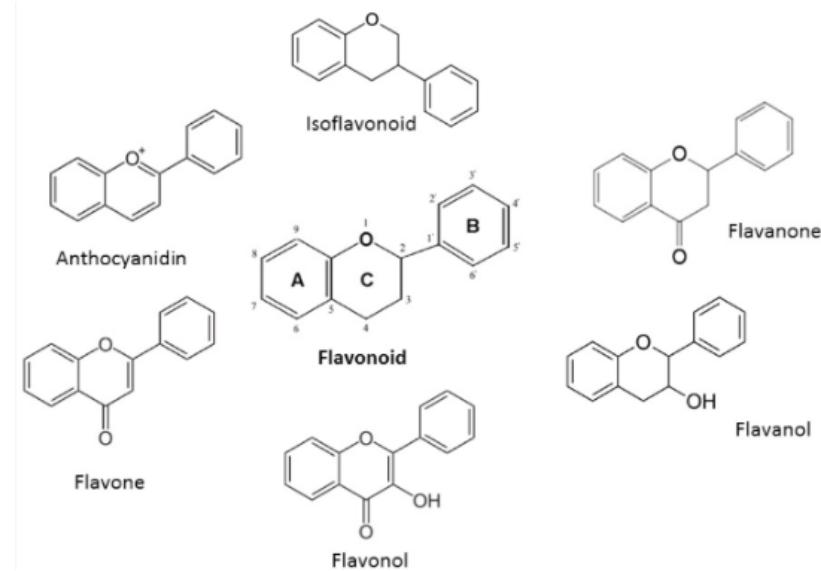


Figura 3: Principais estruturas químicas dos flavonoides (KOPUSTINSKIENE *et al.*, 2020).

Segundo Kopustnskiene et al., (2020), os flavonoides são responsáveis por atribuir cor, sabor e atividades farmacológicas nas plantas, o que vem despertando atenção e favorecendo desenvolvimento de estudos de utilização desses compostos devido aos efeitos benéficos.

Os flavonoides possuem ação em sistemas biológicos sendo capazes de demonstrar efeitos antimicrobiano, antiviral, antiulcerogênico, citotóxico, antineoplásico, antioxidante, anti-hepatotóxico, anti-hipertensivo, hipolipidêmico, anti-inflamatório e anti-plaquetário (SILVA, 2019). O flavonoide kaempferol está presente no mamão e oferece benefícios antioxidantes e anti-inflamatórios.

2.2.3 Ácido ascórbico

O ácido ascórbico (Figura 4), também denominado como vitamina C, é a vitamina mais popular. Trata-se uma substância orgânica de baixo peso molecular, que atua em reduzidas doses, sem qualquer valor energético (Kopustinskiene et al., 2020).

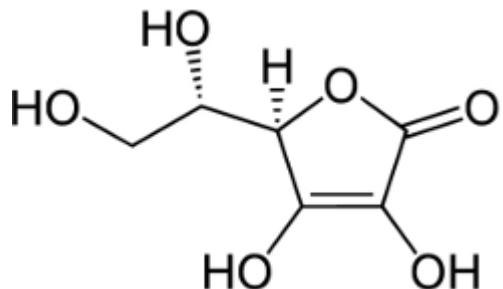


Figura 4: Estrutura química do ácido ascórbico (SILVA, 2019).

Esse composto desempenha importante função como agente antioxidante, contribuindo para o fortalecimento do sistema imunológico, promovendo a saúde da pele e auxiliando no processo de cicatrização de feridas. Trata-se de uma vitamina hidrossolúvel presente em frutas, essencial para diversos processos metabólicos como a formação de tecidos e a síntese hormonal. Além da capacidade de reduzir o estresse oxidativo, o ácido ascórbico atua de forma sinérgica com outras vitaminas, sendo indispensável para a regeneração da vitamina E, potencializando, assim, as propriedades antioxidantes (KUMARASINGHE et al., 2024).

Segundo Biswas et al. (2023), o mamão é um fruto rico nas vitaminas A e C sendo caracterizado como potente antioxidante.

2.3 Secagem

A secagem é o método mais antigo de conservação de alimentos conhecido pelo homem. Consiste em retirar umidade do produto, por mecanismos de transferência de calor e massa a um nível que permita armazenamento seguro por longos períodos. Além disso, permite redução de custos de armazenamento e transporte dos mesmos devido à redução de volume (FERNANDES et al., 2006).

A produção em larga escala de frutas e hortaliças em regiões tropicais e subtropicais apresenta expressiva relevância comercial, uma vez que visa atender à crescente demanda da população. Contudo, a comercialização e exportação desses produtos *in natura* enfrentam limitações, principalmente devido ao elevado teor de água presente nos alimentos e à sua sazonalidade (GARCIA, 2012).

O Brasil apresenta altos índices de perdas pós-colheita de frutas tropicais e subtropicais, sendo o mamão um dos principais exemplos, com perdas estimadas em cerca de 30% da produção nacional (GARCIA, 2012). Além disso, o Brasil ocupa a segunda posição no ranking mundial de produção de mamão, com destaque para o estado da Bahia. A ampliação desses números é limitada pelas perdas expressivas (20 a 30%), atribuídas à elevada perecibilidade do fruto e à sua vulnerabilidade a doenças pós-colheita, como a podridão.

O elevado teor de umidade do mamão também o torna suscetível à ação de microrganismos, às reações químicas e enzimáticas, o que ressalta a necessidade de aplicação de tecnologias de processamento que aumentem sua vida útil e minimizem as perdas. Adicionalmente, essa técnica proporciona redução nos custos de armazenamento e transporte (EL-AOUAR et al., 2019).

Vale ressaltar que a estabilidade dos compostos bioativos de frutos submetidos à secagem pode ser comprometida devido ao calor empregado para a retirada de umidade necessária para a redução da atividade enzimática e presença microbiana (DE JESÚS CASTILLO-ROMERO et al., 2024). Segundo Silva (2019), o prolongamento da vida útil de produtos submetidos à secagem é alcançado através da redução de umidade e atividade de água, porém em valores apropriados para o material e em condições adequadas de processo para alcançar redução da deterioração de compostos bioativos e manter a qualidade nutricional e sensorial do produto seco.

Em virtude do crescente interesse da indústria alimentícia por tecnologias de secagem mais eficientes, com menor consumo energético, menor impacto ambiental e maior conservação da qualidade do produto, métodos alternativos como a secagem por micro-ondas têm ganhado destaque. Esses processos possibilitam um aquecimento mais uniforme e rápido, resultando em produtos secos de alta qualidade (DE ARRUDA et al., 2023).

2.3.1 Atividade de água (a_w)

A atividade de água representa a parcela de água disponível energeticamente para microrganismos e possíveis reações químicas como a lipídica, enzimática e não enzimática. É importante ressaltar que a atividade de água possui grande potencial na avaliação do estado do alimento e se o mesmo está vulnerável às diversas reações e crescimento microbiano visto que não informa apenas a quantidade de água presente no alimento, mas também a disponibilidade da água presente em interagir e/ou contribuir para reações e crescimento microbiano (SILVA, 2019).

A escala desse parâmetro varia entre 0,0 e 1,0 para alimentos em geral, sendo atividade de água igual a 1,0 equivalente à água pura. Os valores desse parâmetro são relacionados com a velocidade relativa das reações, o que pode ser observado na Figura 5.

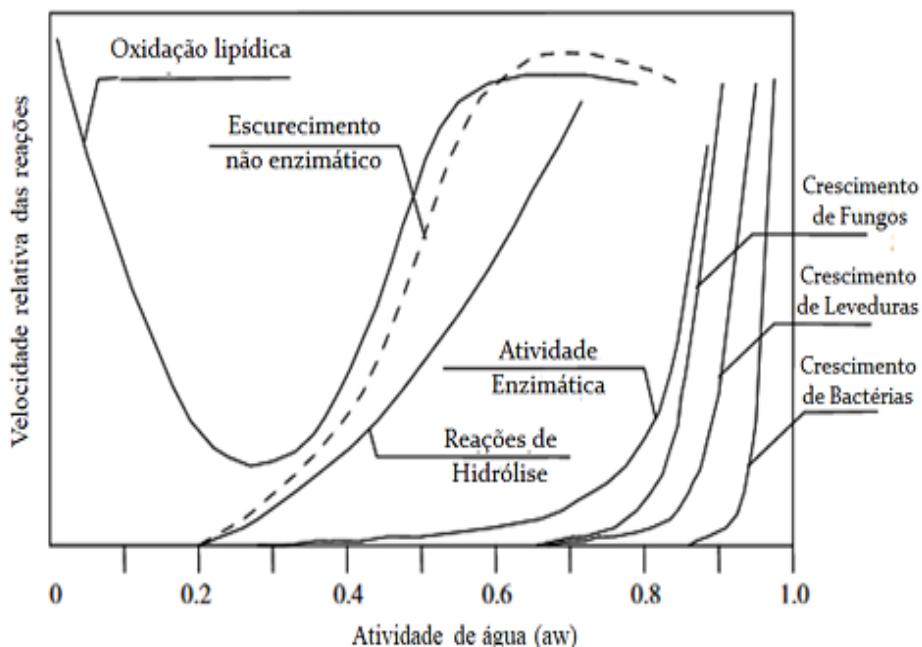


Figura 5: Atividade de água e reações envolvidas (Adaptado Chen & Patel, 2008).

