



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE CIÊNCIAS DA SAÚDE
DEPARTAMENTO DE NUTRIÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM NUTRIÇÃO

RAFAEL AUGUSTO BATISTA DE MEDEIROS

**INFLUÊNCIA DA EXTRAÇÃO ASSISTIDA POR ULTRASSOM E IMPREGNAÇÃO
DE COMPOSTOS FENÓLICOS DE RESÍDUO DE UVA NA PRODUÇÃO DE
MANGA DESIDRATADA**

Recife

2021

RAFAEL AUGUSTO BATISTA DE MEDEIROS

**INFLUÊNCIA DA EXTRAÇÃO ASSISTIDA POR ULTRASSOM E IMPREGNAÇÃO
DE COMPOSTOS FENÓLICOS DE RESÍDUO DE UVA NA PRODUÇÃO DE
MANGA DESIDRATADA**

Tese de doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Nutrição do Centro de Ciências da Saúde - Universidade Federal de Pernambuco como parte dos requisitos para obtenção do título de doutor.

Área de concentração: Ciência dos Alimentos

Orientador: Prof^a. Dr^a. Patricia Moreira Azoubel

Recife

2021

Catálogo na Fonte
Bibliotecária: Mônica Uchôa, CRB4-1010

M488i Medeiros, Rafael Augusto Batista de.
Influência da extração assistida por ultrassom e impregnação de compostos fenólicos de resíduo de uva na produção de manga desidratada / Rafael Augusto Batista de Medeiros. – 2021.
118 f.: il.; 30 cm.

Orientadora: Patrícia Moreira Azoubel.
Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco, CCS.
Programa de Pós-Graduação em Nutrição. Recife, 2021.
Inclui referências, apêndices e anexos.

1. Mangífera. 2. Compostos fitoquímicos. 3. Ultrassom. 4. Vácuo. 5. Desidratação. I. Azoubel, Patrícia Moreira (Orientadora). II. Título.

612.3 CDD (20.ed.) UFPE (CCS2021-156)

RAFAEL AUGUSTO BATISTA DE MEDEIROS

**INFLUÊNCIA DA EXTRAÇÃO ASSISTIDA POR ULTRASSOM E IMPREGNAÇÃO
DE COMPOSTOS FENÓLICOS DE RESÍDUO DE UVA NA PRODUÇÃO DE
MANGA DESIDRATADA**

Tese de doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Nutrição da Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Ciências da Saúde, como requisito para a obtenção do título de Doutor em Nutrição. Área de concentração: Ciência dos Alimentos.

Aprovado em: 17/05/2021.

BANCA EXAMINADORA

Prof^a. Dr^a. Thayza Christina Montenegro Stamford
Universidade Federal de Pernambuco

Prof^a. Dr^a. Jenyffer Medeiros Campos Guerra
Universidade Federal de Pernambuco

Prof^a. Dr^a. Fernanda Araújo Honorato
Universidade Federal de Pernambuco

Prof^a. Dr^a. Viviane Lansky Xavier de Souza Leão
Universidade Federal de Pernambuco

Prof^a. Dr^a. Zilmar Meireles Pimenta Barros
Universidade Federal de Pernambuco

AGRADECIMENTOS

A Deus pela vida, saúde, energia e força para seguir minha trajetória profissional. Agradeço por ter colocado pessoas tão especiais ao meu lado, sem as quais certamente não teria tido sucesso na realização desse trabalho.

Aos meus pais, Adelaide Oliveira e Manoel Batista, meu infinito agradecimento. Sempre acreditaram em minha capacidade e contribuíram para meu aprendizado.

Ao meu avô José Pereira (*in memoriam*), agradeço por todo investimento em meu estudo e compromisso com minha educação. Todo objetivo que alcanço, sem duvida, é dedicado ao senhor.

À minha orientadora Patricia Azoubel, pela amizade, dedicação e confiança. Tenho a oportunidade de trabalhar ao seu lado desde 2013. Graças à sua calma, sensibilidade e paciência, a conclusão do mestrado e doutorado se tornou uma tarefa mais fácil.

Aos colegas de laboratório, Zilmar Pimenta, Edvaldo Vieira, Edilene Souza, Shirley Rupert e João Henrique, pela amizade e companherismo ao longo de toda pós-graduação. Além destes, agradeço também aos estudantes de PIBIC, Gabriel Cicalese e Oscar Ferreira, pelo apoio durante os experimentos e pela troca de aprendizado.

Ao Restaurante Universitário (RU) da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), pela flexibilidade, compreensão e assistência nos primeiros anos do doutorado.

Ao Departamento de Nutrição da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), pelo apoio e paciência durante o início do doutorado, período quando ocupei o cargo de professor substituto.

Ao Instituto Federal de Pernambuco (IFPE), instituição onde hoje ocupo o cargo de professor efetivo, pelo incentivo, compreensão e flexibilidade durante todo o meu doutoramento.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para este trabalho, muito obrigado.

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência da extração assistida por ultrassom (EAU) e impregnação de fenólicos de resíduo de uva em manga desidratada. Na primeira etapa, o processo de extração dos polifenóis foi realizado através de um delineamento experimental com o uso do ultrassom em diferentes intensidades de potência (75 - 373 W/cm²) e tempos de aplicação (2 a 10 min). O processo foi avaliado em termos de fenólicos totais, antocianinas, taninos, capacidade antioxidante, cor e consumo de energia. Na segunda etapa, os polifenóis extraídos foram incorporados na manga por diferentes metodologias de impregnação com ultrassom, tratamento osmótico e vácuo. Foram avaliados perda de água, ganho de sólidos, compostos fitoquímicos (carotenóides, fenólicos e ácido ascórbico), firmeza, cor e consumo energético. Após a impregnação, as amostras foram submetidas à secagem convectiva a 60 °C (terceira etapa) e avaliadas em termos de taxa de secagem (TS), compostos fitoquímicos, firmeza e teste sensorial. Na última etapa do trabalho, amostras de manga ainda foram submetidas a outros métodos alternativos de secagem com ultrassom e vácuo, de forma contínua e intermitente. Os seguintes parâmetros foram avaliados: TS, compostos fitoquímicos, firmeza e consumo energético. Na etapa da EAU de polifenóis do resíduo de uva, a maior extração de fenólicos (51,73 mg EAG/g), antocianinas (2,05 mg/g) e taninos (62,65 mg EC/g) foi obtida com um aumento no nível de amplitude e tempo de aplicação do ultrassom. Os resultados da capacidade antioxidante foram proporcionais às concentrações de polifenóis (401,62 µmol Trolox/g). Na etapa de impregnação dos polifenóis da uva na manga, os ensaios de impregnação a vácuo e de impregnação a vácuo assistida por ultrassom apresentaram o melhor desempenho em relação à retenção de carotenóides (33,07 – 34,53 µg/g) e ácido ascórbico (25,57 – 40,97 mg/100g), maior incorporação de polifenóis do resíduo da uva pela manga (6,29 – 7,74 mg EAG/g), maior mudança de cor e textura mais macia. Na etapa de secagem convectiva da manga impregnada, amostras tratadas com vácuo, ultrassom e desidratação osmótica apresentaram taxas de secagem mais rápidas, além de maior retenção de carotenóides (6,77 µg/g), fenólicos (1,84 mg EAG/g) e ácido ascórbico (7,05 mg/100g). A avaliação sensorial mostrou que as amostras impregnadas apresentaram boa aceitação. Em relação aos diferentes métodos de secagem empregados, a secagem com vácuo e ultrassom resultou em menor tempo de

secagem e menor degradação térmica dos carotenóides (38,18 µg/g) e fenólicos (1,88 mg EAG/g), enquanto que a secagem a vácuo resultou em maior retenção de ácido ascórbico (59,36 mg/100g). Por outro lado, nos tratamentos com ultrassom, houve perdas de fenólicos (0,64 – 0,73 mg EAG/g) e ácido ascórbico (16,63 – 21,30 mg/100g). A utilização de pulsos de ultrassom e vácuo resultou em secagens mais rápidas que as secagens contínuas, e conseqüente redução do consumo energético. O presente trabalho mostrou que a EAU e a impregnação de fenólicos de resíduo de uva em manga seca é viável, e a utilização de combinações de vácuo e ultrassom (contínuo e intermitente) são capazes de otimizar o processo de secagem da manga e preservar seu valor nutricional.

Palavras-chaves: *Mangifera*; compostos fitoquímicos; ultrassom; vácuo; desidratação.

ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate the influence of ultrasound-assisted extraction (UAE) and impregnation of polyphenols from grape residue in dried mango. In the first stage, the extraction process of the polyphenols was carried out through an experimental design with the use of ultrasound at different power intensities (75 - 373 W/cm²) and application times (2 to 10 min). The process was evaluated in terms of total phenolics, anthocyanins, tannins, antioxidant capacity, color and energy consumption. In the second stage, the extracted polyphenols were incorporated into the mango by different methodologies of impregnation with ultrasound, osmotic treatment and vacuum. Water loss, solids gain, phytochemicals (carotenoids, phenolics and ascorbic acid), firmness, color and energy consumption were evaluated. After impregnation, the samples were submitted to convective drying at 60 °C (third stage) and evaluated in terms of drying rate (DR), phytochemicals, firmness and sensory test. In the last stage of the work, mango samples were submitted to other alternative methods of drying with ultrasound and vacuum, continuous and intermittent. The following parameters were evaluated: DR, phytochemicals, firmness and energy consumption. In UAE stage of polyphenols from grape residue, the greatest extraction of phenolics (51,73 mg GAE/g), anthocyanins (2,05 mg/g) and tannins (62,65 mg CE/g) was obtained with an increase in the level of amplitude and time of ultrasound application. The results of the antioxidant capacity were proportional to the concentrations of phenolics (401,62 µmol Trolox/g). In the impregnation stage of grape polyphenols in the mango, the vacuum impregnation and ultrasound-assisted vacuum impregnation experiments showed the best performance in relation to the retention of carotenoids (33,07 – 34,53 µg/g) and ascorbic acid (25,57 – 40,97 mg/100g), greater incorporation of phenolics from the grape residue by the mango (6,29 – 7,74 mg GAE/g), greater color change and softer texture. In the convective drying stage of the impregnated mango, treated samples with vacuum, ultrasound and osmotic dehydration showed faster drying rates, besides greater retention of carotenoids (6,77 µg/g), phenolics (1,84 mg GAE/g) and ascorbic acid (7,05 mg/100g). The sensory evaluation showed the impregnated samples had good acceptance. Regarding the different drying methods used, ultrasound assisted vacuum drying resulted in less drying time and less thermal degradation of carotenoids (38,18 µg/g) and phenolics (1,88 mg GAE/g),

while vacuum drying resulted in greater retention of ascorbic acid (59,36 mg/100g). On the other hand, in the ultrasound treatments, there were losses of phenolics (0,64 – 0,73 mg GAE/g) and ascorbic acid (16,63 – 21,30 mg/100g). The use of ultrasound and vacuum pulses resulted in faster drying than continuous drying, and a consequent reduction in energy consumption. The present work showed that UAE and the impregnation of grape residue phenolics in dried mango is feasible, and the use of combinations of vacuum and ultrasound (continuous and intermittent) are able to optimize the drying process of the mango and preserve its nutritional value.

Keywords: *Mangifera*; phytochemicals compounds; ultrasound; vacuum; dehydration.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
2	REVISÃO DA LITERATURA.....	15
2.1	MANGA.....	15
2.2	UVA.....	16
2.2.1	Resíduos agroindustriais.....	17
2.3	COMPOSTOS FENÓLICOS.....	19
2.4	TECNOLOGIAS NÃO-TÉRMICAS.....	20
2.4.1	Ultrassom.....	20
2.4.2	Vácuo.....	22
2.4.3	Tratamento osmótico.....	23
2.5	SECAGEM.....	24
3	HIPÓTESE.....	27
4	OBJETIVOS.....	28
4.1	OBJETIVO GERAL.....	28
4.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	28
5	MATERIAIS E MÉTODOS.....	29
5.1	MATÉRIA-PRIMA.....	29
5.1.1	Manga.....	29
5.1.2	Resíduo de uva.....	30
5.2	FLUXOGRAMA DE REALIZAÇÃO DOS EXPERIMENTOS.....	30
5.3	PRODUÇÃO DE MANGA DESIDRATADA ENRIQUECIDA COM COMPOSTOS FENÓLICOS DE RESÍDUO DE UVA.....	31
5.3.1	Extração dos compostos fenólicos do resíduo da uva.....	31
5.3.2	Incorporação dos compostos fenólicos do resíduo da uva na manga.....	33
5.3.3	Desidratação da manga enriquecida com compostos fenólicos da uva sob diferentes métodos de impregnação.....	35
5.4	ESTUDO DE DIFERENTES MÉTODOS DE SECAGEM DA MANGA.....	35
5.5	ANÁLISES FÍSICAS, FÍSICO-QUÍMICAS, ENERGÉTICAS E SENSORIAIS.....	37
5.5.1	Umidade.....	37

5.5.2	Atividade de água.....	37
5.5.3	Compostos fenólicos totais.....	37
5.5.4	Taninos totais.....	37
5.5.5	Antocianinas totais.....	37
5.5.6	Carotenóides totais.....	38
5.5.7	Ácido ascórbico.....	38
5.5.8	Capacidade antioxidante.....	39
5.5.9	Cor.....	39
5.5.10	Firmeza.....	39
5.5.11	Consumo total de energia.....	39
5.5.12	Análise sensorial.....	40
5.6	ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	40
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	41
6.1	PRODUÇÃO DE MANGA DESIDRATADA ENRIQUECIDA COM COMPOSTOS FENÓLICOS DE RESÍDUO DE UVA.....	41
6.1.1	Extração dos compostos fenólicos do resíduo da uva.....	41
6.1.1.1	Compostos fenólicos totais.....	43
6.1.1.2	Conteúdo de antocianinas totais.....	48
6.1.1.3	Conteúdo de tanino total.....	50
6.1.1.4	Capacidade antioxidante.....	53
6.1.1.5	Cor.....	54
6.1.1.6	Consumo total de energia.....	57
6.1.2	Incorporação dos compostos fenólicos do resíduo da uva na manga.....	58
6.1.2.1	Perda de água.....	58
6.1.2.2	Ganho de sólidos.....	60
6.1.2.3	Carotenóides totais.....	61
6.1.2.4	Compostos fenólicos totais.....	63
6.1.2.5	Ácido ascórbico.....	64
6.1.2.6	Consumo total de energia.....	66
6.1.2.7	Firmeza.....	67
6.1.2.8	Cor.....	69
6.1.3	Desidratação da manga enriquecida com compostos fenólicos da uva sob diferentes métodos de	

	impregnação.....	72
6.1.3.1	Secagem.....	72
6.1.3.2	Carotenóides totais.....	74
6.1.3.3	Compostos fenólicos totais.....	76
6.1.3.4	Ácido ascórbico.....	77
6.1.3.5	Firmeza.....	78
6.1.3.6	Análise sensorial.....	79
6.2	Estudo de diferentes métodos de secagem da manga.....	81
6.2.1	Secagem.....	81
6.2.2	Consumo total de energia.....	84
6.2.3	Firmeza.....	84
6.2.4	Carotenóides totais.....	86
6.2.5	Compostos fenólicos totais.....	87
6.2.6	Ácido ascórbico.....	89
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	91
	REFERÊNCIAS.....	93
	APÊNDICE A - FORMULÁRIO DA ANÁLISE SENSORIAL.....	110
	APÊNDICE B - TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE).....	111
	APÊNDICE C - ARTIGO PUBLICADO: Effect of different grape residues polyphenols impregnation techniques in mango.....	113
	APÊNDICE D - ARTIGO PUBLICADO: Grape residue anthocyanin extraction using ultrasound.....	114
	ANEXO A - APROVAÇÃO DO COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA.....	115

1 INTRODUÇÃO

A manga é uma fruta tropical extensamente consumida em diversas partes do mundo. O Brasil é um grande produtor, especialmente na região do Vale do São Francisco (CARVALHO et al., 2019). É rica em nutrientes, principalmente compostos antioxidantes, e apresenta em torno de 80% de água em sua composição, o que a torna altamente perecível e dificulta seu manuseio e exportação (VASCONCELOS et al., 2019).

A fim de facilitar seu consumo e transporte, o processo de desidratação muitas vezes é utilizado como opção de processamento, pois reduz a umidade e atividade de água, aumentando sua estabilidade. Entretanto, para realização da desidratação, são utilizadas temperaturas elevadas, que podem causar alguns efeitos negativos na qualidade do produto final, como perda de valor nutricional (MEDEIROS et al., 2016). Assim, a aplicação de novas tecnologias combinadas ao processo de secagem convencional se mostra necessária para a preservação dos nutrientes e a agregação de valor aos alimentos desidratados.

Nessa perspectiva, estudos recentes investigaram o uso da impregnação de compostos de interesse nutricional em frutas, como maçã impregnada com fenólicos de suco de cenoura preta e cálcio (YILMAZ; BILEK, 2018), abacaxi impregnado com cálcio (LIMA et al., 2016), banana impregnada com *Lactobacillus rhamnosus* (RASCÓN et al., 2018), manga impregnada com ácido ascórbico e cálcio (GUIAMBA et al., 2016) e jaca impregnada com *Lactobacillus Casei* (BERNARDINO et al., 2021). Os componentes que são adicionados com a impregnação podem promover efeito sinérgico, de forma que a adição de compostos bioativos a uma matriz alimentícia é capaz de proteger os compostos presentes originalmente no alimento (JIMÉNEZ-HERNÁNDEZ et al., 2017). Sob esse ponto de vista, a utilização de resíduos agroindustriais para preservação do valor nutricional de frutas desidratadas parece ser uma alternativa promissora na área de tecnologia de alimentos. Dentre os resíduos produzidos mais representativos na região nordeste, encontra-se o resíduo agroindustrial da uva.

O Brasil é conhecido por ser grande produtor de uva, principalmente no Rio Grande do Sul, na Serra Gaúcha. Nas últimas duas décadas, a região do Vale do São Francisco ganhou destaque pela produção de uvas, principalmente com a produção de vinhos tropicais (CARVALHO et al., 2019). As uvas contêm

quantidades consideráveis de compostos fenólicos na casca, polpa e sementes, que apresentam propriedades antioxidantes (AHMED; FERNÁNDEZ-GONZÁLEZ; GARCÍA, 2020). O bagaço de uva, composto basicamente de cascas e sementes, é o principal subproduto da indústria de sucos e vinho e, na maioria das vezes, é descartado. Desse modo, o aproveitamento do refugo da produção como fonte de antioxidantes representa importância econômica e social (JIN et al, 2020).