Em casos de redução extrema dos valores de atividade de água (inferior a 0,2), gorduras encapsuladas são liberadas e se tornam propensas à oxidação lipídica que gera acidez e desenvolvimento de *off flavours* ao qual representa a perda de vitaminas lipossolúveis e pigmentos. Já em casos em que a atividade de água é mantida próxima ao valor de 0,4 a oxidação lipídica e outras reações são minimizadas. Dessa forma, o estudo da atividade de água em processos de secagem é essencial, vale ressaltar também que atividade de água entre 0,3 e 0,5 dificulta o crescimento microbiológico devido criação de meio desfavorável para o crescimento e reduz reações indesejadas (SILVA, 2019).

2.3.2 Micro-ondas

A utilização de forno micro-ondas é bastante difundida e praticamente essencial na maioria das cozinhas. Isso se deve aos rápidos tempos de cozimento e aquecimento, bem como à economia de energia no preparo de alimentos. No entanto, os estudos com aplicação desse método em escala industrial ainda podem ser considerados recentes (SILVA, 2019).

A secagem em micro-ondas consiste na retirada de umidade do material através da conversão das ondas eletromagnéticas em energia térmica do interior do alimento até a superfície de maneira volumétrica (BARBOZA et al., 2001). Segundo Silva, (2019), a forma volumétrica de penetração das ondas eletromagnéticas no alimento permite que o calor interno

gerado pelo campo magnético produza gradiente de pressão que facilita a saída da água do interior para a superfície do material.

A secagem em micro-ondas é capaz de oferecer resultados similares aos métodos convencionais, porém com tempos de processamento reduzidos e consequente economia de energia (SILVA, 2019). Assim, é importante o desenvolvimento de estudos que permitam um método rápido, confiável e energeticamente eficiente para o processo de secagem. Com base nisso, buscou-se estudar os parâmetros adequados de secagem de mamão em forno micro-ondas e os efeitos desse processo sobre os compostos bioativos.

3 METODOLOGIA

Nessa parte do trabalho será descrito de maneira detalhada os materiais empregados na pesquisa (Seção 3.1), as análises conduzidas para a caracterização, destacando a quantificação dos compostos bioativos (Seção 3.2), bem como toda a metodologia de secagem por micro-ondas aplicada no presente estudo (Seção 3.3).

3.1 Materiais Utilizados

3.1.1 Mamão

Os mamões (*Carica papaya*) utilizados nesse trabalho foram comprados em supermercado na cidade de Patos de Minas-MG. Os frutos (Figura 6) foram envoltos individualmente e inteiros em sacos plásticos transparentes seguido de saco de polietileno preto e armazenados em freezer à -18°C, com o intuito de preservar as propriedades e evitar a fotodegradação de seus compostos bioativos até o dia de preparação da pasta de mamão, visto que não era possível prepará-la no mesmo dia da compra e também era necessário teste para encontrar a proporção de água destilada adequada na preparação da polpa de modo que a mesma ficasse pastosa e homogênea com a menor adição de água possível.



Figura 6: Mamões armazenados.

3.1.2 Preparo da polpa

O mamão inteiro, após ser descongelado foi triturado em processador da marca Walita e modelo RI7630 na proporção de 30 g de água destilada para cada 100 g de fruto, vale ressaltar

que essa proporção de água e fruto foi encontrada após teste para posterior aplicação em todas as preparações de polpa de mamão, além disso a preparação dessas era feita de um mamão inteiro por vez para evitar vários descongelamentos durante a realização dos experimentos necessários para a realização desse trabalho. A pasta de mamão obtida foi acondicionada em copos descartáveis de 200 mL, aos quais foram acondicionados em saco plástico de polietileno, lacrados e envoltos com papel alumínio, seguido de outra camada de saco plástico, de modo a proteger o material da luz e impedir a transferência de massa durante o armazenamento (Figura 7: (a) pasta de mamão triturada, (b) proteção intermediária da pasta de mamão, (c) armazenamento de pasta.). A pasta de mamão foi mantida em congelador (-18 °C) até o momento da realização dos experimentos, vale ressaltar que um copo descartável com polpa era suficiente para a realização da secagem por nível de potência do equipamento micro-ondas.

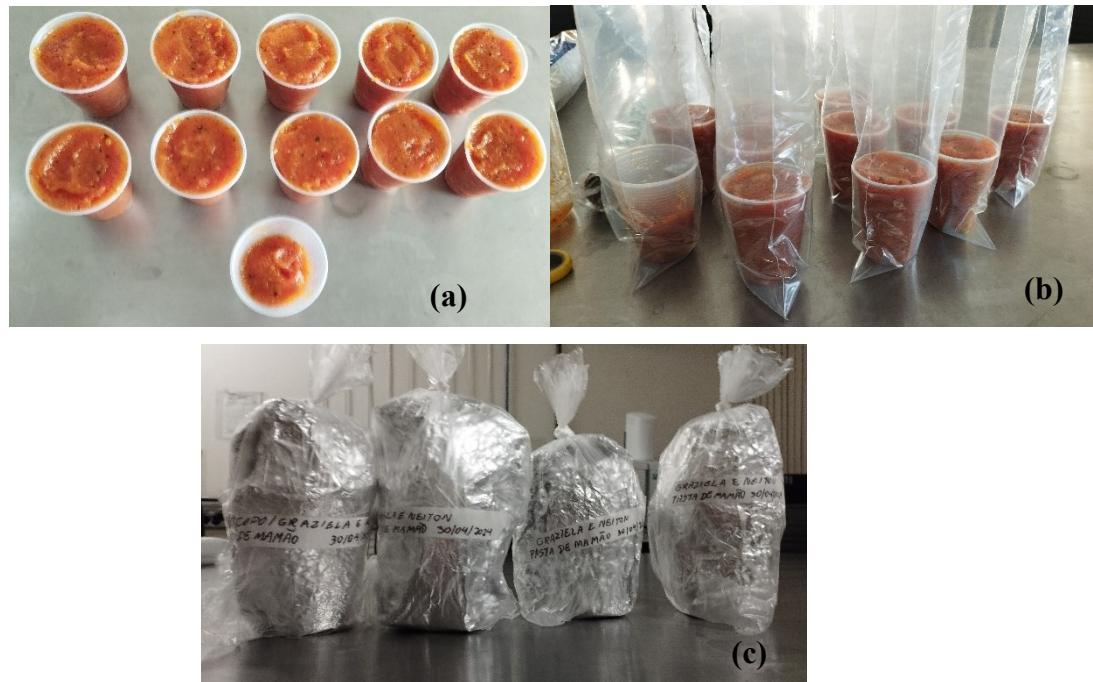


Figura 7: (a) pasta de mamão triturada, (b) proteção intermediária da pasta de mamão, (c) armazenamento de pasta.

3.2 Metodologia de Secagem

3.2.1 Micro-ondas

A secagem foi conduzida por meio de um forno de micro-ondas doméstico convencional (Figura 8: Aparelho micro-ondas Panasonic NN-ST254W.), escolhido em razão de sua praticidade de operação, maior controle das variáveis do processo e rápida obtenção de resultados.

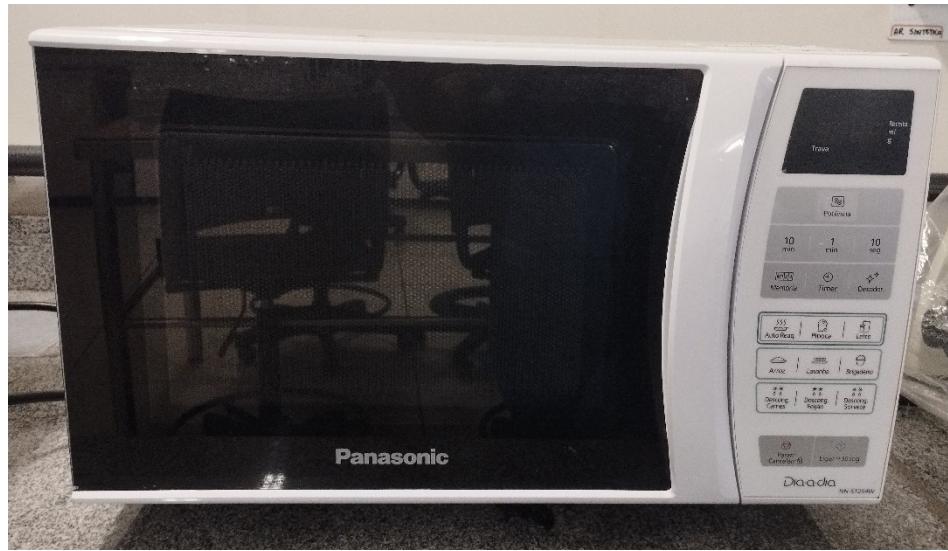


Figura 8: Aparelho micro-ondas Panasonic NN-ST254W.

Empregou-se o forno de micro-ondas da marca Panasonic, modelo NN-ST254W, com potência nominal de 700 W. Os experimentos foram realizados com variações de potência nos níveis 1 (70 W), 2 (140 W), 3 (210 W), 4 (280 W), 5 (350 W), 6 (420 W), 7 (490 W), 8 (560 W), 9 (630 W) e 10 (700 W), ajustadas diretamente no painel do equipamento antes de cada experimento. Para cada ensaio, foram utilizadas aproximadamente 150 g de pasta de mamão, uniformemente espalhada sobre um prato (Figura 9).



Figura 9: Pasta de mamão espalhada em prato para secagem.

Foram feitos testes para determinação do tempo adequado de secagem nas diferentes potências do aparelho utilizado. Assim, as secagens foram conduzidas até que as amostras atingissem um teor de umidade entre 4,7% e 9,3%, o qual correspondia a uma atividade de água (a_w) entre 0,20 e 0,40, adequada para a conservação do produto seco e evitando,

simultaneamente, a oxidação lipídica e crescimento microbiano, conforme apresentado na Seção 2.3.1. Para a realização desse teste citado, foi utilizada planilha durante toda a secagem em que, ao adicionar o valor da massa do produto seco era gerada estimativa da umidade real do experimento, sendo possível identificar o momento certo de parar a secagem. A umidade do experimento encontrada após secagem em estufa permitia encontrar o valor real da umidade da amostra e então era possível afirmar o tempo de secagem aproximado para alcançar a umidade e por consequência, a atividade de água desejada. Após encontrar o tempo de secagem adequado nas diversas potências analisadas, eram feitas novas secagens com pequenos ajustes no tempo da secagem para obtenção de amostras oficiais a serem utilizadas, visto que as amostras teste eram submetidas à várias aberturas da porta do micro-ondas, o que poderia ocasionar perda de calor para o ambiente externo, influenciar o comportamento das moléculas e comprometer o processo da saída de água da amostra.

Após a secagem, o produto obtido foi submetido ao processo de redução de tamanho, utilizando um moinho de facas da marca Fortinox, modelo Start FT 50 (Figura 10) para obtenção de amostra homogênea para realização da análise de cor e compostos bioativos.

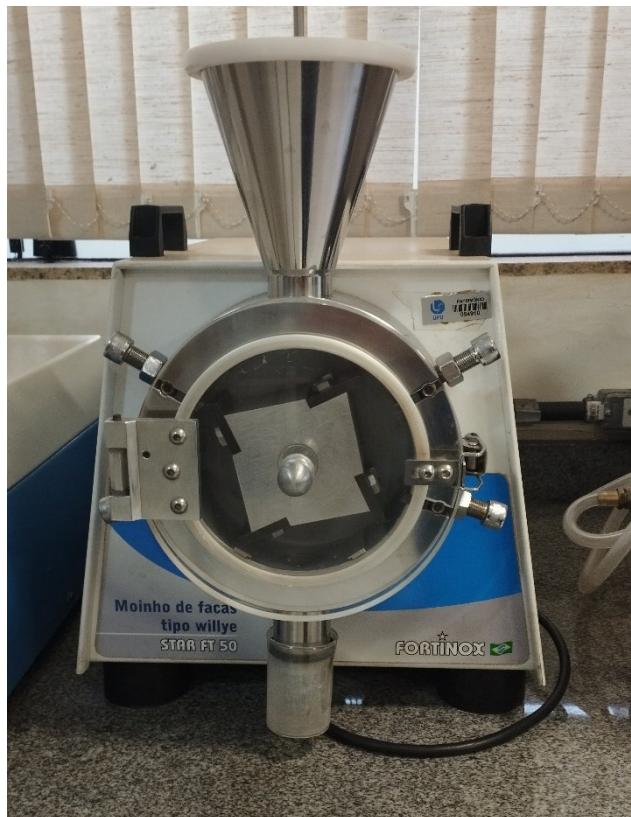


Figura 10: Moinho de facas Fortinox Start FT 50.

O pó de mamão seco foi acondicionado em embalagem de polietileno vedada e envolta com papel alumínio seguida de outro plástico mais resistente (semelhante ao feito para o

armazenamento da pasta *in natura*). As amostras foram identificadas, colocadas dentro bandeja de alumínio (Figura 11) e então acondicionados em freezer à -18º C até o momento da realização das análises.



Figura 11: (a) Embalagem plástica vedada envolta com papel alumínio seguida de outro plástico mais resistente, (b) Bandeja de alumínio final com amostras.

3.3 Análises realizadas

As amostras de mamão foram submetidas às análises físico-químicas com a finalidade de verificar a umidade e atividade de água, alterações da cor, identificar a presença de compostos bioativos de interesse, bem como avaliar os efeitos da metodologia de secagem e suas variáveis sobre o produto final. Tanto as amostras *in natura* quanto o produto seco foram submetidos a análises de umidade, atividade de água, cor e compostos bioativos (teores de fenólicos totais, flavonoides totais e ácido ascórbico), conforme descrito na sequência.

3.3.1 Umidade

A determinação do teor de umidade das amostras, em base úmida e expressa em percentual, foi realizada por meio do método gravimétrico de estufa a 105 ± 3 °C durante 24 horas, conforme descrito pela AOAC (1995). Para esse procedimento, utilizou-se uma estufa de convecção forçada da marca TECNAL, modelo TE2005 (Figura 12).



Figura 12 – Estufa utilizada para determinação de umidade da pasta de mamão *in natura* e das amostras de mamão após secagem por micro-ondas.

3.3.2 Atividade de água (a_w)

A atividade de água (a_w) foi determinada por meio do equipamento Aqualab PRE Dewpoint (Figura 13 - Aqualab utilizado para determinação da atividade de água das amostras de mamão secas por micro-ondas.), o qual utiliza um sistema de controle de temperatura integrado a um sensor infravermelho e fornece leituras da atividade de água das amostras.

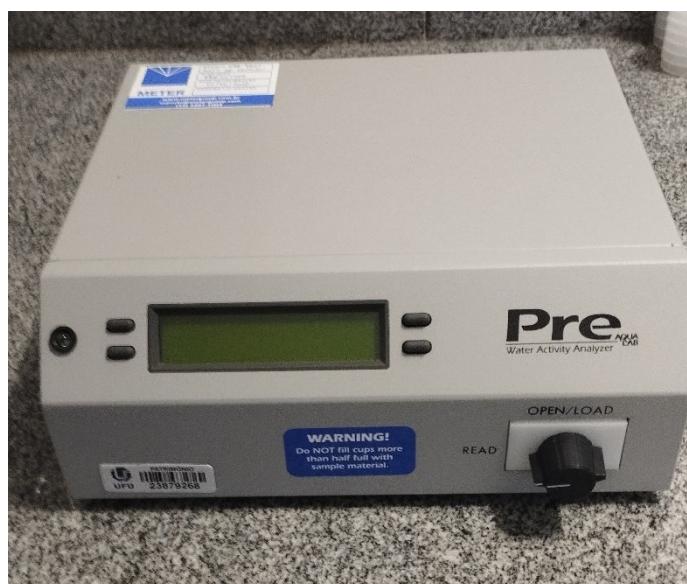


Figura 13 - Aqualab utilizado para determinação da atividade de água das amostras de mamão secas por micro-ondas.

3.3.3 Cor

Os parâmetros de cor foram analisados por refratância pelo uso do equipamento Colorímetro digital da marca Chroma Meter e modelo CR-400 (Figura 14) o qual apresenta escala CIELab (L^* , a^* , b^*). As medidas de coloração foram expressas em termos da luminosidade L^* (onde $L^* = 0$ escuro e $L^* = 100$ claro) e da cromaticidade definida por a^* (onde $+a^*$ = vermelho e a^* = verde) e b^* (onde $+b^*$ = amarelo e $-b^*$ = azul).



Figura 14: Colorímetro utilizado para obtenção de parâmetros de cor das amostras de mamão secas em micro-ondas.

3.3.4 Análises de Compostos Bioativos

Os compostos bioativos avaliados neste estudo foram os fenólicos totais, os flavonoides totais e o teor de ácido ascórbico. Todas as análises foram conduzidas em triplicata, sob condições de ambiente climatizado, com o intuito de evitar a degradação dos compostos.

Para a realização das análises mencionadas aos quais os métodos são descritos na sequência, as amostras secas e *in natura* foram previamente descongeladas, e posteriormente pesadas em balança analítica com precisão de 10^{-4} g, da marca Shimadzu, modelo AUW320. A partir desse preparo inicial, as amostras foram submetidas a dois diferentes métodos de extração, definidos conforme a natureza química dos compostos bioativos investigados. Os compostos fenólicos totais e os flavonoides totais foram extraídos com metanol absoluto, já o ácido ascórbico foi extraído utilizando-se água destilada.

Na determinação dos teores de fenólicos e flavonoides totais, o metanol foi adicionado à amostra triturada em tubos Falcon com tampa, os quais foram submetidos à agitação em vórtex modelo K45-2820 da marca Kasvi, por um período de três minutos. Após essa etapa, a mistura permaneceu em repouso em ambiente escuro durante uma hora, com o objetivo de maximizar a extração dos compostos. Em seguida, a solução foi filtrada com papel filtro, obtendo-se o filtrado utilizado nas análises subsequentes.