A utilização de resíduo de uva é favorável do ponto de vista nutricional. Técnicas de otimização da extração dos compostos fenólicos desse resíduo têm sido investigadas com a aplicação da tecnologia do ultrassom, também denominadas de extração assistida por ultrassom (EAU) (MAZZA et al. 2018; ZHU et al., 2019; DREVELEGKA; GOULA, 2020). Ondas ultrassônicas são utilizadas na área de alimentos devido ao efeito potencial na extração, homogeneização, otimização do processo de secagem, entre outros. A passagem do ultrassom através do alimento causa agitação de suas partículas e promove um efeito chamado de cavitação acústica, fenômeno caracterizado pela compressão e expansão das moléculas de água presentes no alimento. Essa agitação favorece a formação de microcanais dentro da matriz alimentícia, responsável por facilitar transferência de massa, como a extração de compostos de interesse e de água da matriz alimentar (VILLAMIEL et al., 2017).

Além disso, a literatura tem evidenciado o uso de associações de tecnologias não-térmicas com a secagem no intuito de otimização do processo, como o ultrassom e o vácuo. Ambas as metodologias permitem menores tempos de secagem e maior preservação do valor nutricional dos alimentos. A associação de ultrassom e vácuo tem sido investigada associada à secagem, como na desidratação de produtos de origem animal (BASLAR; KILIÇLIA; YALINKILIÇ, 2015) e vegetal (SILVA JÚNIOR et al., 2018; SILVA et al., 2019; LI et al., 2020a). Outra alternativa recentemente investigada foi a utilização de pulsos de ultrassom e vácuo durante o processo de secagem. A utilização dos pulsos parece estar relacionada à redução do gasto de energia e do tempo de secagem, e melhora do valor nutricional, como observado nos estudos com pulsos de ultrassom (SCHÖSSLER; JÄGER; KNORR, 2012) e pulsos de vácuo (WANG et al., 2018; YU et al., 2020; LIU et al., 2021). Dessa maneira, a utilização de tecnologias alternativas de secagem podem beneficiar a produção de manga desidratada com características nutricionais mais preservadas.

A utilização destas técnicas permite contribuir para a área de tecnologia de alimentos, especialmente sobre a secagem, uso de tecnologias não-térmicas, como o vácuo e ultrassom, e o aproveitamento de resíduos agroindustriais de fruta. Outra contribuição do trabalho a ser considerada é o fortalecimento da cadeia produtiva das frutas tropicais, principalmente no Nordeste brasileiro, em que as culturas da manga e da uva estão em expansão. Ressalta-se ainda que o desenvolvimento de produtos funcionais com matérias-primas da região favorece o setor agrícola local e gera mais empregos e renda para trabalhadores rurais, fortalece a indústria de alimentos funcionais, além de permitir o desenvolvimento científico-tecnológico na área da Nutrição.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 MANGA

A manga (*Mangifera indica* L.) é uma fruta dicotiledônea da Família Anacardiaceae, originária do Sul da Ásia, mais especificamente da Índia, onde é cultivada há 4.000 anos e integra a culinária local sob as mais diversas formas (CUNHA et al., 1994). As mangas pertencem a um grupo de frutas exóticas que tornou-se cada vez mais importante no mercado global de frutas, especialmente nas últimas duas décadas (LEHNER; SIEGMUND, 2020). São mais de 150 cultivares produzidas no mundo, sendo considerada, em termos de produção e área cultivada, o gênero alimentício mais importante para os habitantes dos trópicos, depois da banana (ZHANG et al., 2017). A cultivar Tommy Atkins é uma das mais comercializadas no mundo e a mais produzida no Brasil. Responde por aproximadamente 80% da área cultivada e representa 90% das exportações da fruta (FURLANETO; SOARES; BERTANI, 2015).

Mangas são ricas fontes de compostos fenólicos, carotenóides (principalmente trans e beta-caroteno), ácido ascórbico, minerais, carboidratos, fibras e vitaminas. Esses compostos têm mostrado importantes benefícios à saúde e interessantes propriedades técnico-funcionais para aplicações na indústria de alimentos (SÁNCHEZ-CAMARGO et al., 2019). Devido à sua alta popularidade e alto valor nutritivo, a manga é consumida em muitos países em todo o mundo, gerando mais de 52 milhões de toneladas anuais de frutas (FAO, 2019).

A Índia é o maior produtor mundial de manga, sendo responsável por 38% da produção global, com 20,01 milhões de toneladas (FAO, 2019). A produção mundial aumentou aproximadamente 45% entre 2007 e 2017. Em 2018, foram produzidas 52,08 milhões de toneladas em 2018, representando um aumento de 150% em relação à década anterior. Em termos de volume de produção, a manga continuou a se classificar como a variedade de frutas tropicais predominante, devido à popularidade na Índia (FAO, 2020).

De acordo com o Anuário Brasileiro de Horti&Fruti 2020, no Brasil, os estados de Pernambuco e Bahia são os grandes produtores de manga. A lista das frutas mais exportadas começa com a manga em valor e com o melão em volume. O envio de manga fresca ou seca foi de 221,913 mil toneladas e de US\$ 227,573 milhões em 2019, com as respectivas altas de 30% e de 27,26% (CARVALHO et al., 2019).

Em relação à morfologia, a manga varia consideravelmente, dentre outros aspectos, em tamanho, forma, cor, presença de fibras, aroma e sabor. O formato do fruto oscila entre arredondado a oval-oblongo ou alongado, com comprimento entre 6,25 e 25 cm em variedades diferentes. Apresentam-se na cor amarela, laranja e vermelha, e, quando não está madura, na cor verde. No seu interior, na região central, apresenta apenas uma única semente, onde se localiza o embrião da planta (MARTINEZ et al., 2012).

A manga é uma fruta climatérica com forte metabolismo fisiológico após ser colhida, é suscetível à contaminação microbiana durante o armazenamento e apodrece após 7–9 dias de armazenamento em temperatura ambiente. Por essa razão, necessita de cuidados específicos para a sua conservação, o que gera dificuldades na pós-colheita nos países produtores (XU; WU, 2021). O fruto apresenta grande quantidade de polpa, que pode ser empregada na elaboração de produtos como doces, geleias, néctares, sorvetes, sucos puros ou misturas e licores (YANG et al., 2021; ADEDEJI; EZEKIEL, 2020).

O consumo frequente de frutas, como a manga, é altamente recomendado para obter o benefício total dos nutrientes, bioativos e antioxidantes que contêm, junto com seu sabor desejável. Os macronutrientes, micronutrientes e outros compostos bioativos promotores da saúde contidos na fruta podem contribuir sinergicamente para modular o risco de doenças cardiometabólicas e outras doenças não transmissíveis por meio de vários mecanismos (ALASALVAR; SALVADÓ; ROS, 2020). Outros pesquisadores, como Vithana, Singh e Johnson (2019), descreveram a importância do consumo de compostos bioativos, como polifenóis e carotenóides presentes em frutas e vegetais, pelo seu potencial antioxidante, como forma de proteção ao organismo de doenças, tais como as cardiovasculares, câncer e hipertensão.

2.2 UVA

Além da manga, a uva (*Vitis* sp, Família Vitaceae), também é uma das frutas mais apreciadas e cultivadas no mundo, originária da Ásia, especificamente da região árida do Cáucaso, existindo há cerca de 6000 anos a.C. (MELO et al., 2018). A uva 'Isabel' é uma cultivar híbrida de uva preta (*Vitis labrusca*) e é a mais cultivada no Brasil (MAURER et al., 2017), sendo importante por apresentar tolerância às principais doenças fúngicas e alto rendimento (YAMAMOTO et al., 2015). Pode ser

consumida *in natura*, como passas, processadas para fazer vinho, suco ou outros produtos (CARVALHO et al., 2019).

A uva é amplamente apreciada pelos consumidores devido à sua cor brilhante, sabor e aroma únicos, rica em minerais, vitaminas, polifenóis com capacidade antioxidante, especialmente ácidos fenólicos, flavonóides, antocianinas, estilbenos (resveratrol) e pró-antocianidinas (taninos) (AHMED; FERNÁNDEZ-GONZÁLEZ; GARCÍA, 2020). O resveratrol, um dos principais compostos polifenólicos presentes na uva, possui efeito antioxidante que elimina diretamente os radicais livres e, também, modula vários alvos, como a ativação do óxido nítrico sintase endotelial (eNOS), aumentando a produção de óxido nítrico (NO) e o fator nuclear derivado de eritróide-2 relacionado fator-2 (Nrf2), ambos relacionados com a prevenção de doenças cardiovasculares (CALDEIRA-DIAS et al., 2021).

A uva é uma das frutas mais valorizadas no mundo com uma produção mundial anual de mais de 73,3 milhões de toneladas (UNUSAN, 2020). Até o primeiro trimestre de 2021, a estimativa da produção nacional da fruta foi de 1,7 milhão de toneladas. A maior parte das plantações encontra-se na Região Sul, a qual abrange 56,5% da produção nacional. Entre os estados dessa região, destaca-se o Rio Grande do Sul com um total de 46.741 ha, totalizando 64,60% da área vitícola nacional (IBGE, 2021). Por outro lado, em 2019, quase 100% das mangas e a uvas exportadas foram colhidas na região do Vale do São Francisco. As uvas dessa região vêm ganhando notoriedade pela produção em potencial de vinhos tropicais. A produção nacional de uvas destinadas à elaboração de vinho, suco e derivados foi estimada em 818,29 mil toneladas em 2018, equivalente a 51,39% do total. Todavia, seu processamento gera grande quantidade de resíduos, principalmente devido à produção de vinho e suco (CARVALHO et al., 2019).

2.2.1 Resíduos agroindustriais

No Brasil, vários frutos comestíveis são processados para fabricação de sucos, doces em conserva, extratos e polpas, proporcionando a geração de resíduos (cascas, caroços ou sementes e bagaço), que são, em sua maioria, descartados, sendo que poderiam ser destinados para redução do desperdício de alimentos (MELO et al., 2018). A crescente preocupação com possíveis impactos ambientais e o elevado índice de perdas e desperdício gerados pelas indústrias alimentícias têm levado pesquisadores a buscar alternativas viáveis de aproveitamento, além da

geração de novos produtos para o consumo humano, como a incorporação de resíduos originados durante as atividades das indústrias de alimentos para aumentar o valor nutricional dos produtos (SÁNCHEZ-CAMARGO et al., 2019).

Nesse contexto, é importante ressaltar que a produção agroindustrial de uva tem merecido destaque pela quantidade de resíduos produzidos em suas atividades. Alguns trabalhos têm sido direcionados para o estudo do aproveitamento de resíduos do processamento de frutas, como caju, goiaba, maracujá e graviola, a partir da farinha de resíduo desidratado (MESQUITA et al., 2018). O processamento da uva para a obtenção de sucos, vinhos e derivados pela indústria vitivinícola gera diversos resíduos como o sarro, a borra, grainhas e o bagaço, sendo este último o mais representativo dos resíduos (MELO et al., 2018) (Figura 1).

Figura 1 - Resíduo de uva descartado oriundo da produção de polpa de fruta no município de São Vicente Férrer, Pernambuco, Brasil.



Fonte: O autor (2021).

Geralmente, o bagaço da uva é descartado no meio ambiente ou tratado como um produto de baixo valor econômico, como fertilizante orgânico, ração para animais e na destilação do álcool (JIN et al., 2020). Porém, a maior parte é descartada sem tratamentos, o que é considerado um potencial poluente ambiental, devido ao seu baixo pH, o alto teor de substâncias fenólicas e antibacterianas (COSTA et al., 2019). Os subprodutos desperdiçados no processamento de frutas contêm substâncias de alto valor comercial, como por exemplo, os compostos antioxidantes. A extração de polifenóis de subprodutos industriais representa uma fonte econômica e sustentável de fitoquímicos de alto valor biológico para nutrição

humana e tecnologia de alimentos (HAAS et al., 2020). Resíduos de uva são caracterizados por altos teores de polifenóis em decorrência de uma extração incompleta durante o processamento. Logo, este material constitui uma fonte barata para a extração de compostos fenólicos que podem ser reutilizados em favor da sustentabilidade das práticas agrícolas em diferentes segmentos da indústria (MELO et al., 2018).

2.3 COMPOSTOS FENÓLICOS

Os compostos fenólicos, também conhecidos como polifenóis, são metabólitos secundários de vegetais que apresentam função de fotoproteção, defesa contra microorganismos e insetos, além de serem responsáveis pela pigmentação e por algumas características sensoriais dos alimentos (GONÇALVES; SILVA; CARLOS, 2019). Os polifenóis apresentam estrutura química comum, derivada do benzeno, ligada a um grupo hidrofílico (DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2018).

Os compostos fenólicos podem ser classificados em flavonóides e não-flavonóides. Do primeiro grupo, flavonóis (quercetina, campferol e miricetina), flavanais (catequina, epicatequina), flavonas (apigenina, luteolina), flavanonas (hesperidina, narigenina), antocianinas (cianidina, malvidina), isoflavonas (genisteína, gliciteína). Do grupo dos não-flavonóides, tem os ácidos fenólicos (ácidos benzóicos e ácidos cinâmicos), estilbenos (resveratrol). Os flavonóides, por sua vez, constituem o maior grupo de compostos fenólicos da planta, representando mais de metade dos oito mil compostos fenólicos que ocorrem naturalmente (MORAIS et al., 2020). Em uvas, os principais compostos fenólicos compreendem derivados do ácido hidroxinâmico, como os ácidos cafeico e cumárico; flavonóides (como as antocianinas); flavonóis e as protocianidinas (também conhecidas como taninos) (MELO et al., 2018).

Os compostos fenólicos têm sido alvo de muitas pesquisas na comunidade científica. Esse fenômeno pode ser explicado por seus diversos efeitos biológicos, como a capacidade de sequestrar radicais livres, modulação da atividade de algumas enzimas específicas, inibição da proliferação celular, bem como por seu potencial como agente antibiótico, antialérgico e anti-inflamatório (VITHANA; SINGH; JOHNSON, 2019). Numerosas observações epidemiológicas sugeriram que a frequência do consumo de compostos fenólicos se relaciona inversamente à

doença cardiovascular (DCV) e à doença cardíaca coronária e câncer (ALASALVAR, SALVADÓ; ROS, 2020).

Estudos demonstram que, além das uvas e vinho, o bagaço, o principal resíduo da vinificação, também apresenta alto teor de compostos fenólicos, como antocianinas, catequinas, proantocianidinas, glicosídeos de flavonóis, ácidos fenólicos e estilbenos, além de considerável capacidade antioxidante (DEMIRKOL; TARAKCI, 2018). A maioria dos polifenóis está ligada por meio de ligações hidrofóbicas ou de hidrogênio aos polissacarídeos da parede celular, assim como também se localizam no citoplasma celular, dentro dos vacúolos celulares ou associados ao núcleo (NAYAK et al., 2018). Dessa forma, para extração dos fenólicos presentes nos alimentos, é necessário empregar tecnologias de extração capazes de alterar a parede celular do vegetal, a fim de facilitar sua saída. Dentre eles, destacam-se o uso de tecnologias não-térmicas, como ultrassom (HAAS et al., 2020).

2.4 TECNOLOGIAS NÃO-TÉRMICAS

2.4.1 Ultrassom

A tecnologia do ultrassom vem sendo utilizada nos últimos anos na área de tecnologia de alimentos em virtude de sua pluralidade de aplicações. É bastante conhecida por otimizar operações unitárias, como secagem e extração, reduzindo o tempo do processo e aumentando o rendimento (SORIA; VILLAMIEL, 2010). O ultrassom é uma onda mecânica que se diferencia do som audível pelos seres humanos por apresentar frequências maiores que 20 kHz e propaga-se em meios sólidos, líquidos e gasosos (CASTRO; PRIEGO-CAPOTE; PERALBO-MOLINA, 2011; CHEMAT; HUMA; KHAN, 2011).

Um dos fenômenos produzidos quando o ultrassom se propaga nos líquidos é o fenômeno de cavitação. A cavitação ocasiona a formação de cavidades, para onde os gases dissolvidos no sistema migram, formando microbolhas, que aumentam e diminuem de tamanho, gerando ciclos de expansão e compressão até que as bolhas implodem, liberando grande quantidade de calor e exercendo elevadas pressões próximas à região da implosão (CÁRCEL et al., 2012; VEILLET; TOMAO; CHEMAT, 2010). A presença de materiais sólidos no sistema provoca uma implosão assimétrica das microbolhas, gerando jatos que colidem com as superfícies sólidas e, também, ocasiona a circulação de líquidos, devido à

turbulência gerada (SHIRSATH; SONAWANE; GOGATE, 2012). Essas colisões fazem com que células vegetais sejam rompidas, facilitando a difusão do solvente extrator para o interior da matriz. Somando-se a isso, o calor liberado pelas implosões aumenta a solubilidade dos analitos, favorecendo o aumento da transferência de massa (VEILLET; TOMAO; CHEMAT, 2010).

Outro efeito que ocorre durante a cavitação é a formação de radicais, que podem eventualmente reagir com os compostos de interesse nutricional presentes na amostra, ocasionando a oxidação dos mesmos. Esses radicais são formados devido à dissociação da molécula da água ou de outros gases que possam migrar para o interior da bolha causada pelo calor e à alta pressão produzida durante a implosão das bolhas de cavitação (SORIA; VILLAMIEL, 2010).

Alguns estudos demonstraram a eficácia da aplicação do ultrassom na extração de compostos fenólicos (extração assistida por ultrassom – EAU) em bagaço de uva ‘Agiorgitiko’ (DREVELEGKA; GOULA, 2020), ‘Syrah’ (MAZZA et al. 2018), ‘Muscat’ (ZHU et al., 2019), ‘Tempranillo’ (CARRERA et al., 2012), ‘Cabernet’ (NAYAK et al., 2018), ‘Plavac mali’ (PANIĆ et al., 2019), ‘Tannat’ (GONZÁLEZ et al., 2020) e ‘BRS Violet’ (ROMANINI et al., 2021). A uva ‘Isabel’ apenas foi utilizada como matéria-prima para EAU no estudo de Haas et al. (2020), em que extraíram fenólicos da fração não-resíduo (partículas sólidas suspensas) de mix de uvas ‘Isabel’ e ‘Bordô’. Assim, não há evidências na literatura sobre o uso da EAU em resíduo de uva ‘Isabel’.