Para a quantificação dos teores de ácido ascórbico, as amostras trituradas foram maceradas com água destilada até o volume final determinado, sendo posteriormente filtradas. O filtrado obtido, referido como “extrato” ou “suco”, foi então utilizado nas respectivas análises. As metodologias específicas empregadas em cada uma dessas determinações são detalhadas nas seções seguintes.

3.3.4.1 Teor de Fenólicos Totais

A quantificação dos compostos fenólicos totais foi realizada por meio do método de *Folin-Ciocalteu*, utilizando o ácido gálico ($C_7H_6O_5$) como substância padrão, seguida por leitura realizada em espectrofotômetro. O reagente de *Folin-Ciocalteu* consiste em uma solução de íons complexos poliméricos originados de heteropolíácidos fosfomolíbdicos e fosfotúngsticos, os quais promovem a oxidação dos fenóis presentes nas amostras. Esse processo resulta na redução dos ácidos a um complexo de coloração azul, cuja absorbância foi medida a 622 nm. A curva analítica foi construída a partir de diferentes concentrações de ácido gálico, e os resultados obtidos foram expressos em miligramas de ácido gálico por 100 gramas de amostra, em base seca (Silva, 2015).

3.3.4.2 Teor de Flavonoides Totais

A quantificação do teor de flavonoides foi conduzida por meio de um método colorimétrico com leitura realizada em espectrofotômetro. O procedimento baseia-se no uso do cloreto de alumínio ($AlCl_3$) como agente complexante, a fim de minimizar possíveis

interferências de outros compostos na medição da absorbância da solução. Para a construção da curva de calibração, utilizou-se a rutina ($C_{27}H_{30}O_{16}$) como padrão. As leituras de absorbância foram efetuadas a 450 nm, e os resultados foram expressos em miligramas de rutina por 100 gramas de amostra, em base seca (Zhishen et al., 1999).

3.3.4.3 Teor de ácido ascórbico

A quantificação do teor de ácido ascórbico foi realizada por meio de titulometria, utilizando uma metodologia baseada na redução do composto 2,6-diclorofenol-indofenol (DCFI) pelo ácido ascórbico. Para essa análise, foi adicionado ácido oxálico a 2% aos extratos obtidos, e a solução resultante foi titulada com solução de DCFI a 0,025% previamente padronizada. Os resultados foram expressos em miligramas de ácido ascórbico por 100 gramas de amostra em base seca, conforme descrito pela *Association of Official Analytical Chemists – AOAC* (1995).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Considerações do comportamento da pasta e da cor em diferentes potências de secagem

A pasta de mamão *in natura* e o mamão após a secagem apresentaram o aspecto mostrado na Figura 15. Foi possível observar que potências mais baixas resultaram em produtos mais compactos após a secagem, enquanto potências mais elevadas levaram a um maior espalhamento da amostra sobre o papel. Além disso, em todos os experimentos, verificou-se escurecimento acentuado na superfície do produto seco. O comportamento observado pode ser explicado devido à submissão do material à elevada energia térmica o que possibilitou a intensificação da reação de escurecimento não enzimático, promovendo a redução do ácido ascórbico e a degradação dos pigmentos presentes. Como resultado, a coloração natural das amostras adquiriu tonalidade visualmente escurecida, variando do marrom ao preto intenso (Pham; Karim, 2022).

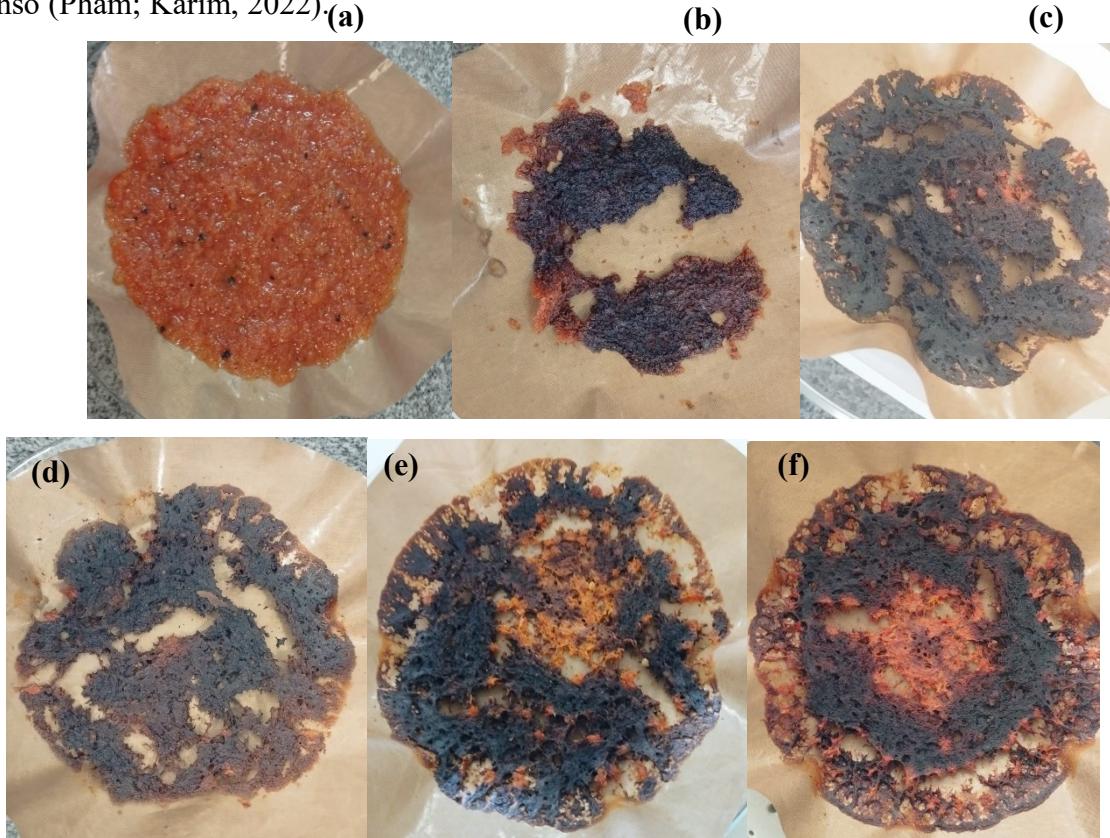


Figura 15: (a) pasta de mamão *in natura*, (b) mamão seco a 70W(1), (c) mamão a 210W(3), (d) mamão seco a 280W(4), (e) mamão seco a 420W(6), (f) mamão seco a 700W(10).

Com o objetivo de atingir valores adequados de umidade (4,7 à 9,3) e atividade de água (0,2 à 0,4), realizou-se os experimentos de forma a encontrar o tempo ideal de secagem para o material nas diferentes potências do micro-ondas utilizadas. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Tempo de secagem das diferentes potências do micro-ondas.

EXPERIMENTO	POTÊNCIA (W)	TEMPO DE SECAGEM (MIN)
1	70	225
2	140	100
3	210	60
4	280	38
5	350	29
6	420	21
7	490	20
8	560	17
9	630	15
10	700	13

Conforme apresentado na Tabela 1, o tempo de secagem diminuiu à medida em que a potência aplicada no micro-ondas aumentou. De acordo com Pham e Karim (2022), o aumento da potência proporciona maior carga energética, o que, por sua vez, eleva a taxa de transferência de calor e massa no interior das amostras gerando grande gradiente de pressão de vapor entre a superfície interna e externa das amostras ao qual acelera significativamente a taxa de secagem.

Em relação aos tempos de secagem é notório que, na potência máxima, o tempo necessário foi equivalente a apenas 5,7% daquele requerido na potência mínima. Essa informação é bastante válida para comprovar o benefício de utilizar micro-ondas como método de secagem, pois o aumento da potência resultou em significativa redução do tempo de secagem. Assim, além da economia de tempo, pode haver também menor consumo energético total, devido à curta duração do aquecimento.

4.2 Umidade e atividade de água (a_w)

Como apresentado anteriormente, além da importância de secar o material até níveis reduzidos de umidade, a atividade de água fornece informação importante sobre a disponibilidade da água presente no material em interagir e/ou contribuir para reações e crescimento microbiano (SILVA, 2019). Assim, com base nos experimentos realizados, o tempo de secagem obtido (Tabela 1) foi encontrado a partir de ajuste em vários testes até que o

material seco estivesse em condições adequadas de umidade, ou seja, em faixa de atividade de água que permitisse a não vulnerabilidade do produto a reações e crescimento microbiano e ainda manter a qualidade nutricional. Assim, os valores de umidade final e atividade de água obtidos em cada potência são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Valores de umidade, atividade de água (a_w) e tempo adequado de secagem em diferentes potências.

EXPERIMENTO	POTÊNCIA (W)	TEMPO DE SECAGEM (MIN)	UMIDADE (%)	ATIVIDADE DE ÁGUA (AW)
1	70	225	9,30±0,55	0,27±0,01
2	140	100	5,60±0,55	0,27±0,02
3	210	60	6,56±0,09	0,27±0,02
4	280	38	6,47±0,07	0,32±0,02
5	350	29	4,70±0,04	0,26±0,01
6	420	21	8,23±0,31	0,24±0,02
7	490	20	6,16±0,15	0,31±0,01
8	560	17	8,06±0,15	0,31±0,01
9	630	15	6,95±0,22	0,28±0,01
10	700	13	9,08±0,06	0,36±0,02
<i>in natura</i>	-	-	91,04±0,12	0,99±0,01

4.3 Cor

Os pós obtidos após secagem, assim como as amostras *in natura* foram submetidas a análise de cor instrumental e os resultados estão detalhados na Tabela 3.

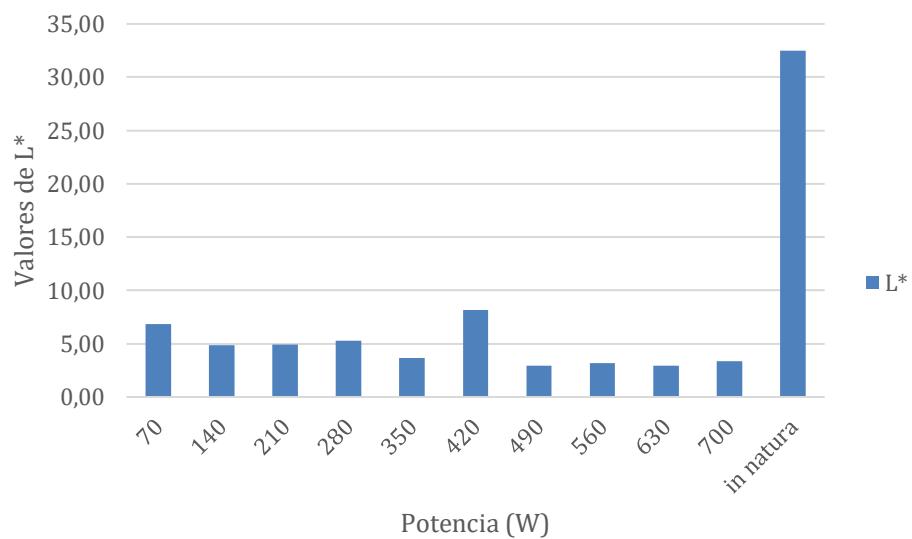
Tabela 3: Resultado para as variáveis de cor da pasta de mamão *in natura* seca e dos pós de mamão.

EXPERIMENTO	POTÊNCIA (W)	COR		
		L*	a*	b*
<i>IN NATURA</i>	-	32,51 ± 0,39	6,00 ± 0,75	15,60 ± 1,57
1	70	6,86±0,09	4,76±0,17	9,30±0,10
2	140	4,85±0,24	2,94±0,24	6,74±0,23
3	210	4,94±0,07	3,22±0,03	7,02±0,04
4	280	5,26±0,30	3,48±0,05	6,93±0,21
5	350	3,68±0,14	1,93±0,22	5,36±0,12
6	420	8,16±0,13	5,32±0,08	10,02±0,16
7	490	2,91±0,03	1,50±0,02	4,71±0,05
8	560	3,15±0,08	1,23±0,08	4,65±0,13
9	630	2,95±0,07	1,30±0,06	4,51±0,09
10	700	3,35±0,04	1,20±0,14	5,10±0,08

Entre os pós de mamão secos observou-se que a luminosidade (L^*) variou entre 2,91 e 8,16 indicando diferenças na intensidade de brilho das amostras. O parâmetro a^* (vermelho/verde) apresentou valores entre 1,50 e 5,32 refletindo variações na intensidade da cor vermelha em relação à verde. Já o parâmetro b^* (amarelo/azul) oscilou de 4,71 e 10,02 indicando variações na intensidade da cor amarela em relação à azul.

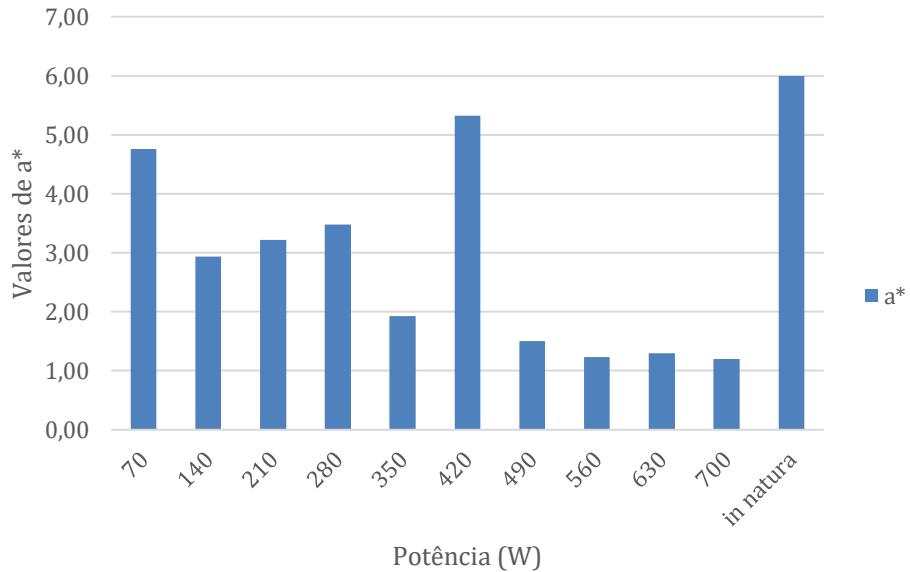
Ao comparar os valores dos parâmetros de cor entre pó e pasta *in natura* verificou-se que o parâmetro L^* foi significativamente maior na polpa *in natura* (32,51). Entre os pós obtidos por secagem, o maior valor de L^* foi observado na potência 6 (420 W), com $L^* = 8,16$, seguido da potência 1 (70 W), com $L^* = 6,86$, conforme mostrado na Figura 16.

Figura 16: Comportamento do parâmetro L^* entre pós e pasta *in natura* de mamão.



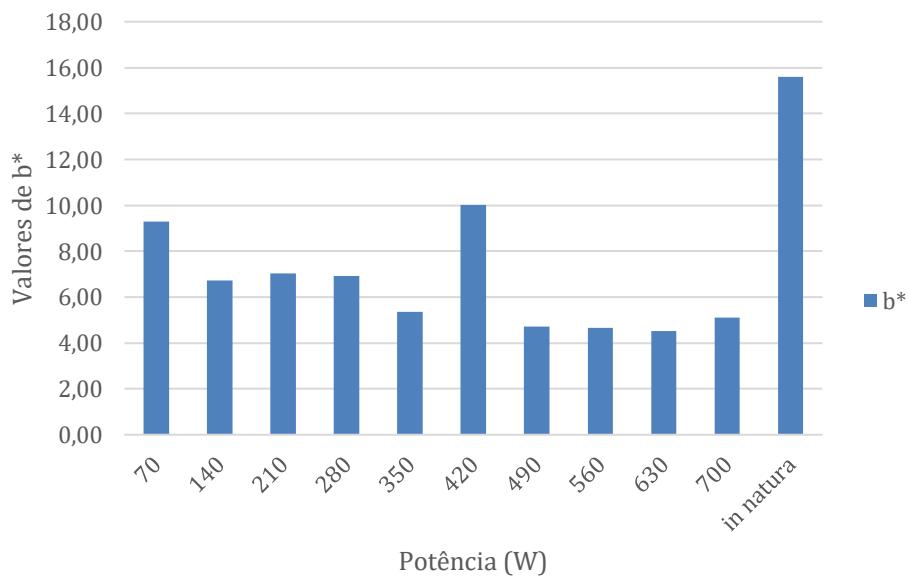
Na comparação dos valores dos parâmetros de cor entre pó e pasta *in natura* verificou-se que o parâmetro a^* é muito variável entre os pós secos. Além disso a potência 6 correspondente a 420W proporcionou valor de 5,32, próximo ao encontrado no *in natura* que foi de 6,00 seguida da potência 1 correspondente a 70W ao qual correspondeu a 4,76 conforme (Figura 17).

Figura 17: Comportamento do parâmetro a^* entre pós e pasta *in natura* de mamão.



Em relação ao parâmetro b^* entre pó e pasta *in natura* verificou-se comportamento parecido ao encontrado no parâmetro a^* mostrado anteriormente visto que o parâmetro b^* é variável entre os pós secos. A potência 6 correspondente a 420W proporcionou valor de 10,02 próximo ao encontrado no *in natura* que foi de 15,60, seguida da potência 1 correspondente a 70W que apresentou valor de 9,30 conforme (Figura 18).

Figura 18: Comportamento do parâmetro b^* entre pós e pasta *in natura* de mamão.



Ao analisar esses resultados percebe-se que todos os parâmetros de cor instrumental analisados apresentaram interferências ao serem submetidos as diferentes condições de secagem, variando do vermelho e amarelo para coloração escura.