A maior extração dos compostos fenólicos está associada aos efeitos da cavitação, que no meio líquido ocorre em decorrência do ciclo de compressão e rarefação das ondas ultrassônicas. A energia ultrassônica induz cavitação acústica, que promove aumento de temperatura e pressão, o que pode aumentar a transferência de massa do analito para o solvente com a fragmentação da onda de choque (AL-DHABI et al., 2017). A utilização do ultrassom surge como uma promissora alternativa para a extração de fitoquímicos em alimentos, já que apresenta vantagem comparada à extração convencional (extração por agitação mecânica) (TIWARI et al., 2015).

Além da extração, o ultrassom também é bastante utilizado na otimização do processo de secagem, como observado por Medeiros et al. (2016; 2019a) em manga, Silva Júnior et al. (2018) em mamão e Cunha et al. (2020) em melão. Os autores relataram que a melhora nas taxas de secagem é em virtude do aumento

da transferência de massa que ocorre após a aplicação das ondas ultrassônicas, sobretudo devido ao efeito da cavitação. Além do ultrassom, diversas outras tecnologias são empregadas na área de tecnologia de alimentos para otimização de processos. Dentre eles, pode-se evidenciar a utilização do vácuo.

2.4.2 Vácuo

O vácuo pode ser produzido por meio da sucção do ar do interior de um recipiente. Essa sucção é feita por uma bomba pneumática e consiste na redução da pressão de vapor do líquido para uma pressão menor que a atmosférica. Normalmente, utiliza-se essa técnica para preservar alimentos por mais tempo. O emprego de vácuo promove a supressão do oxigênio, retarda a respiração, o amadurecimento, o envelhecimento, a perda de umidade, inibe o escurecimento enzimático e o crescimento de microrganismos e, conseqüentemente, aumenta a vida útil do alimento (LEITE et al., 2020). Dessa forma, a pressão de vácuo possui diversas aplicações na indústria de alimentos, como em embalagens (OTHMAN et al., 2021), na desidratação osmótica (SHARMA; DASH, 2019), na impregnação de compostos de interesse nutricional (RADZIEJEWSKA-KUBZDELA, BIEGAŃSKA-MARECIK; KIDÓN, 2014) e na secagem (BANG; YU; SHIN, 2021).

O vácuo pode ser utilizado na tecnologia de impregnação de compostos de interesse nos alimentos, chamada de impregnação a vácuo (IV). Esse processo é usualmente utilizado para acelerar a penetração de um líquido ou soluto de interesse em uma estrutura porosa, seja está vegetal ou animal (ABALOS et al., 2020). O processo de IV consiste na troca do gás e líquido aprisionado no interior dos poros de um alimento por um líquido externo, devido à ação de gradientes macroscópicos de pressão promovidos pela aplicação de vácuo e posterior restabelecimento da pressão atmosférica (FITO, 1994; FITO; PASTOR, 1994; FITO et al., 1996).

O processo de IV ocorre em duas etapas: na primeira etapa, o alimento é imerso na solução que se deseja impregnar e o sistema é submetido a uma pressão subatmosférica por um determinado tempo, onde o gás ocluído nos poros do alimento se expande, até atingir o equilíbrio com a pressão imposta ao sistema, saindo do alimento e levando parte do líquido nativo presente no interior dos poros. Quando o equilíbrio das pressões do sistema é alcançado, uma quantidade de líquido penetra nos poros devido à ação das forças capilares. Após este período, a pressão de vácuo é suspensa e restabelecida a pressão atmosférica. Nesta etapa, o

gás residual da amostra se comprime, conduzindo à impregnação dos poros do alimento pela solução externa (ABALOS et al., 2020).

O primeiro modelo matemático do processo de impregnação a vácuo em alimentos porosos foi proposto por Fito (1994) e Fito e Pastor (1994), conhecido como Mecanismo Hidrodinâmico (MHD). Esse fenômeno descreve os mecanismos de desgaseificação e de infiltração em um alimento poroso, considera a pressão capilar e o gradiente macroscópico de pressão imposto ao sistema durante as etapas de aplicação do vácuo e recuperação da pressão atmosférica como as forças motrizes do processo. O modelo do MHD permite o cálculo da fração volumétrica da amostra impregnada, ocasionada por gradientes macroscópicos de pressão e pela ação da capilaridade. Posteriormente, Fito et al. (1996) propuseram outro modelo denominado Deformação-Relaxação (DR), com correções ao modelo MHD, considerando a possibilidade da deformação da matriz porosa dos alimentos durante a aplicação do vácuo e à relaxação dos mesmos durante o restabelecimento da pressão, relacionada às propriedades viscoelásticas dos alimentos sólidos.

A IV tem sido usada com sucesso para incorporar vitaminas (CORTÉS; OSORIO; GARCÍA, 2007; HIRONAKA et al., 2011), minerais (LIMA et al., 2016; YILMAZ; BILEK, 2018; OLIVEIRA et al., 2021), microorganismos probióticos (NOORBAKHSH; YAGHMAEE; DURANCE, 2013; BERNARDINO et al., 2020) e polifenóis (MEDEIROS et al., 2019a; ABALOS et al., 2020) em vegetais. Os componentes que são adicionados por impregnação promovem efeito sinérgico, de forma que a adição de compostos bioativos a uma matriz alimentar é capaz de proteger os compostos originalmente presentes no alimento (JIMÉNEZ-HERNÁNDEZ et al., 2017). Além da utilização do vácuo, outra tecnologia não-térmica é extensivamente utilizada devido ao seu baixo custo e facilidade de execução: o tratamento osmótico.

2.4.3 Tratamento osmótico

O tratamento osmótico, também conhecido como desidratação osmótica (DO), tem ganhado bastante atenção devido ao seu potencial para a indústria alimentícia, por se tratar de um método de processamento que proporciona, além de baixo custo, produtos com valor agregado e com propriedades funcionais, sem perda das características sensoriais do alimento. A DO é uma técnica útil para concentração de frutas e legumes, em que o alimento sólido, inteiro ou em pedaços,

é imerso em soluções aquosas de alta pressão osmótica (para o preparo das soluções osmóticas, geralmente é utilizado sacarose ou cloreto de sódio) (TORREGGIANI; BERTOLO, 2001).

Esse processo resulta em três tipos de transferência de massa em contracorrente: 1) Fluxo de água da fruta para a solução; 2) Transferência de solutos da solução para o produto; 3) Saída de solutos do próprio alimento (açúcares, ácidos orgânicos, minerais, vitaminas). Nesses produtos, a membrana semipermeável que possibilita essa movimentação é a parede celular, que pode esticar ou expandir sob a influência de pressões geradas dentro da célula. Ela permite livremente a passagem de solventes moleculares através de sua parede, mas também permite, em menor grau, a passagem de alguns solutos moleculares (BROCKMAN, 1973; TORREGGIANI, 1993). O percentual de perda de água e ganho de sólidos solúveis depende dos seguintes fatores: característica do tecido vegetal, geometria do material, tipo de agente osmótico, concentração da solução, proporção fruto/solução, temperatura, tempo de imersão, pressão e agitação (LERICI et al., 1985; RAHMAN; LAMB, 1990).

Durante a DO, é possível introduzir princípios ativos no alimento, como agentes de preservação, algum soluto de interesse nutricional ou uma qualidade sensorial melhoradora no produto (JIMÉNEZ-HERNÁNDEZ et al., 2017; RASCÓN et al., 2018). Através dessa transferência, é possível introduzir quantidades desejadas de componentes fisiologicamente ativos (antioxidantes, vitaminas ou minerais), redutores de atividade de água (AA) ou pH, antimicrobianos, qualquer outro soluto de interesse nutricional ou capaz de conferir uma melhor qualidade sensorial, a fim de se obter um produto estável e de qualidade (RAOULT-WACK, 1994; FITO et al., 2001).

Isoladamente, a desidratação osmótica não fornece um produto com redução suficiente de umidade a ponto de ser considerado estável, por isso é utilizado em combinação com outros métodos de conservação, como secagem, resfriamento, pasteurização, conservas, fritura e/ou adição de agentes de preservação (JIMÉNEZ-HERNÁNDEZ et al., 2017).

2.5 SECAGEM

A desidratação (secagem) é um dos mais antigos métodos de conservação dos alimentos, e ainda é a forma mais comum de remover água da matéria-prima

(WOJDYLO et al., 2016). Consiste na remoção de um fluido do alimento, basicamente água, na forma de vapor para o ar não saturado. Esta vaporização ocorre pela diferença de temperatura entre o ar quente e o alimento, determinando uma diferença de pressão de vapor entre o ar e a superfície do alimento, o que ocasiona uma transferência de massa (água), na forma de vapor, para o ar. Os mecanismos mais importantes desse transporte são: difusão líquida, difusão de vapor e fluxo de líquido e de vapor (PONTES et al., 2009).

O processo de secagem diminui a atividade de água e teor de umidade do alimento, o que estabiliza o produto e reduz as perdas de qualidade (LAW; CHEN; MUJUMDAR, 2014) e a ação dos microrganismos, além de muitas enzimas que causam mudanças químicas nos alimentos não exercerem atividade enzimática sem a presença da água (MEDEIROS et al., 2016). Entre as vantagens de se utilizar esse tipo de tecnologia, pode ser citada a facilidade para se transportar e armazenar estes alimentos secos, aumento da segurança na estocagem por longos períodos de tempo, mesmo em temperatura ambiente (ORTIZ-GARCÍA-CARRASCO et al., 2015), estabilização dos componentes aromáticos à temperatura ambiente por longos períodos de tempo, proteção contra degradação enzimática e oxidativa (KAMILOGLU et al., 2015).

Dentre os métodos mais usados para a secagem de alimentos, tem-se a desidratação com exposição solar direta (secagem de forma natural) e as desidratações com ar quente (convectiva), microondas, vácuo e liofilização (secagem de forma artificial) (KAMILOGLU et al., 2015). Na secagem de forma artificial, a técnica mais utilizada pela indústria de alimentos é a secagem convectiva (DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2018), que é geralmente utilizada para a desidratação da fruta devido à sua simplicidade e baixo custo de equipamento. Durante o processo, o material é exposto ao ar quente, e este calor é transferido a partir da superfície para o interior da amostra (MICHALSKA; LYSIAK, 2015).

A tecnologia de alimentos vem empregando diferentes combinações de técnicas com a secagem, como a utilização de pré-tratamentos e o emprego de tecnologias durante o processo de secagem propriamente dito, tais como o uso do ultrassom e vácuo. Há relatos na literatura sobre a secagem com a combinação de vácuo e/ou ultrassom, como Başlar, Kiliçli e Yalinkiliç (2015), Chen, Guo e Wu (2016), Tekin et al. (2017), Silva Júnior et al. (2018), Silva et al. (2019) e Li et al. (2020a). Além destes, outros trabalhos empregaram a combinação de pulsos de

vácuo (YU et al., 2020; LIU et al., 2021) e pulsos de ultrassom (SCHÖSSLER; KNORR, 2012; QI et al., 2021) na secagem de frutas. Essas associações permitem maiores taxas de secagem, redução do tempo do processo e menor perda de componentes nutricionais.

A literatura evidencia que a utilização do ultrassom durante a secagem está associada à formação de canais microscópicos, ocasionados pela aplicação do ultrassom, decorrentes dos fenômenos de cavitação e do efeito esponja (série de compressões e expansões da amostra) que resulta em mudanças de pressão no sólido que facilitam a remoção de umidade (CHEN et al., 2016). Por outro lado, a utilização do vácuo é responsável pela maior preservação dos compostos nutricionais e aceleração da transferência de massa (BAŞLAR et al., 2014). Xie et al. (2017) relataram que a secagem com pulsos de vácuo (intermitente), também chamada de desidratação cíclica ou queda de pressão sucessiva, é uma boa solução para maximizar a eficiência energética, mantendo a qualidade do produto. Dessa forma, o estudo da combinação de tecnologias durante o processo de secagem de frutas é fundamental para produção de alimentos desidratados com valor agregado.

3 HIPÓTESE

- a) O ultrassom pode potencializar a extração dos compostos fenólicos do resíduo de uva;
- b) A impregnação de compostos fenólicos extraídos do resíduo da uva é capaz de preservar os compostos antioxidantes naturais da manga;
- c) Os pré-tratamentos de impregnação a vácuo associados ao ultrassom e desidratação osmótica são eficazes na otimização da secagem convectiva da manga;
- d) Combinações de ultrassom e vácuo (contínuo e intermitente) são capazes de otimizar o processo de secagem da manga;

4 OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a influência da extração assistida por ultrassom (EAU) e impregnação de compostos fenólicos de resíduo de uva na produção de manga desidratada.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Verificar a influência da intensidade e tempo de aplicação do ultrassom na extração dos polifenóis do resíduo da uva;
- Quantificar os compostos fitoquímicos da manga;
- Avaliar o efeito protetor da impregnação dos compostos fenólicos do resíduo da uva sob os compostos antioxidantes da manga;
- Estudar a secagem convectiva da manga após a incorporação dos polifenóis;
- Avaliar a aceitabilidade da manga desidratada impregnada com polifenóis de resíduo de uva;
- Estudar o efeito do ultrassom e/ou vácuo, de forma contínua e intermitente (pulsos), na desidratação da manga;

5 MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 MATÉRIA-PRIMA

5.1.1 Manga

Foram selecionadas mangas maduras da variedade 'Tommy Atkins' (*Mangifera indica* L.) do mercado local de Recife, Pernambuco (Latitude 08° 03' 14" S, Longitude 34° 52' 52" O). O teor de sólidos solúveis da fruta foi na faixa de 13-15° Brix. Os frutos foram lavados em água potável e imersos, por 15 minutos, em água clorada, contendo, aproximadamente, 200 mg/L de cloro residual livre por litro de água (aproximadamente 10 mL de água sanitária para 1 L de água) e enxaguadas em água potável. Após sanitização, as mangas foram descascadas manualmente. A polpa foi fatiada com 0,5 cm de espessura e cortada em dimensões de 3,0 cm (largura) x 5,0 cm (comprimento) com cortador adaptado de inox para padronização das amostras (Figura 2). Em relação ao rendimento da fruta, para cada 1 kg de manga, foram obtidas 32 amostras. Cada amostra apresentou cerca de 5 g. Dessa forma, o rendimento da manga foi cerca de 16%.

Figura 2 – Cortador de inox e amostra de manga



Fonte: O autor (2021).

5.1.2 Resíduo de uva

Para extração dos compostos fenólicos, foi utilizado resíduo de uvas da variedade Isabel (*Vitis labrusca*) cultivadas no Município de São Vicente Férrer (Latitude: 7° 35' 26" S, Longitude: 35° 29' 30" O), situado na Zona da Mata Norte do Estado de Pernambuco, que foram adquiridas no mercado local em Recife, Pernambuco. As frutas foram higienizadas com solução clorada de 200 mg/L de cloro residual livre por litro de água durante 15 minutos de imersão e enxaguadas em água potável.

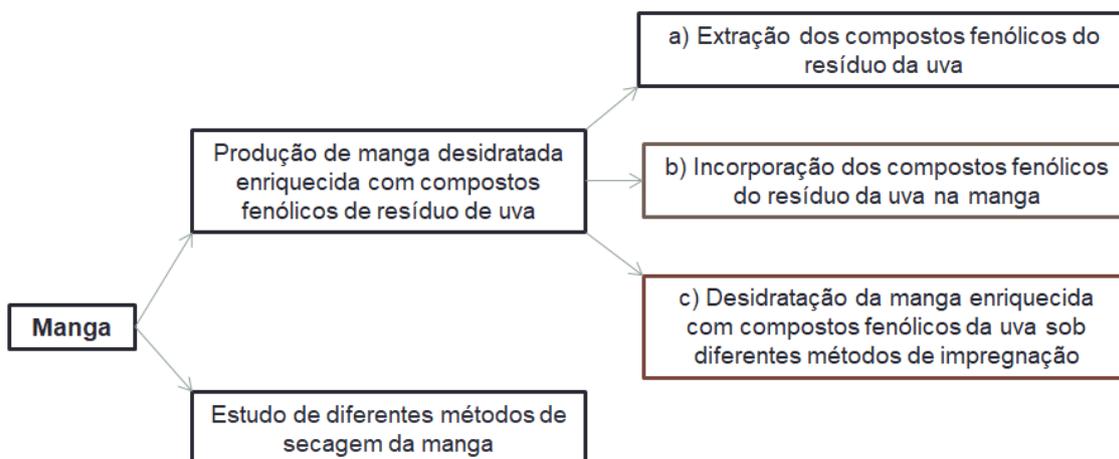
Para obtenção do resíduo de uva, a polpa das frutas foi separada com o auxílio de um despulpador (Bonina, modelo O5df, Brasil) em uma indústria local de processamento de suco de frutas (Recife, Brasil). Após a obtenção do resíduo (cascas, sementes e pedúnculos), o material foi imediatamente acondicionado em embalagens a vácuo e armazenados sob temperatura de refrigeração (4 °C) até o momento do uso. Em relação ao rendimento da fruta, a cada 1kg de uva, o resíduo obtido foi cerca de 200g. Dessa forma, o rendimento do resíduo de uva foi de 20%.

O resíduo da uva foi transformado em farinha para facilitar o processo de extração. As amostras foram desidratadas em estufa de circulação de ar (Tecnal, modelo TE-395, Brasil) a 50 °C até que o teor de umidade menor que 10% fosse atingido. O material seco foi moído em moinho de facas multiuso (Tecnal, modelo TE-631/2, Brasil) e a farinha obtida foi padronizada com granulometria de 20 mesh (841 µm). As amostras foram armazenadas a vácuo em embalagens de 100 g e congeladas a -18 ° C.

5.2 FLUXOGRAMA DE REALIZAÇÃO DOS EXPERIMENTOS

O presente trabalho abordou duas propostas de produção de manga desidratada com maior preservação de seus compostos nutricionais. A primeira abordagem foi relativa à obtenção de manga desidratada enriquecida com compostos fenólicos de resíduo de uva através de três etapas sequencias descritas conforme fluxograma abaixo (Figura 3). Além desta, também foram investigados diferentes métodos de secagem, através da associação de vácuo e/ou ultrassom, de forma contínua e intermitente. Após cada estágio, as amostras foram avaliadas quanto aos parâmetros de qualidade que serão descritos mais adiante.