A alta energia térmica fornecida às amostras secas em potência alta permite que a reação de escurecimento não enzimático seja acelerada, reduzindo o ácido ascórbico e a degradação dos componentes do pigmento, o que contribuiu significativamente para a cor natural das amostras ficarem com aspecto visual amarronzado a preto e bastante escuro. Além disso, condições de menor energia térmica fornecida às amostras facilita a ocorrência da reação de degradação da cor, o que explica baixos valores dos parâmetros em potências baixas (PHAM; KARIM, 2022).

Ao avaliar os resultados, de forma geral, percebeu-se que potências altas expõe as amostras em alta energia térmica e potências baixas expõe as amostras à tempos elevados de secagem, ou seja, ambas proporcionam condições extremas de secagem causando maior alteração na cor. Devido a potência 6 que foi de 420W corresponder a uma potência intermediária, se destacou entre as demais analisadas por não expor as amostras à condições extremas no processo.

4.4 Compostos bioativos

4.4.1 Fenólicos Totais

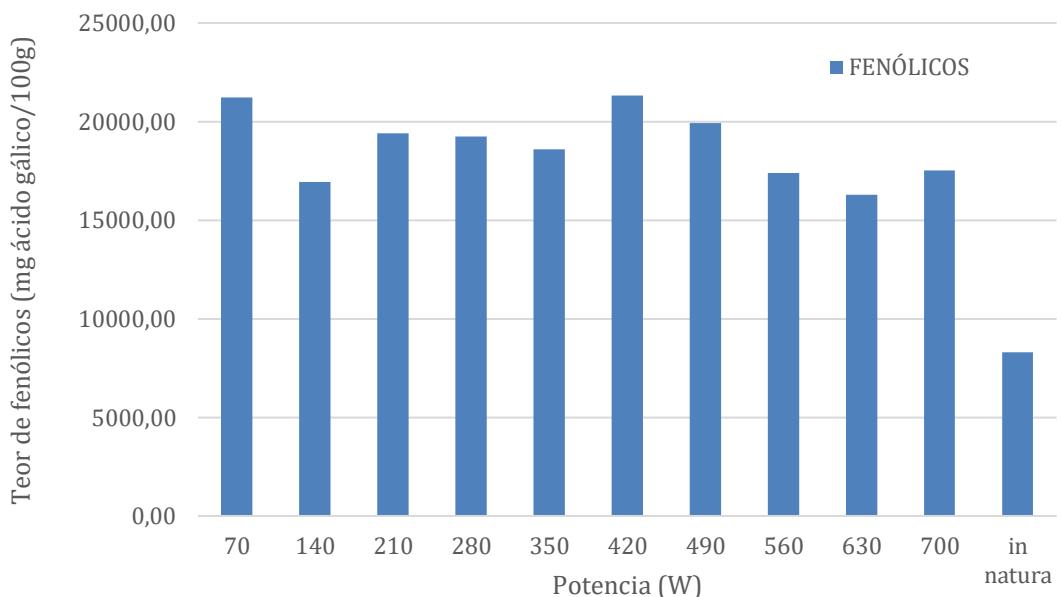
Os resultados obtidos na análise de fenólicos totais estão representados na Tabela 4.

Tabela 4: Teor de fenólicos totais dos pós e pasta *in natura* de mamão.

EXPERIMENTO	POTÊNCIA (W)	FENÓLICOS (mg ácido gálico/100g)
1	70	21211,48±473,62
2	140	16927,10±291,39
3	210	19421,56±983,55
4	280	19243,33±1075,81
5	350	18586,23±820,30
6	420	21336,36±1261,56
7	490	19927,71±1019,38
8	560	17378,91±617,81
9	630	16287,91±791,34
10	700	17509,13±469,97
<i>in natura</i>	-	8288,216±1339,14

Para melhor visualização e análise crítica dos dados foi desenvolvido o Figura 19.

Figura 19: Teor de fenólicos totais de pós e pasta *in natura* de mamão.



Com base nos resultados obtidos, notou-se que a concentração de fenólicos totais na polpa *in natura* foi menor que os valores encontrados nos pós obtidos nas diferentes potências aplicadas na secagem do produto. Segundo Biswas et al. (2023), o processo de extração não apenas de fenólicos como de compostos bioativos em geral é um processo bastante desafiador, visto que o tipo e a quantidade de polifenóis podem variar de acordo com as espécies de plantas e as condições de extração, o que mostra que a extração ideal pode não ser a mesma para diferentes materiais. Além disso, ao se analisar a amostra úmida, pode ser que não seja possível extrair todos os compostos presentes na mesma, diferentemente do que ocorre com o material seco, quando o rompimento de estruturas internas devido a remoção de umidade acaba por expor os compostos bioativos na matriz do material (HAARD; CHISM, 1996). Assim, mostra-se ser necessário o estudo de melhores métodos de extração para a amostra *in natura*, que sejam mais eficientes e que possam ser utilizados em variados materiais na análise de compostos bioativos (URIBE et al., 2015). Mesmo assim, os resultados obtidos geraram uma boa fonte de comparação, onde pode-se avaliar o efeito de cada potência nos mesmos.

Ao comparar o teor de fenólicos totais entre os pós de mamão obtidos em diferentes potências, verificou-se que os maiores valores encontrados foram na potência 6 (420 W): 21336,36 mg de ácido gálico por 100 g de amostra em base seca, seguida da potência 1 (70 W): 21211,48 mg de ácido gálico por 100 g de amostra em base seca. Isso mostrou que os melhores resultados foram encontrados em condições intermediárias de potência, indicando que há um ponto ideal de operação na secagem em micro-ondas onde é possível maximizar os valores dos

compostos fenólicos encontrados. Além disso, o segundo maior resultado em teor de fenólicos totais encontrado da potência 1 indica que esses são compostos mais afetados pela intensidade da potência do micro-ondas do que pelo tempo de exposição, que no caso desse experimento foi bastante elevado, um total de 225 minutos.

4.4.2 Flavonoides Totais

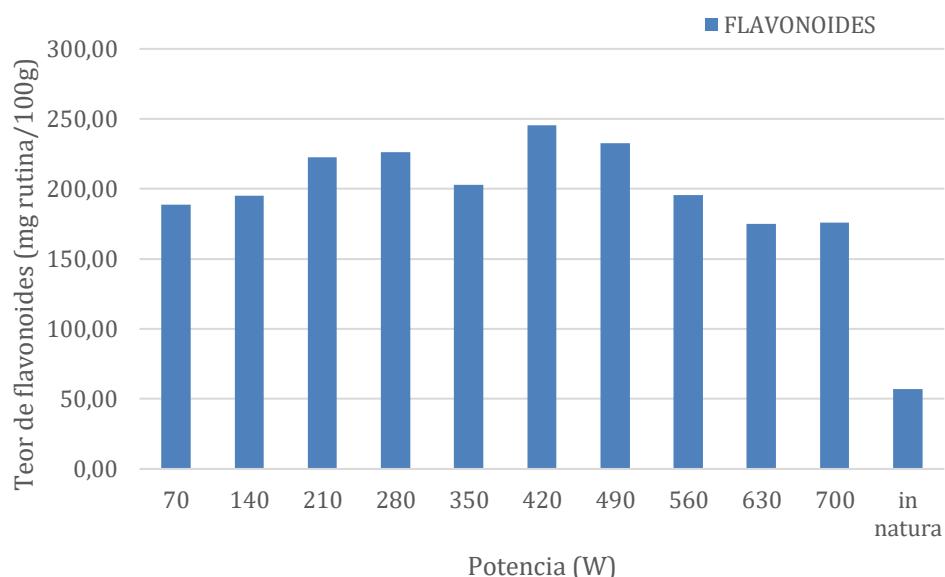
Na Tabela 5 são apresentados os dados obtidos na análise dos teores de compostos flavonoides totais.

Tabela 5: Teor de flavonoides totais dos pós e pasta *in natura* de mamão.

EXPERIMENTO	POTÊNCIA (W)	FLAVONOIDES (mg rutina/100g)
1	70	188,74±21,65
2	140	195,24±4,51
3	210	222,71±7,77
4	280	226,03±8,37
5	350	203,03±4,13
6	420	245,21±11,39
7	490	232,70±6,10
8	560	195,58±6,39
9	630	175,15±6,34
10	700	176,10±6,42
<i>in natura</i>	-	56,83±9,33

Para melhor visualização e análise crítica dos dados foi desenvolvido a Figura 20.

Figura 20: Valores de flavonoides totais de pós e pasta *in natura* de mamão.



Com relação ao comportamento dos flavonoides totais presentes na pasta de mamão *in natura* verificou-se novamente que os resultados encontrados foram inferiores aos encontrados nos pós de mamão seco. Esse resultado é o mesmo encontrado na análise de fenólicos totais e justificado conforme mencionado acima por BISWAS et al. (2023) e URIBE et al. (2015) que a extração de compostos bioativos por métodos convencionais pode não ser eficiente em amostras úmidas, visto que é dependente de vários fatores variáveis, que nesse caso se refere à mudança da estrutura do material antes e após secagem.