Figura 3 – Fluxograma dos ensaios realizados com a manga



Fonte: O autor (2021).

5.3 PRODUÇÃO DE MANGA DESIDRATADA ENRIQUECIDA COM COMPOSTOS FENÓLICOS DE RESÍDUO DE UVA

5.3.1 Extração dos compostos fenólicos do resíduo da uva

A extração dos polifenóis foi realizada por meio de técnica convencional e extração assistida por ultrassom (EAU). O solvente utilizado foi uma solução etanólica a 50% (TARONE et al., 2021) na diluição de 1:18 (g/mL) (farinha de resíduo de uva: solvente) (GOULA; THYMIATIS; KADERIDES, 2016).

A extração convencional (controle) foi realizada em mesa agitadora (Marconi, modelo MA140/CFT, Brasil) a 200 rpm por 15 min em temperatura ambiente (30 °C). A EAU foi realizada em um béquer encamisado de 250 mL, acoplado a um banho ultratermostático (Solab, SL-152, Brasil) ajustado a uma temperatura de 17 °C, e inserido em uma cabine acústica (Unique, DES500, Brasil) com uma sonda ultrassônica com ponta de 1,3 cm de diâmetro, 500 W de potência e 19 kHz de frequência. A temperatura foi selecionada a fim de manter uma temperatura amena constante durante o processo de extração (YU et al., 2018). A farinha de resíduo de uva e o solvente foram inseridos no béquer dentro da cabine acústica e a sonda foi submersa até a profundidade de 25 mm das amostras.

A energia de entrada do ultrassom foi controlada ajustando a amplitude do equipamento. Os parâmetros extrínsecos de amplitude e tempo foram variados de acordo com um planejamento experimental. Os níveis de potência foram ajustados para 20%, 30%, 60%, 90% e 100% da potência total de entrada (500 W), que

correspondeu a intensidades de 75, 118, 224, 330 e 373 W/cm², respectivamente (DIAS et al., 2015). Devido ao calor gerado pelo equipamento de ultrassom, foram aplicados tempos de processamento curtos (2 a 10 min) (GOULA; THYMIATIS; KADERIDES, 2016). Esses fatores foram otimizados usando a metodologia de superfície de resposta.

Um delineamento composto central rotacional foi usado para determinar os efeitos da intensidade do ultrassom e do tempo de aplicação (variáveis independentes) no consumo total de energia, compostos fenólicos totais, antocianinas totais, taninos totais, capacidade antioxidante e cor (variáveis dependentes). Cinco níveis de cada variável foram escolhidos para estudo, incluindo o ponto central e dois pontos axiais. Foram realizadas 11 combinações, incluindo três repetições do ponto central (Tabela 1). Uma função matemática da correlação entre as variáveis dependentes e independentes foi obtida (Equação 1):

$$Y = \varphi(I, t) = \beta_0 + \beta_1 i + \beta_2 t + \beta_3 i^2 + \beta_4 t^2 + \beta_5 it \quad (1)$$

Tabela 1 - Delineamento experimental da extração assistida por ultrassom de polifenóis de resíduo de uva

Tratamento	Intensidade do ultrassom (W/cm ²)	Tempo (min)
Controle	-	-
1	118	3
2	330	3
3	118	9
4	330	9
5	224	6
6	224	6
7	224	6
8	75	6
9	373	6
10	224	2
11	224	10

Fonte: O autor (2021).

A análise dos dados estatísticos e os gráficos de superfície de resposta foram realizados usando Statistica 7.0. Os valores experimentais foram ajustados para um modelo polinomial de segunda ordem, sendo considerado preditivo o modelo que apresentou regressão significativa no nível de confiança de 95% e alto valor do coeficiente de regressão (R²) (acima de 0,7).

Após a extração, os extratos foram centrifugados a 6.000 rpm (Novatecnica,

NT 812, Brasil) por 15 min, armazenados em vidros âmbar à temperatura de refrigeração e, posteriormente, submetidos às análises de físico-químicas, tais como: compostos fenólicos totais (CFT), conteúdo de antocianinas totais (CAT), conteúdo de tanino total (CTT), capacidade antioxidante (CA), cor (L^* , a^* e b^*) e consumo de energia total (CET).

5.3.2 Incorporação dos compostos fenólicos do resíduo da uva na manga

As amostras de manga foram submetidas ao processo de impregnação através da imersão em solução de extrato do resíduo de uva (solução impregnante). Para cada ensaio realizado, foram utilizadas duas amostras de manga (cerca de 10 g) para evitar que o excesso da amostra prejudicasse o processo de impregnação.

Para obtenção da solução impregnante, foi utilizado o mesmo processo descrito na etapa anterior (5.2.1 Extração dos compostos fenólicos do resíduo da uva). Todavia, baseado em ensaios preliminares, as seguintes condições de tratamento de ultrassom foram selecionadas: intensidade de 224 W/cm^2 (amplitude de 60%) e tempo de tratamento de 10 min. Essas condições foram selecionadas com base na otimização da EAU de compostos bioativos de resíduo de uva. Após a obtenção dos extratos conforme descrito anteriormente, estes foram concentrados por evaporação a $40 \text{ }^\circ\text{C}$ com o auxílio de um evaporador rotativo a vácuo (Quimis, Q344M2, Brasil) para a eliminação completa do etanol residual. O processo de extração e a obtenção do extrato concentrado do resíduo da uva foram realizados sucessivas vezes até a obtenção da quantidade necessária.

A impregnação dos compostos fenólicos presentes no extrato do resíduo de uva em manga foi realizada à pressão atmosférica e a vácuo, com ou sem tratamento osmótico e ultrassom. Os experimentos foram conduzidos em 8 grupos experimentais, conforme Tabela 2.

Tabela 2 - Experimentos de impregnação de compostos fenólicos de resíduo de uva em manga

Tipo de impregnação	Tratamento
Pressão atmosférica (PA)	Impregnação à pressão atmosférica (IA)
	Impregnação à pressão atmosférica assistida por desidratação osmótica (IADO)
	Impregnação à pressão atmosférica assistida por ultrassom (IAUS)
	Impregnação à pressão atmosférica assistida por osmossonicação (IAOS)
Pressão de vácuo (PV)	Impregnação a vácuo (IV)
	Impregnação a vácuo assistida por desidratação osmótica (IVDO)
	Impregnação a vácuo assistida por ultrassom (IVUS)
	Impregnação a vácuo assistida por osmossonicação (IVOS)

Fonte: O autor (2021).

Todos os ensaios foram realizados em kitassato de 250 mL. Ao extrato concentrado, foi adicionada água destilada para restaurar o volume inicial de 150 mL, resultando no extrato aquoso rico em compostos fenólicos ($154,96 \pm 5,15$ mg EAG/ 100 mL). A proporção utilizada entre as amostras de manga e o extrato aquoso do resíduo da uva foi de 1:20 (g/mL) para evitar variações na concentração da solução durante a impregnação (LIMA et al., 2016). Todos os experimentos foram realizados à temperatura ambiente (30 °C).

Nos ensaios à pressão atmosférica, as amostras foram imersas no extrato aquoso de resíduo de uva por 30 min. Nos ensaios à pressão de vácuo, as amostras foram submetidas ao vácuo (cerca de 0,02 e 0,03 MPa) nos primeiros 15 min e, posteriormente, a pressão atmosférica foi restabelecida por mais 15 min (sem aplicação de vácuo), ou seja, o tempo total do processo também foi de 30 min (CASTAGNINI et al., 2015).

Nos ensaios com tratamento osmótico, a sacarose foi usada como agente osmótico para produzir uma solução contendo 50 g de sacarose/100 g de solução. A sacarose foi adicionada à água destilada. Após a diluição, o extrato do resíduo de

uva concentrado foi adicionado e homogeneizado. Nos ensaios com ultrassom, os experimentos foram conduzidos em banho ultrassônico (Unique, modelo USC-2850A, Brasil) na frequência de 25 kHz por 30 min.

Após a retirada das amostras da solução aquosa, as mangas impregnadas com compostos fenólicos foram drenadas e secas com papel absorvente para retirada do excesso de solução. As amostras frescas (controle) e impregnadas com extrato de resíduo de uva de manga foram avaliadas quanto à perda de água, ganho de sólidos, carotenóides totais, compostos fenólicos totais, ácido ascórbico, consumo total de energia, firmeza e cor.

5.3.3 Desidratação da manga enriquecida com compostos fenólicos da uva sob diferentes métodos de impregnação

Para a secagem, as amostras de manga com e sem a etapa de impregnação a vácuo foram desidratadas em um secador de leito fixo (Sulab, Brasil), com velocidade de ar constante de 2,0 m/s, a 60 °C. O tempo necessário para atingir a umidade final de 0,3 kg de água/kg de matéria seca (25% de umidade) foi determinado pelo estudo da cinética de secagem. O peso da amostra foi medido em balança semianalítica. Os intervalos de pesagem foram a cada 15 min na primeira hora do processo e a cada 30 min nas horas subsequentes até que o equilíbrio dinâmico entre a amostra e o ar de secagem fosse alcançado. As amostras de manga *in natura*, manga seca sem pré-tratamento (controle) e mangas secas impregnadas com compostos fenólicos de resíduo de uva foram avaliadas quanto ao tempo de secagem, atividade de água, carotenóides totais, compostos fenólicos totais, ácido ascórbico, firmeza e análise sensorial.

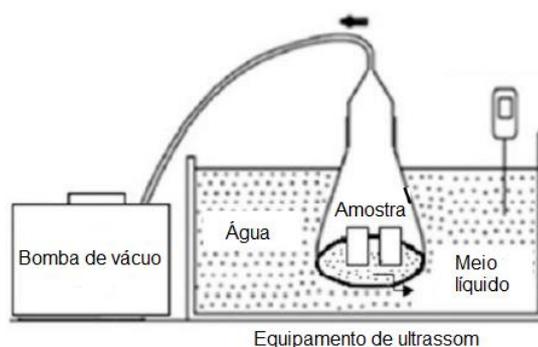
5.4 ESTUDO DE DIFERENTES MÉTODOS DE SECAGEM DA MANGA

Além do estudo sobre a produção de manga desidratada impregnada com compostos fenólicos de resíduo de uva, foram investigadas técnicas alternativas de secagem de manga a fim de desenvolver metodologias viáveis e eficazes na preservação de seus parâmetros de qualidade. A associação de vácuo e/ou ultrassom, de forma contínua e intermitente (pulsos), foi utilizada como alternativa à secagem tradicional (convectiva) da manga. Dessa forma, o processo de secagem foi realizado a 60 °C e foram utilizados os seguintes métodos de secagem: controle (sem vácuo e sem ultrassom), secagem a vácuo (SVC), secagem a pulso de vácuo

(SPVC), secagem assistida por ultrassom (SUS), secagem assistida por pulso de ultrassom (SPUS) e secagem a vácuo assistida por ultrassom (SVCUS).

Os experimentos foram conduzidos com auxílio de banho de ultrassom com termostato (Unique, modelo USC-2850A, Brasil) e bomba de vácuo (Marconi, modelo MA2057, Brasil), similar ao descrito por Silva Júnior et al. (2018) e Silva et al. (2019). Quatro amostras foram colocadas em pote de vidro hermético adaptado, a bomba de vácuo foi acoplada e o vidro foi inserido no banho de ultrassom (Figura 1).

Figura 4 – Esquema do sistema de secagem



Adaptado de Silva et al. (2019).

A temperatura do banho foi ajustada para 70 °C, a fim de manter a temperatura interna do vidro em 60 °C. Para as secagens com vácuo, foi utilizada uma bomba de vácuo (Marconi, modelo MA-2057, Brasil) com velocidade de bomba de 24 L/min. O grau de vácuo foi mantido entre 0,02 e 0,03 MPa. Para as secagens com ultrassom, a frequência do ultrassom foi de 25 kHz e a intensidade de 4870 W/m². Para os ensaios com pulso de vácuo e/ou ultrassom (SPVC e SPUS), a frequência de acionamento dos equipamentos foi de 2:1 (10 min ligado, 5 min desligado) (WANG et al., 2018) durante todo o processo.

A cinética de secagem foi realizada para obter produtos secos com umidade final de 0,19 kg de água/kg de matéria seca (16% de umidade). Para isso, as amostras foram pesadas de 15 em 15 minutos durante a primeira hora e de 30 em 30 minutos posteriormente, até atingir peso constante. As amostras foram avaliadas quanto ao tempo de secagem, consumo energético, firmeza, carotenóides totais, fenólicos totais e ácido ascórbico.

5.5 ANÁLISES FÍSICAS, FÍSICO-QUÍMICAS, ENERGÉTICAS E SENSORIAIS

5.5.1 Umidade

O teor de umidade das amostras foi determinado em estufa (Tecnal, modelo TE-395, Brasil) a 105 ° C por 24 h (AOAC, 2002).

5.5.2 Atividade de água

A atividade de água (AA) das amostras foi avaliada por meio de um medidor de atividade de água (Decagon, pawKit, EUA) a 25 °C.

5.5.3 Compostos fenólicos totais

O conteúdo de compostos fenólicos totais (CFT) dos extratos foi medido com base no reagente Folin-Ciocalteu, conforme descrito por Singleton, Orthofer e Lamuela (1999). Resumidamente, 0,5 mL do extrato foi misturado com 2,5 mL do reagente Folin-Ciocalteu. Em seguida, 2 mL de Na₂CO₃ foram adicionados para estabilizar a reação, que foi mantida por 2 horas na ausência de luz. Após a reação, as absorvâncias das amostras foram medidas a 760 nm em espectrofotômetro (Spectroquant, modelo Pharo 300). Os resultados foram expressos, com base na curva analítica, em mg equivalentes de ácido gálico (EAG)/g de amostra (base seca) após a correção das diluições.

5.5.4 Taninos totais

A determinação do conteúdo de taninos totais (CTT) foi realizada com base em Makkar e Becker (1993). Alíquotas (0,5 mL) do extrato foram coletadas, 3 mL do reagente vanilina 4 g/100 g (2 g de reagente e 50 mL de metanol) foram adicionados, e 1,5 mL de ácido clorídrico concentrado (HCl) foram adicionados imediatamente. Os tubos de ensaio foram mantidos fora da luz por um período de 20 min e as medidas de absorvância foram realizadas em espectrofotômetro a 500 nm. Os resultados de tanino foram expressos, com base na curva analítica, em mg de equivalentes de catequina (EC) por g da amostra (base seca) após correção das diluições.

5.5.5 Antocianinas totais

A determinação do conteúdo total de antocianinas (CTA) foi realizada pelo método de pH diferencial (GIUSTI; WROLSTAD, 2003), no qual foram utilizados dois

sistemas tampão: ácido clorídrico/cloreto de potássio pH 1,0 (0,025 M) e ácido acético/acetato de sódio pH 4,5 (0,4 M). Com 0,2 mL de uma amostra de extrato diluída (1:20), 4 mL da solução tampão correspondente foram adicionados e a absorbância máxima na região visível foi medida em 700 nm. A absorbância final da amostra foi calculada pela Equação 2.

$$A = (A_{max.vis} - A_{700nm})_{pH\ 1,0} - (A_{max.vis} - A_{700nm})_{pH\ 4,5} \quad (2)$$

Uma vez que a absorbância foi calculada, a concentração de antocianinas foi calculada usando a seguinte Equação (3):

$$C_A = A.MM.FD.1000/\epsilon.L \quad (3)$$

Onde C_A é a concentração de antocianinas após a correção das diluições, expressa em mg de cianidina 3-glicosídeo por g de amostra (base seca); A é a absorbância; MM é a massa molar média da antocianina (433,2 g/mol); ϵ é a absorvidade molar (26900 L/mol.cm); FD é o fator de diluição da amostra e L é o caminho óptico da cubeta (1 cm).

5.5.6 Carotenóides totais

O conteúdo total de carotenóides (CTC) foi quantificado com base na metodologia de Rodriguez-Amaya (1999). Esse método consistiu na extração dos carotenóides com acetona e posterior separação e diluição com éter de petróleo. As leituras foram feitas em comprimento de onda de absorbância de 470 nm e os resultados foram expressos como μg carotenóides/g amostra (base seca).

5.5.7 Ácido ascórbico

O conteúdo de ácido ascórbico foi determinado de acordo com AOAC (2002). Amostras de 5 g foram diluídas em 100 mL de ácido oxálico (concentração de 0,5 g de ácido oxálico/100 mL de água destilada), agitadas em mesa agitadora (Marconi, modelo A140/CFT, Brasil) a 200 rpm por 30 min em ambiente temperatura e depois filtrada com papel de filtro. Uma alíquota de 5 mL do filtrado foi titulada com indicador 2,6-diclorofenol-indofenol (DFI) até o ponto de equivalência. O conteúdo de ácido ascórbico foi expresso em mg de ácido ascórbico/100 g de amostra (base seca).

5.5.8 Capacidade antioxidante

A capacidade antioxidante (CA) foi determinada pelo método de sequestro do radical livre \cdot DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazil), conforme sugerido por Brand-Williams, Cuvelier e Berset (1995) e Büyüktuncel, Porgali e Çolak (2014). Para a análise, foi preparada uma solução em frasco de 100 mL com 2,4 mg de DPPH e o volume foi completado com metanol. Em tubo de ensaio, foi pipetada uma alíquota de 0,5 mL do extrato metanólico da amostra, seguida de 2,5 mL de DPPH (solução), sendo a mistura mantida fora da luz por 30 min em temperatura ambiente. Posteriormente, as medidas de absorvância foram realizadas em espectrofotômetro no comprimento de onda de 517 nm. Os resultados foram expressos em μ g de equivalente de Trolox por g de amostra (base seca).

5.5.9 Cor

As amostras foram avaliadas quanto à cor por meio de um colorímetro (Minolta, modelo CR400, Japão). O equipamento (geometria 65°/0°, sensor óptico D25, observador 10°) foi calibrado antes de qualquer leitura. Os instrumentos de refletância determinaram três parâmetros de cor: luminosidade à escuridão (L^*) (100 a 0); vermelho (+ a^*) para verde (- a^*); e amarelo (+ b^*) a azul (- b^*). A diferença total de cor (TCD) reflete a intensidade da mudança de cor após o processo e foi calculada através da Equação 1.

$$TCD = \sqrt{(L^* - L_o^*)^2 + (a^* - a_o^*)^2 + (b^* - b_o^*)^2} \quad (1)$$

5.5.10 Firmeza

A textura das amostras foi medida como firmeza (N) da superfície do produto por meio de um texturômetro (Brookfield, modelo CT3, EUA) em temperatura ambiente. Os testes de penetração foram realizados com uma sonda cilíndrica de 12,7 mm de diâmetro. Os parâmetros utilizados foram os seguintes: força de tiro de 5 g, velocidade constante de 2 m/s e taxa de deformação de 60%.

5.5.11 Consumo total de energia

Os experimentos foram avaliados em termos de consumo total de energia (CTE). Um medidor de energia (SolarLab, modelo WF-D02A, China) foi acoplado à tomada do equipamento utilizado nos tratamentos. O consumo foi expresso em kWh.

5.5.12 Análise sensorial

Para realização da análise sensorial (teste de aceitabilidade), as amostras desidratadas selecionadas foram submetidas previamente à análise microbiológica para garantia da inocuidade do produto. Foram realizadas determinações microbiológicas do Número Mais Provável (NMP.g⁻¹ de amostra) de bactérias do grupo Coliformes a 45 °C, bem como a análise de *Salmonella* sp. (expressa em presença ou ausência em 25 g) das mangas desidratadas. As análises foram realizadas em triplicata com base nas metodologias de Downes e Ito (2001), no Laboratório Experimentação e Análise de Alimentos Nonete Barbosa Guerra (LEAAL) da UFPE.

O teste de aceitabilidade foi realizado com as mangas secas impregnadas com compostos fenólicos do resíduo de uva. Para seleção das amostras, foram utilizadas mangas secas não pré-tratadas (controle) e mangas secas pré-tratadas que apresentaram melhor desempenho em relação aos parâmetros de qualidade, como teores de compostos fenólicos, carotenóides totais, ácido ascórbico e firmeza. As amostras foram avaliadas por 125 provadores não treinados que usaram uma escala hedônica de 9 pontos (1 para "desgostei extremamente" e 9 para "gostei extremamente") (DUTCOSKY, 2011) em formulário próprio apresentado no APÊNDICE A. Os participantes foram esclarecidos quanto à participação no estudo e orientados à assinatura do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) (APÊNDICE B).

A análise sensorial ocorreu no laboratório de análise sensorial associado ao Laboratório Experimentação e Análise de Alimentos Nonete Barbosa Guerra (LEAAL) da UFPE. Os atributos avaliados foram aparência geral, aroma, sabor e textura. Os provadores receberam 5g de cada amostra, codificada em três dígitos diferentes, disposta a cada avaliador em bandeja, acompanhado com água, com o intuito de minimizar o sabor residual entre os produtos. Esta pesquisa foi aprovada pelo Comitê de Ética em Pesquisa do Centro de Ciências da Saúde da UFPE (CAAE nº 67193517.0.0000.5208) (ANEXO A).

5.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e teste de Tukey com nível de confiança de 95% ($p < 0,05$) para comparação entre as médias. Todos os experimentos foram realizados em triplicata.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 PRODUÇÃO DE MANGA DESIDRATADA ENRIQUECIDA COM COMPOSTOS FENÓLICOS DE RESÍDUO DE UVA

6.1.1 Extração dos compostos fenólicos do resíduo da uva

Esta etapa do processo teve como objetivo avaliar o efeito da extração assistida por ultrassom (EAU) de polifenóis do resíduo do processamento da uva 'Isabel'. O teor de umidade inicial e final (farinha) do resíduo de uva foi $73,15\% \pm 0,34$ e $9,07\% \pm 0,15$, respectivamente. O tempo necessário para atingir a umidade final (450 min) foi determinado pela cinética de secagem preliminar do resíduo. Maiores teores de umidade (76,75% e 81,50%) foram encontrados por Natividade et al. (2013) e Drevelegka e Goula (2020) em resíduo de uva das variedades Isabel e Agiorgitiko, respectivamente. Essas diferenças podem estar relacionadas a diferentes fatores agronômicos, variedades da matéria-prima ou processos de obtenção do resíduo (KUMARI et al., 2017).

Os resultados do consumo total de energia (CTE), compostos fenólicos totais (CFT), conteúdo total de antocianinas (CTA), conteúdo de taninos totais (CTT), capacidade antioxidante (CA) e cor do extrato de resíduo de uva são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Delineamento experimental e valores de resposta do consumo total de energia (CTE), compostos fenólicos totais (CFT), conteúdo total de antocianinas (CTA), conteúdo de taninos totais (CTT), capacidade antioxidante (CA) e cor (L*, a* e b*) para a extração assistida por ultrassom dos resíduos do processamento da uva 'Isabel'

Tratamento	CTE (kWh)	CFT (mg EAG/g BS)	CTA (mg/g BS)	CTT (mg EC/g BS)	CA (μ mol Trolox/g BS)	Cor		
						L*	a*	b*
Controle	0,02 \pm 0,00	29,36 \pm 0,06	1,47 \pm 0,08	32,47 \pm 0,79	401,62 \pm 2,45	33,80 \pm 1,45	29,86 \pm 0,38	14,58 \pm 0,36
1	0,08 \pm 0,00	37,69 \pm 0,29	1,63 \pm 0,02	30,43 \pm 2,20	400,92 \pm 3,43	33,02 \pm 0,40	29,79 \pm 0,19	15,06 \pm 0,10
2	0,09 \pm 0,00	34,40 \pm 0,00	1,76 \pm 0,01	27,76 \pm 3,30	395,37 \pm 9,32	32,26 \pm 0,52	30,61 \pm 0,25	14,83 \pm 0,09
3	0,17 \pm 0,01	38,61 \pm 1,12	1,79 \pm 0,02	42,69 \pm 0,63	389,13 \pm 2,45	36,23 \pm 0,22	31,42 \pm 0,50	15,78 \pm 0,30
4	0,19 \pm 0,00	51,73 \pm 1,06	2,05 \pm 0,24	62,65 \pm 9,59	401,62 \pm 5,40	30,14 \pm 0,00	31,75 \pm 0,60	16,51 \pm 0,39
5	0,15 \pm 0,00	40,98 \pm 0,35	1,83 \pm 0,01	45,99 \pm 2,67	410,29 \pm 2,94	32,14 \pm 0,98	32,18 \pm 0,39	16,08 \pm 0,23
6	0,15 \pm 0,00	40,82 \pm 0,35	1,88 \pm 0,03	46,89 \pm 5,31	410,29 \pm 1,96	32,46 \pm 0,77	32,35 \pm 0,33	16,08 \pm 0,16
7	0,15 \pm 0,00	40,65 \pm 0,47	1,87 \pm 0,05	45,36 \pm 1,41	410,98 \pm 1,96	32,31 \pm 1,41	32,28 \pm 0,38	16,15 \pm 0,11
8	0,14 \pm 0,00	39,07 \pm 0,64	1,64 \pm 0,04	35,77 \pm 8,49	389,48 \pm 1,96	34,04 \pm 1,32	30,64 \pm 0,61	14,62 \pm 0,76
9	0,16 \pm 0,00	45,48 \pm 1,97	1,89 \pm 0,02	27,13 \pm 4,56	396,35 \pm 3,04	30,74 \pm 0,53	32,48 \pm 0,23	16,61 \pm 0,33
10	0,08 \pm 0,00	39,65 \pm 0,71	1,71 \pm 0,02	14,19 \pm 5,80	398,84 \pm 9,32	35,49 \pm 0,41	32,12 \pm 0,07	15,83 \pm 0,79
11	0,23 \pm 0,00	54,28 \pm 0,65	1,79 \pm 0,04	53,69 \pm 1,26	408,11 \pm 1,82	29,93 \pm 0,31	33,15 \pm 0,61	16,55 \pm 0,61

Legenda: BS: Base seca. Fonte: O autor (2021).

6.1.1.1 Compostos fenólicos totais

O resíduo de uva fresca apresentou CFT de 88,39 mg EAG/g base seca (BS). Após secagem a 50 °C, o CFT caiu para 29,36 mg EAG/g (redução de 66,78%), semelhante ao estudo relatado por Rockenbach et al. (2011) para uva 'Isabel'.

A EAU tem se mostrado uma alternativa bastante eficiente para a extração de fenólicos. Nos ensaios com tratamento ultrassônico, o maior resultado foi 54,28 mg EAG/g BS, 84,88% superior ao obtido pela técnica de extração convencional (controle). Natolino e Porto (2020) obtiveram um aumento de 50,31% (de 3,20 para 6,36 mg EAG/g BS) de CFT no bagaço de uvas brancas após EAU. Caldas et al. (2018) encontraram um incremento de 64,61% (um aumento de 48,6 para 80 mg EAG/g) de CFT na casca de uva vermelha após EAU quando comparado à extração convencional e à extração assistida por microondas (EAM). Poveda et al. (2018) também encontraram um aumento de 43,08 para 89,15 mg EAG/g (base úmida) no CFT do resíduo de uva da variedade Tempranillo após a EAU.

Os coeficientes de regressão para o modelo codificado proposto para representar o CFT da EAU dos resíduos do processamento da uva 'Isabel' dentro dos limites de intensidade de potência e tempo são mostrados na Tabela 4. Apenas o termo quadrático de intensidade não foi significativo ($p > 0,05$) e eliminado do modelo. A significância da regressão ($p \leq 0,05$) foi verificada por meio da análise de variância (ANOVA) (Tabela 5). O modelo obtido apresentou regressão significativa e explicou 91% da variabilidade no CFT.

Tabela 4 - Coeficientes de regressão significativos (95% de confiança) dos modelos de superfície de resposta para consumo total de energia (CTE), compostos fenólicos totais (CFT), conteúdo total de antocianinas (CTA), conteúdo de taninos totais (CTT), capacidade antioxidante (CA), L*, a* e b* para a extração assistida por ultrassom dos resíduos do processamento da uva 'Isabel'

Fator	CTE (kWh)	CFT (mg EAG/g BS)	CTA (mg/g BS)	CTT (mg EC/g BS)	CA (μ mol Trolox/g BS)	Cor		
						L*	a*	b*
Interceptação (β_0)	-	40,83	1,86	40,05	410,52	32,61	32,27	16,06
Linear								
Intensidade (β_1)	-	2,36	0,09	-	2,08	-1,44	0,47	0,41
Tempo (β_2)	-	4,87	0,07	12,89	0,94	-0,84	0,53	0,43
Quadratico								
Intensidade (β_{11})	-	-	-	-5,26	-9,20	-	-0,66	-0,32
Tempo (β_{22})	-	2,07	-	-4,01	-3,89	-	-	-
Interações β_{12}	-	4,10	-	5,66	4,51	-1,33	-	0,24
R ²	0,96	0,91	0,86	0,86	0,92	0,72	0,66	0,76

Legenda: BS: base seca. Fonte: O autor (2021).

Tabela 5 - Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para compostos fenólicos totais (CFT), conteúdo total de antocianinas (CTA), conteúdo de taninos totais (CTT), capacidade antioxidante (CA), L* e b* para a extração assistida por ultrassom dos resíduos do processamento da uva 'Isabel'

CFT	GL	SQ	MQ	Fcalc	Ftab
Regressão	4	329,86	82,465	14,663	4,5
Resíduo	6	33,742	5,6238		
FA	4	33,688			
EP	2	0,0545			
Total	10	363,60			

CTA	GL	SQ	MQ	Fcalc	Ftab
Regressão	2	0,1088	0,05441	11,388	4,46
Resíduo	8	0,0382	0,00477		
FA	6	0,036825			
EP	2	0,0014			
Total	10	0,147055			

CTT	GL	SQ	MQ	Fcalc	Ftab
Regressão	4	1646,8	411,710	9,539321	4,53
Resíduo	6	258,95	43,1593		
FA	4	257,773			
EP	2	1,183			
Total	10	1905,799			

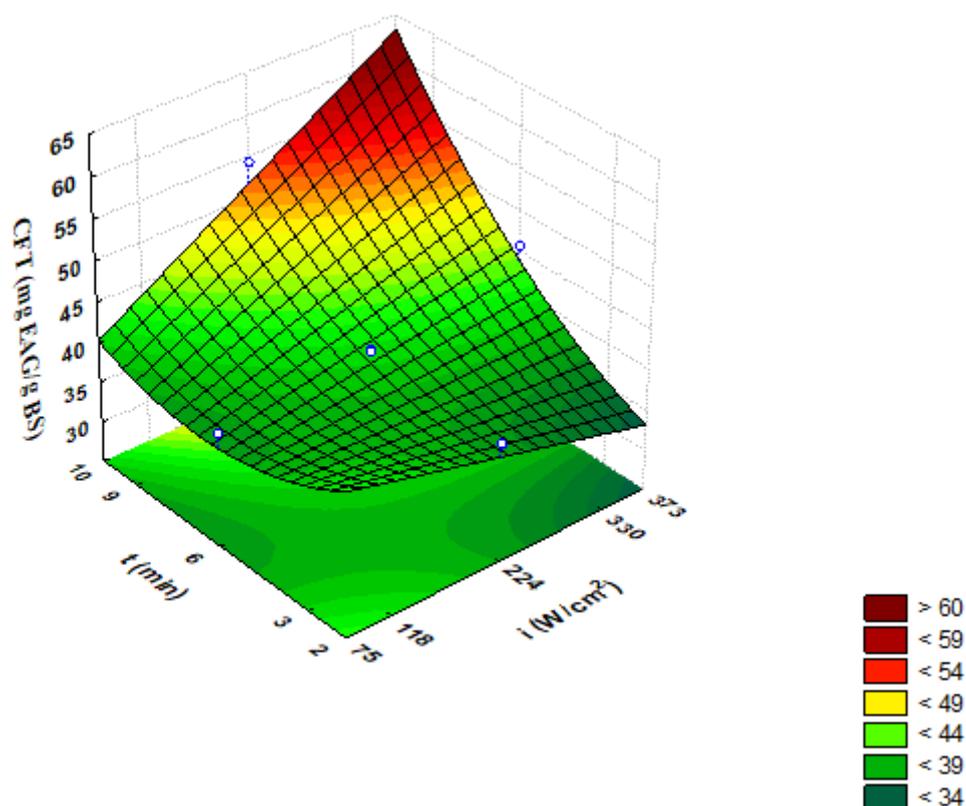
CA	GL	SQ	MQ	Fcalc	Ftab
Regressão	5	606,22	121,244	12,49662	5,05
Resíduo	5	48,5107	9,70214		
FA	3	48,1933			
EP	2	0,3174			
Total	10	654,7307			

b*	GL	SQ	MQ	Fcalc	Ftab	L*	GL	SQ	MQ	Fcalc	Ftab
Regressão	4	3,6988	0,92472	4,7134	4,53	Regressão	3	29,40308	9,801027	5,994726	4,35
Resíduo	6	1,1771	0,19618			Resíduo	7	11,44459	1,634941		
FA	4	1,1738				FA	5	11,39332			
EP	2	0,0032				EP	2	0,05127			
Total	10	4,8760				Total	10	40,84767			

Legenda: SQ: soma quadrática; GL: graus de liberdade; MQ: média quadrática; *Valores da tabela para F ($p < 0.05$). Fonte: O autor (2021).

A superfície gerada é apresentada na Figura 5. A intensidade do ultrassom e a duração do tratamento resultaram em mudanças no CFT após a extração. Maior duração (10 min) e intensidade de ultrassom (373 W/cm^2 , amplitude 100%) aplicado resultaram em maior extração de CFT. Drevelegka e Goula (2020) encontraram rendimento máximo de compostos fenólicos do bagaço de uva Agiorgitiko aplicando ultrassom por 10 min com 50% v/v de etanol. Pan et al. (2011) obtiveram maior rendimento de CFT na casca de romã à medida que a intensidade do ultrassom ($2,4\text{-}59,2 \text{ W/cm}^2$) e o tempo de tratamento (2-90 min) aumentaram ($p < 0,05$). Os autores sugeriram que este incremento foi principalmente devido ao aumento da cavitação e efeitos mecânicos do ultrassom que aumentam a área de superfície de contato entre o líquido e fase sólida e causou maior penetração do solvente na matriz da casca.

Figura 5 - Superfície de resposta de compostos fenólicos totais (CFT) para a extração assistida por ultrassom de resíduos de uva Isabel



Fonte: O autor (2021).

Kazemi et al. (2016) estudaram o efeito da EAU em diferentes intensidades de ultrassom ($53, 79$ e 105 W/cm^2) e tempos de tratamento (2, 6 e 10 min) em casca

de romã. Os autores mostraram que o conteúdo fenólico do extrato da casca da romã aumentou com o prolongamento do tempo de extração. A otimização numérica também mostrou que o CFT foi aumentado com o aumento do nível de intensidade do ultrassom. De maneira similar, Tarone et al. (2021) encontraram que a maior intensidade do ultrassom utilizada na extração de polifenóis de jabuticaba das intensidades estudadas ($13,0 \text{ W/cm}^2$) forneceu os valores máximos para o conteúdo fenólico total, que aumentou com o aumento da intensidade do ultrassom.

Espada-Bellido et al. (2017) encontraram comportamento semelhante em relação à amplitude de ultrassom, em seu estudo utilizando a EAU para extrair fenólicos de polpa de amoreira (*Morus nigra*), obtendo melhor condição com maiores amplitudes de ultrassom. Neste estudo, o conteúdo fenólico máximo foi obtido aos 10 min de extração. Da mesma forma, Bindes et al. (2019) encontraram maior extração de CFT em folhas de chá verde com maiores amplitudes de ultrassom, e esse resultado foi atribuído à maior amplitude das ondas ultrassônicas que passam pelo solvente, o que resulta em colapso intenso. Assim, há um aumento nos efeitos físicos, como paredes celulares rachadas ou danificadas, aumento da difusão de solutos, turbulência interfacial e dissipação local de energia. Esses efeitos físicos são responsáveis por aumentar os rendimentos com maiores intensidade do ultrassom (CHEN et al., 2018).

O aumento na eficiência da extração de compostos fenólicos através do tratamento ultrassônico pode estar relacionado ao fenômeno da cavitação acústica e ao desenvolvimento de fortes microcorrentes devido à implosão às ondas ultrassônicas (SORIA; VILLAMIEL, 2010). A implosão de bolhas de cavitação formadas na amostra: solvente pode induzir diferentes impactos, como a remoção de pequenas partículas ou estruturas na superfície (erosão), criação de poros (sonoporação) ou mesmo fraturas profundas dentro da matéria-prima (fragmentação). Assim, permite maior penetração de solventes levando ao aumento da taxa de difusão e, portanto, acelerando a transferência de massa (CHEMAT et al. 2017; KHADHRAOUI et al., 2018).