Nos pós de mamão seco verificou-se, mais uma vez, que os maiores valores encontrados foram obtidos na potência 6 (420 W) (245,21 mg de rutina por 100 g de amostra em base seca), seguida da potência 7 (490 W) (232,70 mg de rutina por 100 g de amostra em base seca), o que indica que essas são condições ideais de secagem, permitindo bons resultados no conteúdo de compostos bioativos nessa faixa de potências.

4.4.3 Ácido ascórbico

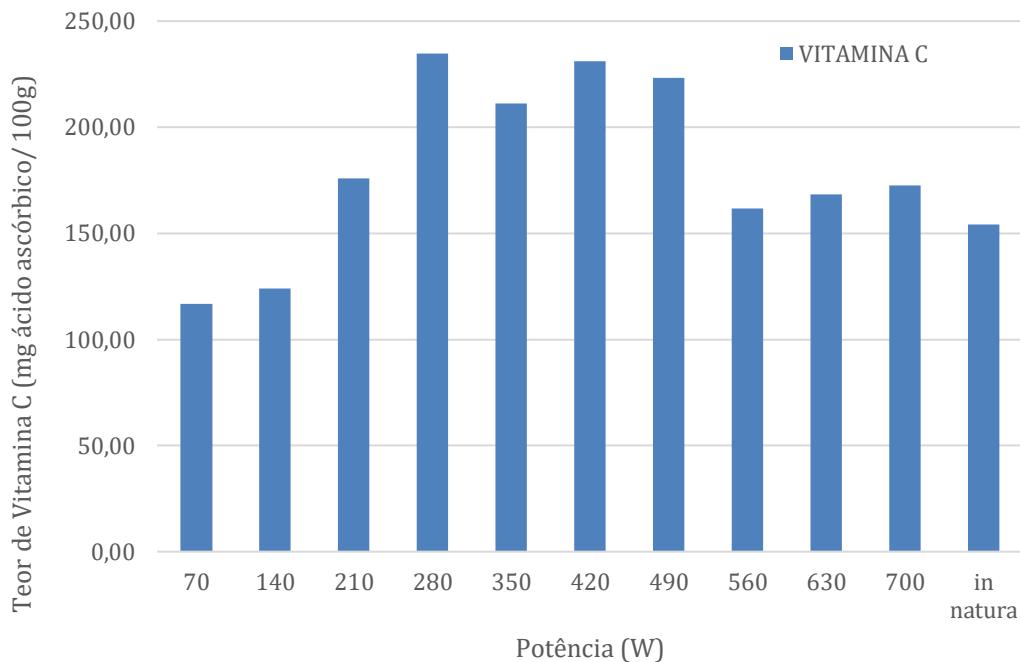
Os resultados obtidos para análise de ácido ascórbico estão representados na Tabela 6.

Tabela 6: Teor de ácido ascórbico dos pós e pasta *in natura* de mamão.

EXPERIMENTO	POTÊNCIA (W)	ÁCIDO ASCÓRBICO (mg ácido ascórbico/100g)
1	70	116,63±6,14
2	140	123,86±11,79
3	210	175,85±24,36
4	280	234,83±29,08
5	350	211,34±27,72
6	420	231,19±26,45
7	490	223,32±21,63
8	560	161,58±4,31
9	630	168,21±17,52
10	700	172,62±15,72
<i>in natura</i>	-	154,31±34,17

Para melhor visualização dos resultados foi gerado o Figura 21.

Figura 21: Valores de ácido ascórbico de pós e pasta *in natura* de mamão.



Ao analisar os resultados verificou-se que a pasta *in natura* e os pós secos de mamão tiveram valores variáveis sendo que os maiores valores encontrados se concentraram na potência 4 (280 W) (234,83 mg de ácido ascórbico por 100 g de amostra em base seca) seguida da potência 6 (420 W) (231,19 mg de ácido ascórbico por 100 g de amostra em base seca) e potência 7 (490 W) (223,32 mg de ácido ascórbico por 100 g de amostra em base seca)

Segundo Nieto Calvache et al. (2016) o teor de ácido ascórbico presente na casca do mamão utilizado para a produção de concentrados de fibra de mamão foi duas vezes maior que na polpa mesmo após secagem em micro-ondas, sendo esse comportamento justificado pela composição da casca do mamão ao qual permite um ambiente redutor capaz de proteger o ácido ascórbico contra a degradação. Dessa forma, a diversidade dos valores de ácido ascórbico encontrados nesse trabalho pode ser justificada pela utilização do conjunto de casca, polpa e semente do material que, por apresentarem estruturas diferentes, foram capazes de manter e aumentar o teor de ácido ascórbico mesmo após a secagem. Em resumo, a casca do mamão possui maior quantidade de ácido ascórbico e sua estrutura é capaz de proteger esse composto da degradação durante a secagem. Esse fato contribuiu para que o teor de ácido ascórbico encontrado nos pós secos seja maior que na pasta de mamão *in natura*. Também foi possível perceber que houve pico de concentração de ácido ascórbico entre as potências 4 e 7, o que pode ter sido gerado pelas condições intermediárias do processo, ou seja, amostra não foi

exposta a condições extremas de tempo e/ou potência de secagem, semelhante ao observado nos compostos fenólicos e flavonoides.

Vale ressaltar que o teor de ácido ascórbico contido no material seco é utilizado como índice de qualidade de alimentos devido ao ácido ascórbico ser um dos compostos bioativos mais sensíveis ao calor. Além disso, de forma geral, a literatura informa que o teor de ácido ascórbico de mamão seco geralmente é reduzido quando comparados com o teor desses compostos em amostras frescas devido à alta sensibilidade do mesmo ao processamento térmico, isso se deve também ao fato de sua ligação covalente ser instável em altas temperaturas (PHAM & KARIM, 2022). Dessa forma, concluiu-se que a secagem de mamão integral possibilitou preservação do teor de ácido ascórbico devido à característica protetora presente na casca do mamão.

5 CONCLUSÃO

O mamão é uma fruta bastante apreciada em todo o mundo e reconhecida por sua riqueza em nutrientes que lhe conferem propriedades funcionais, proporcionando diversos benefícios para a saúde. Dessa forma, seu consumo e aplicação em formulações vem despertando cada vez mais a atenção do consumidor e da indústria de alimentos. No entanto, sua elevada perecibilidade representa um desafio para a ampliação da oferta e para a redução de perdas pós-colheita. Nesse contexto, a secagem surge como uma alternativa viável para a conservação do mamão, tendo sido utilizada neste trabalho a secagem em micro-ondas, com o objetivo de avaliar seus efeitos sobre os compostos bioativos.

A pasta de mamão integral (casca, polpa e semente) foi submetida à secagem em diferentes potências de micro-ondas, até se atingir tempos de processo que permitissem faixas adequadas de conservação do produto em termos de umidade final (entre 4,7 e 9,3%) e atividade de água (entre 0,2 e 0,4).

Em termos de compostos bioativos, observou-se que na maioria dos experimentos os teores obtidos foram maiores que os observados na polpa *in natura*. Isso pode ser atribuído à maior eficiência do processo de extração em amostras secas, uma vez que a estrutura do material é alterada pela secagem, facilitando a liberação dos compostos.

Considerando as potências avaliadas (entre 70 e 700 W), verificou que os melhores valores de teores de compostos fenólicos e flavonoides foram obtidos no experimento 6 (420 W), indicando a necessidade de condições intermediárias de tempo e potência para maximizar os mesmos. Em relação ao teor de ácido ascórbico, verificou-se que os melhores valores desse composto foram obtidos nos pós de mamão submetidos aos experimentos 4 a 7 (280 a 490 W). Esse resultado pode ser explicado pela utilização da casca da fruta na formulação dos pós, uma vez que essa parte do fruto contém cerca de duas vezes mais ácido ascórbico do que a polpa e sua estrutura atuam como uma barreira protetora contra a degradação térmica.

Conclui-se, portanto, que a secagem de mamão integral em micro-ondas é um processo promissor e capaz de fornecer produto seco com elevados teores de compostos bioativos, especialmente quando realizada com a potência de 420 W que apresentou bom rendimento, curto tempo de processamento (21 minutos) e menor consumo energético em comparação a métodos convencionais. Isso torna essa metodologia interessante e uma alternativa viável para processamento integral desse fruto e sua aplicação como alimento funcional.