6.1.1.2 Conteúdo de antocianinas totais

O CAT da farinha de resíduo de uva apresentou $1,47 \text{ mg/g BS}$, semelhante ao encontrado por Rockenbach et al. (2011) para uvas 'Isabel'. Pascariu, Pop e Albu (2014) encontraram uma redução do CAT de $0,42$ para $0,31 \text{ mg/g}$ de uvas para

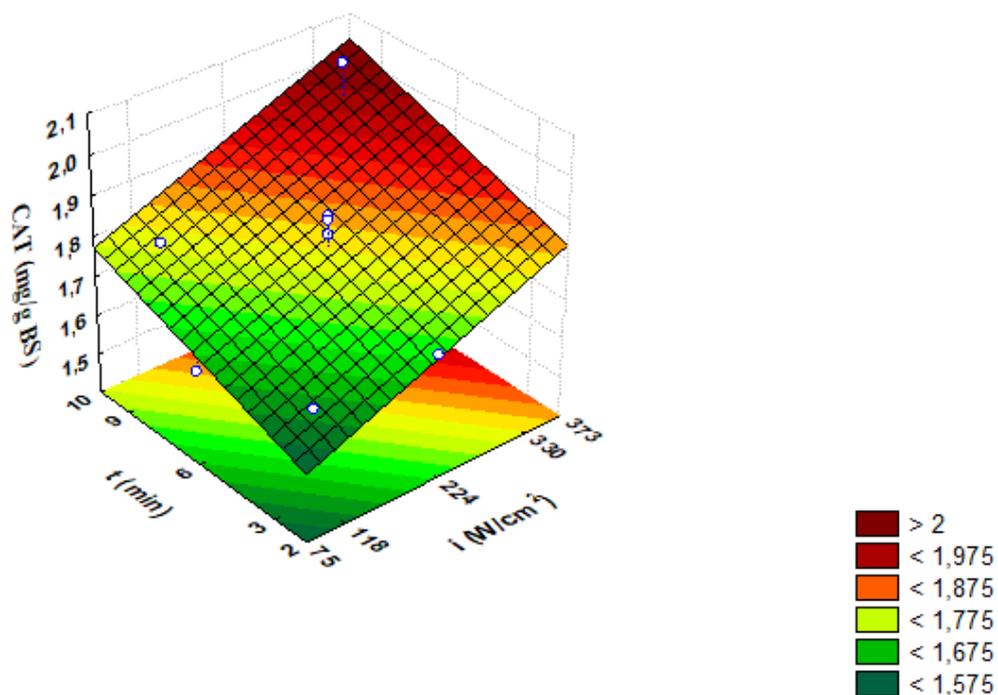
vinho tinto (Black Maiden) ao secar a 50 °C. Taşeri et al. (2018) encontraram CAT de 0,39 a 0,26 mg/g no resíduo de uva variedade 'Muscat de Hamburgo'.

Com a EAU, o rendimento da extração da CAT aumentou 39,45% em comparação com a extração convencional. Mazza et al. (2018) relataram um aumento de 51,21% no CAT da uva 'Syrah' após o tratamento ultrassônico com variações na potência (1000-3000 W/L). Poveda et al. (2018) encontraram um aumento na extração de 33,07 para 187,57 mg de antocianina/g (base úmida) em resíduo de uva 'Tempranillo' com tratamento de ultrassom (20 KHz, 500 W) a 50 °C.

A intensidade do ultrassom e o tempo de tratamento resultaram em alterações no CAT após a extração (Tabela 3). Os coeficientes de regressão significativos ($p \leq 0,05$) para o CAT em função da intensidade e duração do ultrassom são apresentados na Tabela 4. A análise de variância do modelo mostrou regressão significativa e explicou 86% da variação dos dados observados (Tabela 5).

A superfície gerada é apresentada na Figura 6. Pode-se observar um aumento na extração do CAT com maiores intensidades de potência do ultrassom. A intensidade de 373 W/cm² (amplitude de 100%) e a aplicação de ultrassom por 10 min apresentaram maior rendimento na extração de antocianinas, enquanto os menores valores de extrações foram obtidos em intensidades de ultrassom entre 20% (75 W/cm²) e 30% (118 W/cm²), semelhante ao encontrado por Mane et al. (2015), onde maiores valores de CAT foram obtidos na faixa acima de 70% de amplitude a 20 kHz em batata da variedade Magesty. Pode-se observar também que os ensaios que mostraram as maiores elevações no rendimento de extração de antocianinas foram os que apresentaram as maiores variações de temperatura durante a EAU, o que pode ser explicado pelo acelerado amolecimento e intumescimento dos materiais e no aumento da solubilidade e difusividade deste composto (BONFIGLI et al., 2017).

Figura 6 - Superfície de resposta de conteúdo total de antocianinas (CTA) para a extração assistida por ultrassom de resíduos de uva Isabel



Fonte: O autor (2021).

Espada-Bellido et al. (2017) encontraram que a recuperação do CAT durante extração atingiu um pico máximo em 10 min, o suficiente para a extração quantitativa de antocianinas de polpa de amoreira (*Morus nigra*). Tempos de extração mais longos levaram a extrações menores, provavelmente devido à degradação de antocianinas e compostos fenólicos. Ferarsa et al. (2018) estudaram o efeito da extração do CAT com uma sonda de ultrassom em diferentes tempos de aplicação (10, 20 e 30 min). Os resultados demonstraram que a quantidade de antocianinas aumentou com o tempo de tratamento ultrassônico (tempo-dependente). Os mesmos autores afirmaram ainda que, após avaliação com microscopia eletrônica de varredura, houve evidência clara de dano celular na face externa da casca da uva após o ultrassom de 30 min, o que explicaria o aumento do teor de antocianinas.

6.1.1.3 Conteúdo de tanino total

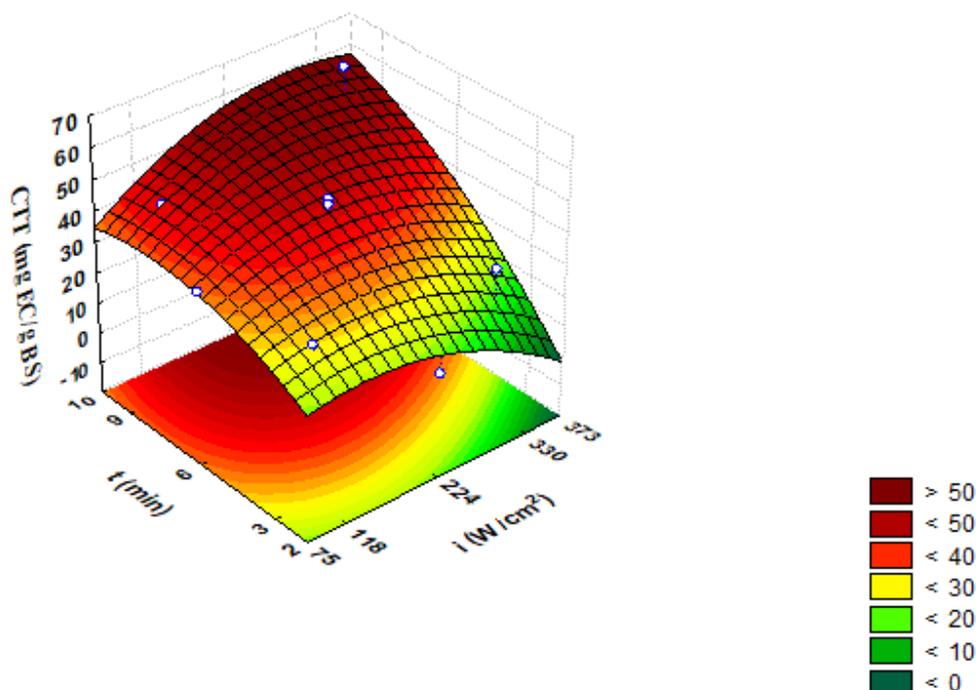
O conteúdo de tanino total (CTT) da farinha de resíduo de uva foi semelhante ao encontrado por Taşeri et al. (2018), de 36,1 a 45,1 mg de ácido tânico/g BS após

secagem de resíduo de uva 'Muscat de Hamburgo' a 45 °C em diferentes velocidades do ar (1,5, 2,0 e 2,5 m/s). Pascariu et al. (2014) encontraram redução de CTT de 15,34 para 11,04 mg/g de uvas para vinho tinto (variedade Black Maiden) secas a 50 °C.

A EAU dos taninos do resíduo da uva resultou em valores máximos de 62,65 mg EC/g BS (aumento de 92,95% em relação à extração controle) (Tabela 3). Poveda et al. (2018) encontraram aumento de 40,36 para 86,67 mg EC/g (base úmida) no resíduo de uva da variedade Tempranillo na frequência de 20 KHz, potência de 500W e temperatura de 50 °C. Muñoz-Labrador, Prodanov e Villamiel (2019) mostraram que a sonicação usando um banho de ultrassom a 45 kHz foi mais eficaz, resultando em um aumento considerável de até 35% no CTT em sementes de uva. Natolino e Porto (2020) também obtiveram aumento de 55,9% no CTT (de 6,63 para 11,66 mg EC/g BS) com 200 W de ultrassom e frequência de 26 kHz no bagaço de uva branca.

A intensidade do ultrassom e o tempo de tratamento resultaram em alterações no CTT após a extração. Os coeficientes de regressão significativos para CTT são apresentados na Tabela 4. A significância da regressão ($p \leq 0,05$) foi verificada por meio da análise de variância (ANOVA) e o modelo apresentou uma regressão significativa e explicou 86% da variação dos dados observados para os resíduos do processamento da uva Isabel (Tabela 5). Assim, a Figura 7 mostra a superfície de resposta obtida. Pode-se observar que o ultrassom com maior intensidade e tempo de aplicação foi capaz de extrair mais CTT, semelhante à extração do CAT.

Figura 7 - Superfície de resposta de conteúdo de taninos totais (CTT) para a extração assistida por ultrassom de resíduos de uva Isabel



Fonte: O autor (2021).

Chavan e Singhal (2013) constataram que a extração máxima de CTT foi obtida após 43 min de extração, potência de ultrassom de 50 W e amplitude de 100%. Isso pode ser devido à geração de calor com a maior potência de sonicação que aumenta a temperatura do solvente e aumenta a eficiência de extração. No entanto, o tempo de extração prolongado pode aumentar a decomposição química de compostos bioativos e, assim, diminuir o rendimento. Muñoz-Labrador et al. (2019) sugeriram que a maior extração de tanino pode ser atribuída a uma certa desintegração dos taninos ligados a outros biopolímeros, como proteínas e/ou polissacarídeos, indicando que o ultrassom é uma tecnologia eficiente para modificar a estrutura química e, conseqüentemente, a bioatividade dos taninos.

Em relação ao tempo de extração, Hoyos-Martínez et al. (2019) relataram que valores elevados não são necessários para alcançar bons rendimentos de extração de CTT (menos de 1 h). No entanto, quando o tempo de extração é elevado para valores relativamente altos, a eficiência de extração tende a diminuir. No estudo de Annegowda, Bhat e Min-Tze (2012), tempos de aplicação de ultrassom mais longos

(de 30 min) foram associados à redução da extração de tanino. Ou seja, o aumento desse parâmetro resulta em maiores quantidades de taninos extraídos em certa medida e depois começa a diminuir.

6.1.1.4 Capacidade antioxidante

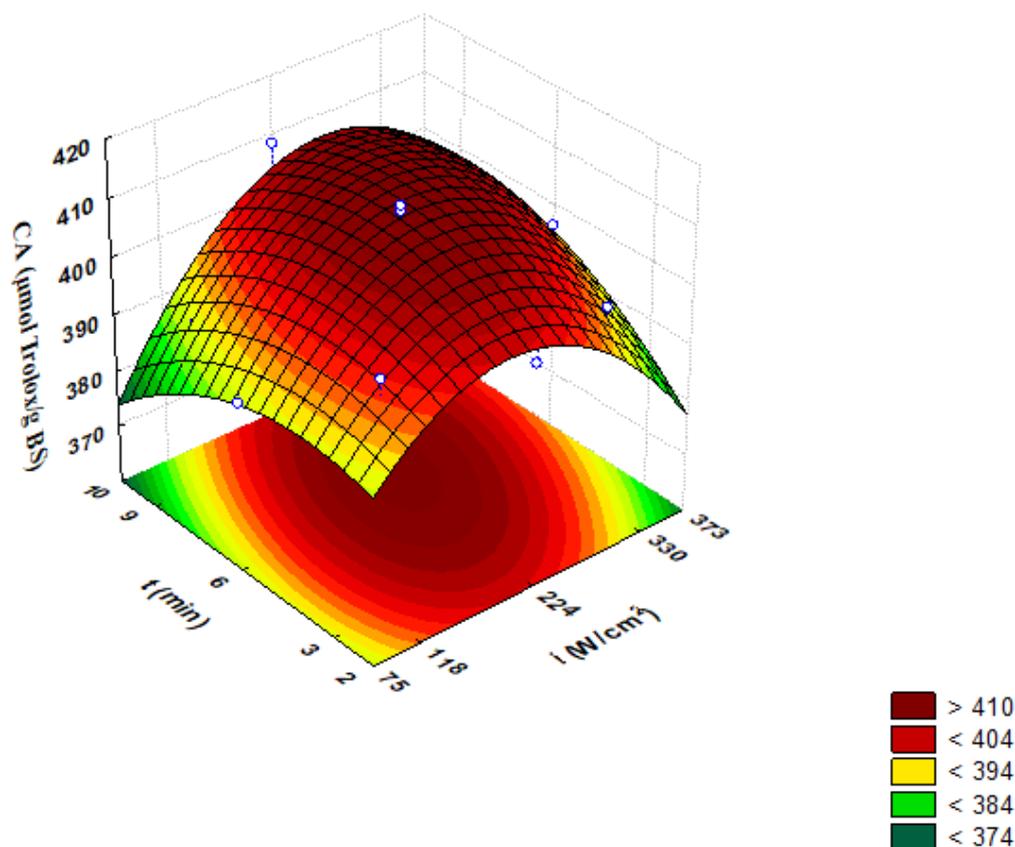
A capacidade antioxidante (CA) da farinha de resíduo de uva foi de 401,62 $\mu\text{mol Trolox/g BS}$ em DPPH (Tabela 3). Melo et al. (2015) relataram CA em DPPH de 191, 540 e 310 $\mu\text{mol equivalente Trolox (ET)/g BS}$ no resíduo de uvas liofilizadas das variedades Chenin Blanc, Petit Verdot, Syrah, respectivamente.

Após a EAU, a CA variou entre 389,13 a 410,98 $\mu\text{mol Trolox/g (DPPH)}$. A intensidade do ultrassom e o tempo de tratamento resultaram em alterações na CA após a extração. Todos os coeficientes de regressão foram significativos ($p \leq 0,05$) (Tabela 4) e a equação codificada obtida foi testada para adequação e aptidão por análise de variância (ANOVA). O modelo apresentou regressão significativa e explicou 92% da variação dos dados observados (Tabela 5).

A superfície de resposta (Figura 8) mostra que o aumento da CA dos extratos de resíduos de uva foi observado quando as condições intermediárias de processamento da EAU foram utilizadas, como intensidade de ultrassom de 224 W/cm^2 e tempo de aplicação de 6 min. Romero-Díez et al. (2019) encontraram valores de CA mais elevados, com aumento de 195 para 312 $\mu\text{mol ET/g}$ em ORAC quando 55% da amplitude do ultrassom (variação de 10-100%) foi usada por 5 min como pré-tratamento para a extração de polifenóis da borra do vinho. Os autores relataram uma relação direta entre as concentrações polifenólicas e os valores de CA, similar ao observado por Tarone et al. (2021).

De forma semelhante, Muñoz-Labrador et al. (2019) relataram um aumento na CA para a maioria dos ensaios após a aplicação do ultrassom, provavelmente devido ao aumento dos compostos antioxidantes, atribuídos basicamente aos polifenóis, uma vez que o processo de sonicação poderia ter produzido uma quebra dos complexos moleculares dos polifenóis com outras biomoléculas.

Figura 8 - Superfície de resposta da capacidade antioxidante (CA) para a extração assistida por ultrassom de resíduos de uva Isabel



Fonte: O autor (2021).

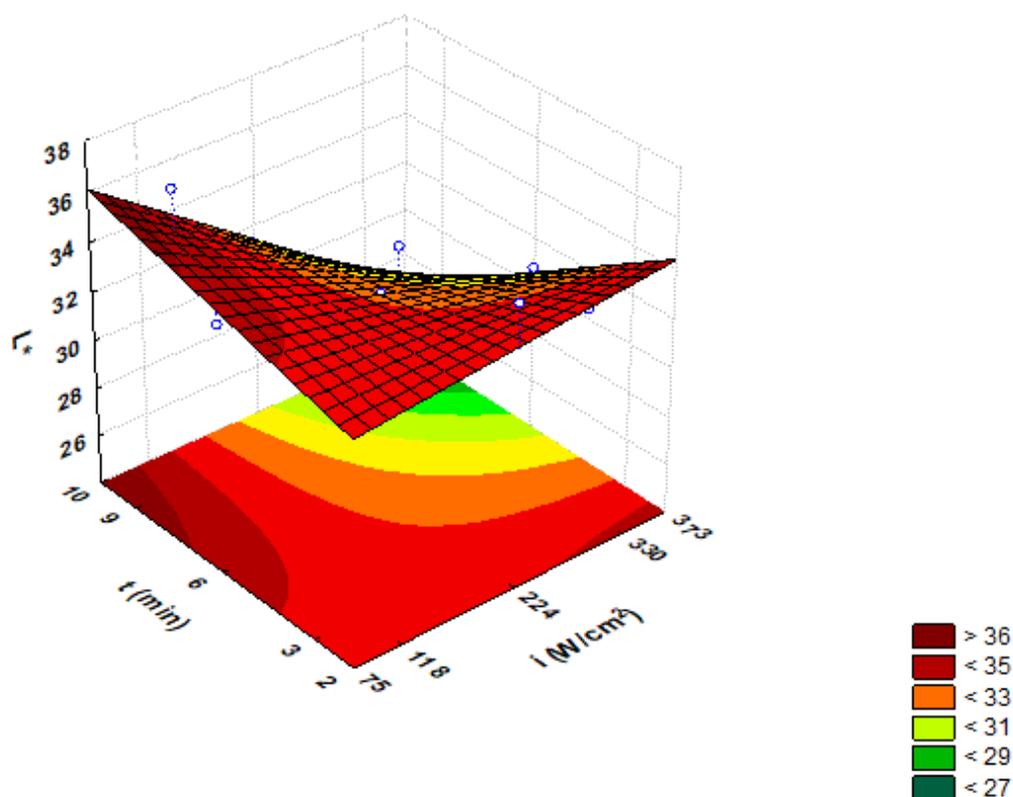
6.1.1.5 Cor

Para os extratos de resíduos de uva obtidos pela EAU, a luminosidade (L^*) não foi significativamente influenciada pelos termos quadráticos da intensidade do ultrassom e sua duração (Tabela 4). Apenas os termos lineares e a interação entre as variáveis foram estatisticamente significantes ($p \leq 0,05$). O termo quadrático do tempo e a interação entre a intensidade do ultrassom e o tempo não foram significativos, enquanto para b^* apenas o termo quadrático do tempo não foi significativo. O teste F na análise de variância (ANOVA) mostrou que todos os modelos apresentaram regressão significativa, exceto a^* (Tabela 5). Portanto, a metodologia de superfície de resposta não foi aplicada para analisar os dados experimentais dessa resposta.

O gráfico de superfície de resposta para L^* (Figura 9) mostra que maiores intensidades e tempo de aplicação do ultrassom resultaram em menores valores do

parâmetro, semelhante ao encontrado por Li et al. (2020b) em vinho de mirtilo, que encontrou uma melhoria nas características de cor e menor aberração cromática em comparação com amostras não tratadas, principalmente na condição de 180 W de sonicação. De acordo com Han et al. (2017), os coeficientes de regressão parcial indicaram que os polifenóis se correlacionaram negativamente com o valor L^* nos vinhos. Fava et al. (2011) encontraram uma diminuição em L^* e croma (C^*) e um aumento nos valores a^* , b^* e ângulo de matiz (h) em uvas (*V. labrusca* L.) cv. Isabella após tratamento de ultrassom com amplitude de 95,2 μm (80%), frequência de 20 kHz e potência de 600 W, indicando que as amostras ficaram mais escuras, mais roxas e opacas.

Figura 9 - Superfície de resposta do L^* para a extração assistida por ultrassom de resíduos de uva Isabel

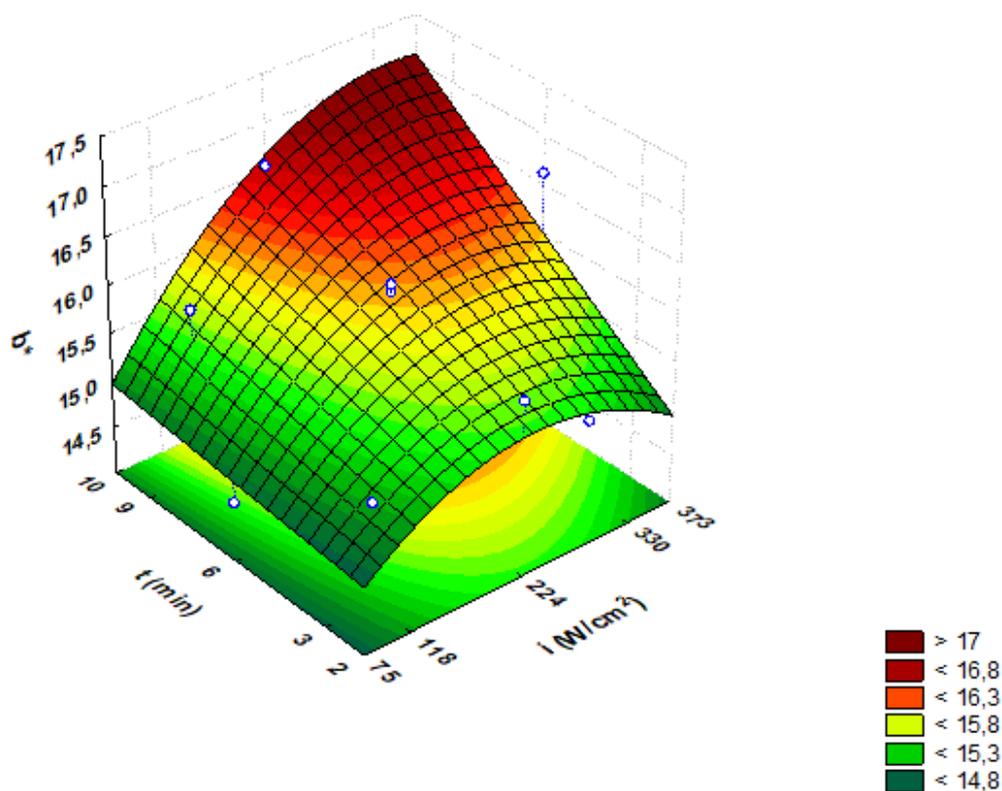


Fonte: O autor (2021).

De acordo com os dados obtidos para a^* (Tabela 3) e com o gráfico da superfície de resposta para b^* (Figura 10), pode-se notar que o aumento dos valores desses parâmetros de cor está relacionado a maiores intensidades e tempo de

aplicação do ultrassom. No suco de uva vermelha, os valores de a^* e b^* aumentaram após tratamento ultrassônico com amplitude de 120 μm , frequência de 24 kHz e potência de 400 W, de forma que as amostras ficaram mais vermelhas, possivelmente devido à maior extração de polifenóis (BERMÚDEZ-AGUIRRE; BARBOSA-CÁNOVAS, 2012).

Figura 10 - Superfície de resposta do b^* para a extração assistida por ultrassom de resíduos de uva Isabel



Fonte: O autor (2021).

Zhang e Wang (2017) estudaram a aplicação do ultrassom em vinhos e demonstraram a capacidade do ultrassom em degradar as paredes celulares, melhorando a extração de antocianinas e outros compostos fenólicos. Ou seja, a irradiação ultrassônica poderia melhorar significativamente a cor do vinho tinto, e isso pode ser devido à produção local e instantânea de altas temperaturas e elevadas pressões causadas pela cavitação acústica que pode gerar os radicais livres e reações em cadeia, resultando em pigmentos mais coloridos.

6.1.1.6 Consumo total de energia

O consumo total de energia (CTE) foi avaliado para verificar o gasto energético da EAU em comparação com a extração convencional. No entanto, os resultados em relação aos efeitos da intensidade do ultrassom e do tempo de processamento no CTE não foram estatisticamente significativos (Tabela 4). Assim, a metodologia de superfície de resposta não foi aplicada para avaliar os dados experimentais.

Como esperado, a partir dos resultados obtidos para a EAU (Tabela 3), maiores tempos de extração e maiores intensidades aumentaram o CTE. Em comparação com a extração convencional (0,02 kWh), o tratamento ultrassônico apresentou maior gasto de energia (0,08 a 0,23 kWh). Embora a extração convencional tenha sido realizada por 15 min em um agitador e a extração assistida por ultrassom tenha sido realizada por 2 a 10 min, o consumo de energia do equipamento de ultrassom foi maior. Kroehnke et al. (2018) observaram que os maiores valores de CTE foram encontrados em amostras submetidas à secagem assistida por ultrassom com três níveis de potência de 75 W, 125 W e 200 W. O consumo de energia do equipamento de ultrassom depende da amplitude e frequência de vibração das ondas ultrassônicas. Quando a frequência ultrassônica é alta, o consumo de energia aumenta (YUAN et al., 2019).

Diante do exposto, após discussão e análise dos resultados da etapa de Extração dos compostos fenólicos do resíduo da uva, pode-se concluir que a metodologia de superfície de resposta demonstrou ser uma técnica eficaz para investigar os efeitos da intensidade do ultrassom e do tempo de processamento nos compostos fenólicos totais, antocianinas totais, taninos totais, capacidade antioxidante, L^* e b^* . O coeficiente de determinação (R^2) para os modelos previstos apresentou boa correlação com os dados experimentais a um nível de confiança de 95%. Maiores amplitudes de ultrassom e tempos de tratamento resultaram em maiores extrações de compostos fenólicos, antocianinas e taninos. A maior capacidade antioxidante esteve relacionada a maiores extrações de polifenóis. Embora o gasto energético tenha sido maior, a extração assistida por ultrassom se mostrou uma técnica eficiente para a recuperação de polifenóis no resíduo da uva 'Isabel'.

6.1.2 Incorporação dos compostos fenólicos do resíduo da uva na manga

Esta etapa do processo teve como objetivo avaliar o efeito das diferentes técnicas de impregnação de polifenóis em manga 'Tommy Atkins' em relação à perda de água, ganho de sólidos, carotenóides totais, compostos fenólicos totais, conteúdo de ácido ascórbico, consumo de energia, cor e firmeza.

6.1.2.1 Perda de água

A variação de umidade e a perda de água das amostras de manga submetidas aos tratamentos de impregnação são apresentadas na Tabela 6. A análise estatística mostrou que houve diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$) entre quase todos os tratamentos avaliados. Os resultados mostraram que a perda de água variou entre valores positivos (perda de água) e valores negativos (ganho de água). Como consequência da perda de água, variações na umidade da amostra foram observadas. Pode-se observar que os resultados de perda de água foram proporcionais à umidade após os tratamentos de impregnação.

Tabela 6 - Umidade, atividade de água, perda de água e ganho de sólidos da manga impregnada com compostos fenólicos de resíduo de uva

Tratamento	Umidade (%)	Atividade de água	Perda de água (%)	Ganho de sólidos (%)
<i>In natura</i>	85,16 ± 0,39 ^a	0,96 ± 0,02 ^a	-	-
IA	86,37 ± 0,33 ^a	0,97 ± 0,01 ^a	0,80 ± 0,72 ^a	0,30 ± 0,13 ^a
IADO	77,82 ± 1,78 ^b	0,96 ± 0,03 ^b	14,55 ± 0,79 ^b	3,98 ± 0,22 ^b
IAUS	87,54 ± 0,26 ^a	0,91 ± 0,01 ^a	-1,21 ± 0,31 ^{ac}	-3,47 ± 0,17 ^c
IAOS	77,91 ± 1,11 ^b	0,90 ± 0,01 ^b	14,66 ± 0,30 ^b	3,38 ± 0,08 ^b
IV	88,91 ± 0,02 ^a	0,98 ± 0,01 ^a	-4,75 ± 0,71 ^c	-4,32 ± 0,09 ^c
IVDO	74,52 ± 1,98 ^c	0,96 ± 0,02 ^b	19,26 ± 1,22 ^d	6,86 ± 0,42 ^d
IVUS	88,40 ± 0,22 ^a	0,89 ± 0,01 ^a	-2,92 ± 0,38 ^{ac}	-3,98 ± 0,05 ^c
IVOS	75,84 ± 1,88 ^{bc}	0,89 ± 0,01 ^b	19,78 ± 0,69 ^d	5,17 ± 0,22 ^e

Legenda: IA: Impregnação à pressão atmosférica; IADO: Impregnação à pressão atmosférica assistida por desidratação osmótica; IAUS: impregnação à pressão atmosférica assistida por ultrassom; IAOS: Impregnação à pressão atmosférica assistida por osmossonicação; IV: Impregnação a vácuo; IVDO: Impregnação a vácuo assistida por desidratação osmótica; IVUS: Impregnação a vácuo assistida por ultrassom; IVOS: Impregnação a vácuo assistida por osmossonicação; BS: base

seca. Amostras com a mesma letra na mesma coluna não mostraram diferença estatisticamente significativa para seus valores médios com nível de confiança de 95%. Fonte: O autor (2021).

Entre todos os tratamentos, maior perda de água (19,26 e 19,78%) e menor umidade (74,52 e 75,84%) foram observadas quando a desidratação osmótica foi utilizada nos experimentos de impregnação a vácuo (IVDO e IVOS). Sulistyawati et al. (2018) encontraram perda de água em torno de 29,44% com a aplicação de pré-tratamento a vácuo e desidratação osmótica (60% de sacarose) na manga. A aplicação do vácuo durante a desidratação osmótica provoca a redução da pressão e provoca a liberação do ar ocluído nos espaços intercelulares dos alimentos. Quando a pressão atmosférica é restaurada, os espaços intercelulares vazios são preenchidos com a solução osmótica (FENG et al., 2019).

Por outro lado, no tratamento IVUS, pode-se observar ganho de água (2,92%) e aumento de umidade das amostras em cerca de 3,80%, semelhante ao observado em Azoubel et al. (2010), com aumento de 5,17% da umidade em banana após tratamento ultrassônico durante 30 min. Silva et al. (2016) também encontraram aumento da umidade das amostras, com ganho de água em torno de 14,22% após tratamento com combinação de ultrassom e vácuo no melão. Com a operação simultânea de vácuo e ultrassom, os poros das frutas se expandem mais e resultam em maior transferência de massa devido ao mecanismo hidrodinâmico e o fenômeno de relaxamento-deformação como resultado da aplicação do vácuo, bem como o efeito do ultrassom na cavitação acústica, aquecimento local e efeito esponja (YILMAZ; BILEK, 2018).

No tratamento IV, pode-se notar que houve ganho de água (4,75%) e consequente aumento de cerca de 4,40% na umidade em relação à fruta fresca. Da mesma forma, a impregnação a vácuo de derivados de quercetina em fatias de maçã resultou no aumento da umidade da amostra (SCHULZE; HUBBERMANN; SCHWARZ, 2014). Lima et al. (2016) encontraram um aumento de umidade de 15,19% em relação às frutas frescas após impregnação de cálcio no abacaxi, resultante da captação de água durante a aplicação a vácuo. Occhino et al. (2011) afirmaram que o aumento da absorção de água em abobrinha ocorreu em decorrência do mecanismo hidrodinâmico e do fenômeno de deformação induzido pela queda de pressão causada pela impregnação a vácuo.

A combinação de vácuo, ultrassom e desidratação osmótica apresentou elevada perda de água (19,78%), com redução da umidade em 10,94%. Silva et al. (2016) encontraram perda de água em torno de 22,71% no melão após tratamento com a combinação de vácuo (cerca de 0,02 a 0,03 MPa), ultrassom (25kHz por 30 min) e desidratação osmótica (50% de sacarose). Esses autores afirmaram que o vácuo, que reduz a pressão do sistema, e o ultrassom, que acelera as taxas de transferência de água, eram interessantes para redução de umidade em melões imersos em soluções de sacarose.

6.1.2.2 Ganho de sólidos

Os ganhos de sólidos das amostras submetidas aos tratamentos de impregnação são apresentados na Tabela 6. Os experimentos IVDO apresentaram o maior ganho de sólidos entre todos os ensaios ($p < 0,05$), com incremento de 6,86%, comportamento semelhante ao obtido por Sulistyawati et al. (2018) para manga e Silva et al. (2016) para melão. Durante a IVDO, a redução da pressão levou à expansão e oclusão dos gases nos poros da fruta. Conforme a pressão é restaurada, os poros podem ser preenchidos com solução osmótica, aumentando assim a área de superfície para transferência de massa (AHMED; QAZI; JAMAL, 2016).

Nos experimentos IV e IVUS, houve valores negativos de ganho de sólidos, indicando que a amostra perdeu sólidos solúveis para o meio líquido, com perdas de 4,32% (IV) e 3,98% (IVUS). Esse resultado era esperado devido ao gradiente de concentração de sólidos solúveis entre a amostra e o extrato aquoso que favorece a transferência de massa de sólidos solúveis do produto para o meio líquido (GOULA; KOKOLAKI; DAFTSIU, 2017). Silva et al. (2016) encontraram comportamento semelhante no melão, com perda significativa de sólidos solúveis após tratamento a vácuo e/ou ultrassônico. Lima et al. (2016) observaram que a aplicação de vácuo promoveu uma rápida expulsão do ar aprisionado nos poros da fruta, causando perdas visíveis de uma pequena parte do tecido da fruta.

Os experimentos com IVOS mostraram um aumento no ganho de sólidos de cerca de 5,17%. Silva et al. (2016) observaram tendência semelhante na associação do pré-tratamento com vácuo, desidratação osmótica e ultrassom no melão. Esses autores relataram que a formação de microcanais nos estágios iniciais do pré-tratamento facilitou a transferência de massa da solução osmótica através do tecido

vegetal. Além disso, a taxa de absorção de sólidos é aumentada pelo uso do vácuo, que promove a entrada da solução nos poros da fruta.

6.1.2.3 Carotenóides totais

O teor de carotenóides totais na amostra fresca de manga foi de 4,09 µg/g em base úmida (35,58 µg/g em base seca) (Tabela 7), inferior ao encontrado por Medeiros et al. (2016) em amostras de manga 'Tommy Atkins' (41,04 µg/g base seca). Esta variação nas concentrações de carotenóides do fruto pode ser influenciada pela variedade, maturação, condições de crescimento do fruto e estação do ano (LUCHESE; GURAK; MARCZAK, 2015).

Tabela 7 - Carotenóides totais, compostos fenólicos e ácido ascórbico de manga impregnada com compostos fenólicos de resíduo de uva

Tratamento	Carotenóides totais (µg/g BS)	Fenólicos totais (mg EAG/g BS)	Ácido ascórbico (mg/100 g BS)
<i>In natura</i>	35,58 ± 0,98 ^a	1,64 ± 0,49 ^a	97,43 ± 2,11 ^a
IA	34,78 ± 2,62 ^a	4,33 ± 0,24 ^b	18,41 ± 0,56 ^{bc}
IADO	27,37 ± 0,36 ^b	3,22 ± 0,08 ^c	11,90 ± 0,27 ^d
IAUS	33,54 ± 0,24 ^a	5,52 ± 0,47 ^d	25,57 ± 0,46 ^{ef}
IAOS	28,80 ± 0,98 ^{bc}	2,54 ± 0,26 ^{ac}	22,32 ± 0,33 ^{eg}
IV	34,53 ± 1,61 ^a	7,74 ± 0,56 ^e	40,97 ± 0,62 ^h
IVDO	32,71 ± 0,68 ^{ab}	3,34 ± 0,17 ^c	16,22 ± 1,13 ^b
IVUS	33,07 ± 0,30 ^{ab}	6,29 ± 0,21 ^d	28,29 ± 0,86 ^f
IVOS	29,38 ± 0,54 ^{bc}	2,21 ± 0,10 ^{ac}	21,34 ± 1,04 ^{cg}

Legenda: IA: Impregnação à pressão atmosférica; IADO: Impregnação à pressão atmosférica assistida por desidratação osmótica; IAUS: impregnação à pressão atmosférica assistida por ultrassom; IAOS: Impregnação à pressão atmosférica assistida por osmossonicação; IV: Impregnação a vácuo; IVDO: Impregnação a vácuo assistida por desidratação osmótica; IVUS: Impregnação a vácuo assistida por ultrassom; IVOS: Impregnação a vácuo assistida por osmossonicação; BS: base seca. Amostras com a mesma letra na mesma coluna não mostraram diferença estatisticamente significativa para seus valores médios com nível de confiança de 95%. Fonte: O autor (2021).