6 REFERÊNCIAS

- ALHANIF, M.; KUMORO, A. C.; WARDHANI, D. H. Mass Transfer, Energy Utilization, Physical and Nutritional Properties Evaluations During Drying of Papaya (*Carica papaya* L.) Seeds at Low to Moderate Temperatures. **Arabian Journal for Science and Engineering**, v. 47, n. 5, p. 6245–6267, 29 maio 2022.
- ANNEGOWDA, H. V.; BHAT, R.; YEONG, K. J.; LIONG, M.-T.; KARIM, A. A.; MANSOR, S. M. Influence of Drying Treatments on Polyphenolic Contents and Antioxidant Properties of Raw and Ripe Papaya (*Carica papaya* L.). **International Journal of Food Properties**, v. 17, n. 2, p. 283–292, 7 fev. 2014. Disponível em: <<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10942912.2011.631248>>.
- BARBOZA, A. C. R. N.; CRUZ, C. V. M. S.; GRAZIANI, M. B.; LORENZETTI, M. C. F.; SABADINI, E. Aquecimento em forno de microondas / desenvolvimento de alguns conceitos fundamentais. **Química Nova**, v. 24, n. 6, p. 901–904, dez. 2001.
- BISWAS, R.; SARKAR, A.; ALAM, M.; ROY, M.; MAHDI HASAN, M. M. Microwave and ultrasound-assisted extraction of bioactive compounds from Papaya: A sustainable green process. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 101, p. 106677, dez. 2023a. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1350417723003899>>.
- BISWAS, R.; SARKAR, A.; ALAM, M.; ROY, M.; MAHDI HASAN, M. M. Microwave and ultrasound-assisted extraction of bioactive compounds from Papaya: A sustainable green process. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 101, p. 106677, dez. 2023b.
- BUALUANG, O.; ONWUDE, D. I.; USO, A.; PEERACHAAKKARACHAI, K.; MORA, P.; DULSAMPHAN, S.; SENA, P. Determination of drying kinetics, some physical, and antioxidant properties of papaya seeds undergoing microwave vacuum drying. **Journal of Food Process Engineering**, v. 42, n. 6, 14 out. 2019.
- CHANG, L. S.; TAN, Y. L.; PUI, L. P. Production of spray-dried enzyme-liquefied papaya (*Carica papaya* L.) powder. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 23, 2020.
- CHEN, Xiao Dong; PATEL, Kamlesh C. Alterações biológicas durante os processos de secagem de alimentos. *Tecnologias de secagem no processamento de alimentos*, p. 90-109, 2008.
- COUTINHO, M. A. S.; MUZITANO, M. F.; COSTA, S. S. Flavonoids: Potential therapeutic agents for the inflammatory process. **Revista Virtual de Química**, v. 1, n. 3, 2009.

DE ARRUDA, Guilherme Matheus Pessoa et al. Influence of ultrasound and ethanol as a pretreatment on papaya infrared and convective drying characteristics and quality parameters. **Journal of Food Process Engineering**, v. 46, n. 3, p. e14255, 2023.

DE JESÚS CASTILLO-ROMERO, T.; LÓPEZ-MARTÍNEZ, L. X.; SALGADO-CERVANTES, M. A.; QUINTANA-OBREGÓN, E. A.; GONZÁLEZ-AGUILAR, G. A.; VARGAS-ORTIZ, M. The Flash Vacuum Expansion Process Increases the Bioaccessibility and Stability of Antioxidant Compounds in Papaya Puree During Digestion. **Resources**, v. 13, n. 12, p. 175, 20 dez. 2024.

EL-AOUAR, A. A.; AZOUBEL, P. M.; MURR, FEX. Influência do pré-tratamento osmótico na qualidade de mamão formosa (carica papaya l.) Seco. 2019.

EL-AOUAR, Â. A.; AZOUBEL, P. M.; MURR, F. E. X. Drying kinetics of fresh and osmotically pre-treated papaya (Carica papaya L.). **Journal of Food Engineering**, v. 59, n. 1, p. 85–91, ago. 2003. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S026087740200434X>>.

FERNANDES, F. A. N.; RODRIGUES, S.; GASPARATO, O. C. P.; OLIVEIRA, E. L. Optimization of osmotic dehydration of papaya followed by air-drying. **Food Research International**, v. 39, n. 4, p. 492–498, maio 2006. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0963996905002206>>.

GARCIA, C. C.; CANIZARES, D.; SILVA, K. D. S.; DARROS-BARBOSA, R.; MAURO, M. A. UTILIZAÇÃO DE MÉTODOS COMBINADOS PARA OBTENÇÃO DE MAMÃO FORMOSA (Carica papaya) SECO. **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, v. 30, n. 2, 31 dez. 2012.

GARCIA, CAROLINA CASTILHO. Utilização de métodos combinados para obtenção de mamão Formosa (Carica papaya) seco. Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos, v. 30, n. 2, 2012.

HAARD, Norman F.; CHISM, G. W. Características dos tecidos vegetais comestíveis. **Química alimentar**, v. 3, p. 943-1011, 1996.

HAMINIUK, C. W. I.; MACIEL, G. M.; PLATA-OVIEDO, M. S. V.; PERALTA, R. M. Phenolic compounds in fruits – an overview. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 47, n. 10, p. 2023–2044, 4 out. 2012.

JADHAV, H. B.; SABLANI, S.; GOGATE, P.; ANNAPURE, U.; CASANOVA, F.; NAYIK, G. A.; ALASKAR, K.; SARWAR, N.; RAINA, I. A.; RAMNIWAS, S.;

MOUSA VI KHANE GHAH, A. Factors governing consumers buying behavior concerning nutraceutical product. **Food Science & Nutrition**, v. 11, n. 9, p. 4988–5003, 27 set. 2023.

KOPUSTINSKIENE, D. M.; JAKSTAS, V.; SAVICKAS, A.; BERNATONIENE, J. Flavonoids as Anticancer Agents. **Nutrients**, v. 12, n. 2, p. 457, 12 fev. 2020.

KUMARASINGHE, H. S.; KIM, J.-H.; KIM, S.-L.; KIM, K. C.; PERERA, R. M. T. D.; KIM, S.-C.; LEE, D.-S. Bioactive constituents from *Carica papaya* fruit: implications for drug discovery and pharmacological applications. **Applied Biological Chemistry**, v. 67, n. 1, p. 103, 12 dez. 2024.

MARTINEZ-MAYORGA, K.; PEPPARD, T. L.; LÓPEZ-VALLEJO, F.; YONGYE, A. B.; MEDINA-FRANCO, J. L. Systematic Mining of Generally Recognized as Safe (GRAS) Flavor Chemicals for Bioactive Compounds. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 61, n. 31, p. 7507–7514, 7 ago. 2013.

MING, R., HOU, S., FENG, Y. et al. The draft genome of the transgenic tropical fruit tree papaya (*Carica papaya* Linnaeus). **Nature** 452, 991–996 (2008). <https://doi.org/10.1038/nature06856>.

FARRONI, A.; DE ESCALADA PLA, M.; GERSCHENSON, L. N. Antioxidant characterization of new dietary fiber concentrates from papaya pulp and peel (*Carica papaya* L.). **Journal of Functional Foods**, v. 27, p. 319–328, dez. 2016.

PHAM, N. D.; KARIM, M. A. Investigation of nutritional quality evolution of papaya during intermittent microwave convective drying. **Drying Technology**, v. 40, n. 16, p. 3694–3707, 1 dez. 2022.

QADRI, O. S.; OSAMA, K.; SRIVASTAVA, A. K. Foam mat drying of papaya using microwaves: Machine learning modeling. **Journal of Food Process Engineering**, v. 43, n. 6, 24 jun. 2020.

SILVA, N. C. da. **Uso de metodologias alternativas na secagem de diferentes materiais visando a preservação de compostos bioativos**. 2019. Universidade Federal de Uberlândia (UFU), Uberlândia-MG, 2019.

SILVA JÚNIOR, E. V. da. **SECAGEM DE MAMÃO ASSISTIDA DE ULTRASSOM E VÁCUO**. 2018. Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2018. Disponível em: <<https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/30673>>. Acesso em: 8 maio. 2025.

SINGLA, M.; SINGH, A.; SIT, N. Effect of microwave and enzymatic pretreatment and type of solvent on kinetics of ultrasound assisted extraction of bioactive compounds from ripe papaya peel. **Journal of Food Process Engineering**, v. 46, n. 6, 28 jun. 2023.

SUBENTHIRAN, S.; CHOON, T. C.; CHEONG, K. C.; THAYAN, R.; TECK, M. B.; MUNIANDY, P. K.; AFZAN, A.; ABDULLAH, N. R.; ISMAIL, Z. *Carica papaya* Leaves Juice Significantly Accelerates the Rate of Increase in Platelet Count among Patients with Dengue Fever and Dengue Haemorrhagic Fever. **Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine**, v. 2013, p. 1–7, 2013.

URIBE, E.; DELGADILLO, A.; GIOVAGNOLI-VICUÑA, C.; QUISPE-FUENTES, I.; ZURA-BRAVO, L. Extraction Techniques for Bioactive Compounds and Antioxidant Capacity Determination of Chilean Papaya (*Vasconcellea pubescens*) Fruit. **Journal of Chemistry**, v. 2015, p. 1–8, 2015.

YAP, J. Y.; HII, C. L.; ONG, S. P.; LIM, K. H.; ABAS, F.; PIN, K. Y. Effects of drying on total polyphenols content and antioxidant properties of <scp> *Carica papaya* </scp> leaves. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 100, n. 7, p. 2932–2937, 19 maio 2020. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/jsfa.10320>>.

ZHOU, Y.; CAO, Y.; LI, J.; AGAR, O. T.; BARROW, C.; DUNSHEA, F.; SULERIA, H. A. R. Screening and characterization of phenolic compounds by LC-ESI-QTOF-MS/MS and their antioxidant potentials in papaya fruit and their by-products activities. **Food Bioscience**, v. 52, p. 102480, abr. 2023.