A análise estatística mostrou que não houve diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$) entre os tratamentos IA, IAUS, IV, IVDO e IVUS em relação às frutas frescas. O tratamento IADO (27,37 µg/g BS) apresentou perda significativa

de carotenóides ($p < 0,05$), com redução de 23,07% em relação ao controle (fruta fresca). Jiménez-Hernández et al. (2017) encontraram uma redução do β -caroteno de 18,36% na IADO (60g de sacarose/100g de solução) de manga com inulina e pimenta-piquin. Azoubel et al. (2015) encontraram redução de 42,57% nos carotenóides de mamão seco após desidratação osmótica como pré-tratamento com solução de sacarose (56 g de sacarose/100 g de solução). Os autores relataram que essa perda pode estar parcialmente associada à difusão dos pigmentos da fruta na solução. Esse fato é corroborado por Feng et al. (2019), que observaram que a desidratação osmótica em frutas pode causar perda de alguns componentes dos alimentos em soluções osmóticas, resultando em redução na taxa de retenção desses componentes.

Houve tendência de perda de carotenóides nas impregnações com a associação de tratamento osmótico e ultrassom (osmosonicação) nos dois tipos de impregnação (IA e IV). As amostras IAOS (28,80 $\mu\text{g/g}$ BS) e IVOS (29,38 $\mu\text{g/g}$ BS) apresentaram perda significativa de carotenóides ($p < 0,05$), com redução de 19,05 e 17,42% em relação ao controle, respectivamente. Azoubel et al. (2015) encontraram uma redução de 35,11% ($p < 0,05$) em carotenóides de mamão desidratados (em comparação com a amostra de controle desidratada) após a combinação de desidratação osmótica (56 g de sacarose/solução de 100 g) e ultrassom na frequência de 25 kHz por 20 min como pré-tratamento à secagem. No estudo de Yilmaz e Bilek (2018), mais compostos bioativos foram lixiviados ou extraídos durante a IVUS maçã com cálcio e fenólicos do suco de cenoura preta.

O mecanismo hidrodinâmico e os fenômenos de deformação-relaxamento que ocorrem no processo de impregnação a vácuo podem determinar danos mecânicos no tecido vegetal e deixar alguns compostos nativos mais expostos (NERI et al., 2016). Associado a esse processo, a extração dos compostos pode ser potencializada pelo uso de ondas ultrassônicas, aumento este atribuído à cavitação que pode ser gerada na fase líquida. Como as forças de cisalhamento geradas pela cavitação excedem as tensões superficiais, ocorrem a erosão superficial das microestruturas, a fragmentação dos tecidos, a melhora na transferência de massa devido à formação de microcanais (gerados pela cavitação) e aquecimento local (gerado pelo tremor molecular) (YAO, 2016). Assim, os efeitos mencionados acima podem ser caracterizados como razões para aumento da extração durante a impregnação a vácuo (YILMAZ; BILEK, 2018).

6.1.2.4 Compostos fenólicos totais

O teor de composto fenólico total de manga fresca foi de 0,13 mg EAG/g base úmida (1,64 mg EAG/g BS) (Tabela 7). Medeiros et al. (2016) encontraram 2,95 mg de EAG/g BS em manga 'Tommy Atkins'. O aumento do teor fenólico dos tratamentos de impregnação resultou da incorporação de polifenóis do extrato de bagaço de uva. A concentração final de polifenóis no extrato concentrado do resíduo de uva foi cerca de $1.232,75 \pm 80,76$ mg de equivalente de ácido gálico (EAG)/100 mL.

A ANOVA e o teste de Tukey mostraram que houve diferença estatística ($p < 0,05$) entre os tratamentos (PA e PV). Como esperado, todos os experimentos apresentaram valores elevados de compostos fenólicos após a impregnação em ambos os tipos de impregnação, exceto para os tratamentos osmosônicos ($p < 0,05$). Nos ensaios de PA, as maiores taxas de incorporação fenólica foram obtidas nos tratamentos IA (4,33 mg EAG/g BS) e IAUS (5,52 mg EAG/g BS). Em relação às amostras submetidas ao PV, as principais melhorias foram obtidas nos ensaios IV (7,74 mg EAG/g BS) e IVUS (6,29 mg EAG/g BS).

Não houve diferença significativa entre os tratamentos osmóticos isolados (IADO e IVDO), independente do tipo de impregnação ($p < 0,05$). Esses testes mostraram um aumento na taxa de impregnação de compostos fenólicos em ambos os tipos de impregnação. IADO e IVDO apresentaram aumento de 96,34% (3,22 mg EAG/g BS) e 103,66% (3,34 mg EAG/g BS), respectivamente. Rascón et al. (2018) obtiveram resultados satisfatórios com impregnação assistida por desidratação osmótica de lactobacilos em banana. De acordo com Jiménez-Hernández et al. (2017), a impregnação assistida por desidratação osmótica pode ser usada com sucesso para impregnar manga com inulina e pimenta-piquin. Além disso, Moreno et al. (2012) relataram que a aplicação de vácuo durante a desidratação osmótica melhora a cinética de transferência de massa, aumenta a taxa de perda de água e ganho de sólidos e introduz quantidades controladas de uma solução na estrutura porosa dos frutos.

A aplicação isolada de ultrassom foi capaz de aumentar os valores de compostos fenólicos na manga. IAUS e IVUS resultaram em maiores valores de incorporação de compostos fenólicos nos dois tipos de impregnação ($p < 0,05$), com aumento de 226,58% (5,52 mg EAG/g BS) e 283,54% (6,29 mg EAG/g BS), respectivamente. Yilmaz e Bilek (2018) relataram que a aplicação ultrassônica

durante a impregnação a vácuo de compostos fenólicos de cenoura preta e cálcio na maçã teve um efeito significativo na infusão de compostos bioativos ($p < 0,05$). A aplicação do ultrassom aumentou a transferência de massa durante a impregnação a vácuo, devido ao papel significativo do vácuo no mecanismo hidrodinâmico e no fenômeno de relaxação-deformação, e à cavitação, ao aquecimento local e ao efeito esponja, como resultado do ultrassom.

As amostras submetidas ao vácuo isolado durante a impregnação obtiveram maiores valores de incorporação fenólica (7,74 mg EAG/g BS) quando comparadas às amostras submetidas à pressão atmosférica (4,33 mg EAG/g BS) ($p < 0,05$), o que mostra que a aplicação do vácuo é mais eficiente na impregnação de compostos fenólicos da manga. A impregnação a vácuo foi realizada com sucesso em outros trabalhos, como a impregnação de antocianinas de suco de mirtilo em maçã (CASTAGNINI et al., 2015), impregnação de derivados de quercetina em fatias de maçã (SCHULZE et al., 2014) e impregnação de flavonóides de suco de tangerina na maçã (BETORET et al., 2012).

A combinação de ultrassom e tratamentos osmóticos (osmosônicos) na impregnação não mostrou diferença significativa entre os ensaios e o controle ($p < 0,05$). A aplicação isolada de desidratação osmótica ou ultrassom na impregnação de PA e PV foi mais efetiva na incorporação de compostos fenólicos na manga do que em combinação.

6.1.2.5 Ácido ascórbico

A manga 'Tommy Atkins' fresca apresentou 11,21 mg/100 g base úmida (97,43 mg/100g BS) (Tabela 7). Batista et al. (2018) e Ribeiro et al. (2015) encontraram maiores concentrações de ácido ascórbico na polpa de manga 'Tommy Atkins' em base úmida (31,97 mg/100 g e 50,60 mg/100 g, respectivamente). As diferenças entre os valores de ácido ascórbico podem estar relacionadas ao estágio de maturação da manga, às condições de crescimento e ao clima (BATISTA et al., 2018).

Os testes estatísticos mostraram que existiu diferença significativa ($p < 0,05$) entre os tratamentos. Observou-se que o teor de ácido ascórbico da manga reduziu consideravelmente ($p < 0,05$) para todos os ensaios de impregnação. Este fato possivelmente pode estar associado ao seu caráter hidrofílico que fez com que fosse facilmente perdida pelo contato da amostra com o extrato aquoso rico em compostos

fenólicos de resíduo de uva. Nos ensaios de PA, as maiores taxas de retenção de ácido ascórbico foram obtidas nos tratamentos IAUS (25,57 mg/100g BS) e IAOS (22,32 mg/100g BS). Em relação às amostras submetidas à PV, maiores retenções foram obtidas no IV (40,97 mg/100 g BS) e IVUS (28,29 mg/100 g BS).

Todas as impregnações a vácuo apresentaram maiores valores de retenção de ácido ascórbico em relação à impregnação à pressão atmosférica, exceto na combinação de tratamento osmótico e ultrassom, que não apresentou diferença significativa ($p < 0,05$). Song et al. (2017) observaram maior retenção de ácido ascórbico na impregnação a vácuo de maltose em fatias de raiz de lótus à medida que pressões de vácuo mais altas foram utilizadas. Silva Júnior et al. (2018) encontraram menores perdas de ácido ascórbico na produção de mamão desidratado após aplicação a vácuo. Os autores justificam esse fato pelo menor contato do ácido ascórbico com o oxigênio livre, evitando a oxidação.

A desidratação osmótica, em ambos os tipos de impregnação, apresentou menor retenção de ácido ascórbico ($p < 0,05$). IADO e IVDO apresentaram retenção de 12,21% (11,90 mg/100g BS) e 16,65% (16,22 mg/100g BS), respectivamente. Jiménez-Hernández et al. (2017) encontraram retenção de 52,64% de ácido ascórbico em manga após 30 min de desidratação osmótica (60 g de sacarose/100 g de solução). Silva et al. (2012) relataram retenção de cerca de 17,5% de ácido ascórbico em pimenta seca previamente submetida à desidratação osmótica (30 g de sacarose e cloreto de sódio na proporção de 1: 3/100 g de solução) como pré-tratamento à secagem. A menor retenção de ácido ascórbico encontrada neste estudo foi associada à migração do ácido ascórbico para a solução osmótica.

Em relação aos níveis de ácido ascórbico com impregnação assistida por ultrassom, os dois tipos de impregnação (IAUS e IVUS) mostraram que o ultrassom reduziu a perda de ácido ascórbico ($p < 0,05$). Comportamento semelhante foi observado em relação ao aumento da incorporação de compostos fenólicos discutido na sessão anterior. A associação de vácuo e ultrassom resultou em amostras com menores perdas de ácido ascórbico na produção de mamão seco (SILVA JÚNIOR et al., 2018) e cenoura seca (CHEN; GUO; WU, 2016).

A combinação de ultrassom e tratamentos osmóticos (osmose) resultou na retenção de ácido ascórbico na manga impregnada em cerca de 22,82% no IAOS e 21,90% no IVOS, entretanto, não houve diferença significativa entre os ensaios ($p < 0,05$). Conforme descrito anteriormente, a aplicação isolada de ultrassom e a

combinação de desidratação osmótica e ultrassom nas impregnações PA e PV mostraram melhores resultados de retenção de ácido ascórbico. Por outro lado, a desidratação osmótica isolada apresentou menor retenção de ácido ascórbico em ambos os tipos de impregnação.

6.1.2.6 Consumo total de energia

O consumo de energia total foi avaliado para verificar o gasto energético de diferentes formas de impregnação de compostos fenólicos de resíduo de uva em manga 'Tommy Atkins' (Tabela 8). Segundo São José et al. (2014), recentemente aumentou o interesse por novos métodos de processamento para garantir a preservação dos alimentos e a manutenção do valor nutricional dos alimentos com menor consumo de energia.

Tabela 8 - Consumo total de energia e firmeza da manga impregnada com compostos fenólicos de bagaço de uva

Tratamento	Consumo energético total (kWh)	Firmeza (N)
<i>In natura</i>	-	13,16 ± 1,92 ^a
IA	0,00 ± 0,00 ^a	13,01 ± 0,89 ^a
IADO	0,00 ± 0,00 ^a	7,40 ± 0,89 ^{bc}
IAUS	0,03 ± 0,00 ^b	5,61 ± 0,86 ^{bd}
IAOS	0,03 ± 0,00 ^b	11,61 ± 0,93 ^a
IV	0,05 ± 0,00 ^c	9,01 ± 0,97 ^c
IVDO	0,05 ± 0,00 ^c	5,01 ± 0,78 ^{bd}
IVUS	0,09 ± 0,00 ^d	3,69 ± 0,74 ^d
IVOS	0,09 ± 0,00 ^d	9,06 ± 0,63 ^c

Legenda: IA: Impregnação à pressão atmosférica; IADO: Impregnação à pressão atmosférica assistida por desidratação osmótica; IAUS: impregnação à pressão atmosférica assistida por ultrassom; IAOS: Impregnação à pressão atmosférica assistida por osmossonicação; IV: Impregnação a vácuo; IVDO: Impregnação a vácuo assistida por desidratação osmótica; IVUS: Impregnação a vácuo assistida por ultrassom; IVOS: Impregnação a vácuo assistida por osmossonicação; BS: base seca. Amostras com a mesma letra na mesma coluna não mostraram diferença estatisticamente significativa para seus valores médios com nível de confiança de 95%. Fonte: O autor (2021).

Os testes estatísticos mostraram que existe diferença ($p < 0,05$) entre os tratamentos. Amami et al. (2017) demonstraram que o tratamento osmótico é uma

técnica que tem recebido muita atenção nos últimos anos por ser uma tecnologia de baixo custo e capaz de reduzir o consumo de energia. Os maiores consumos de energia foram obtidos com a utilização do ultrassom associado ao vácuo (IVUS e IVOS) ($p < 0,05$), devido à utilização de ambos os equipamentos conectados à rede elétrica. Kroehnke et al. (2018) observaram que os maiores consumos de energia foram encontrados em amostras submetidas à secagem assistida por ultrassom em comparação com a secagem convectiva e secagem assistida por microondas.

6.1.2.7 Firmeza

Um dos principais parâmetros de qualidade da manga é a firmeza, que está extremamente associada à aceitabilidade da fruta (CORTÉS et al., 2017). Como pode ser visto na Tabela 8, a firmeza das amostras de manga foi de 13,16 N, resultado semelhante ao encontrado por Vasconcelos et al. (2019) em manga Tommy Atkins.

Os testes estatísticos mostraram diferença estatística ($p < 0,05$) entre os tratamentos. Porém, não houve diferença significativa entre as amostras frescas e IA ($p < 0,05$), pois as amostras foram apenas imersas no extrato polifenólico aquoso, sem desidratação osmótica, vácuo e/ou ultrassom, o que pode interferir na estrutura das paredes celulares da matéria-prima. Neste caso, a força máxima necessária para perfurar a amostra foi comparável à amostra fresca.

O processo de impregnação dos compostos fenólicos resultou em alterações na firmeza das amostras. Os ensaios do grupo PV apresentaram menores valores de firmeza quando comparados aos ensaios do grupo PA. Neri et al. (2016) observaram uma redução na firmeza da maçã após a impregnação a vácuo com diferentes soluções de carboidratos. Na impregnação a vácuo, a perda de firmeza está relacionada a fenômenos de deformações e à transferência de massa induzida por mudanças de pressão (FITO et al., 1996). A aplicação de vácuo causa expansão e liberação do gás interno ocluído, o que causa um aumento no volume da amostra. Esses eventos podem afetar negativamente as paredes celulares, a lamela medial e o plasmalema das estruturas celulares (OCCHINO et al., 2011). As substituições gasosas inter e intracelulares com a solução de impregnação, que possui uma viscosidade superior a do gás interno, podem influenciar positivamente a consistência e a turgidez do produto. Esses fenômenos podem explicar a menor variação da energia total em relação à força máxima (NERI et al., 2016).

O tratamento osmótico resultou em amostras mais macias, tanto no IADO (7,40 N) quanto no IVDO (5,01 N) ($p < 0,05$), cuja redução na firmeza ficou entre 43,77% e 61,93%, respectivamente. Corroborando com nosso estudo, Allahdad et al. (2019) encontraram uma redução de 33% na firmeza da romã após a desidratação osmótica (concentração de 50 g de sacarose/100 g de solução). Nowacka et al. (2017) encontraram uma redução de 18% na força máxima necessária para penetrar no kiwi após a desidratação osmótica (12 g de concentração de sacarose/100 g de solução). No estudo de Feng et al. (2019), a textura das fatias de alho tornou-se mais macia após a desidratação osmótica, o que pode ter ocorrido devido ao encolhimento citoplasmático das células desidratadas do alho.

Em ambos os tipos de impregnação (PA e PV), o uso do ultrassom (IAUS e IVUS) resultou em amostras com texturas mais suaves entre todos os testes ($p < 0,05$). IAUS (5,61 N) e IVUS (3,69 N) tiveram redução na firmeza de 53,37 e 71,96%, respectivamente. Medeiros et al. (2016) encontraram redução de 52,60% na firmeza de mangas 'Tommy Atkins' pré-tratadas com ultrassom na frequência de 25 kHz por 60 min. Em um trabalho com kiwi, a firmeza da amostra tratada ultrassonicamente foi menor em comparação com o controle (NOWACKA et al., 2017). Em frutas sonicadas, a maioria das paredes celulares é quebrada durante a vibração ultrassônica e a formação de microcanais no tecido da planta favorece a formação de um produto mais macio (VILLAMIEL et al., 2017).

O teste de Tukey não mostrou diferença significativa entre as amostras IAOS e a fresca em relação à textura ($p < 0,05$). Barman e Badwaik (2017) encontraram um resultado semelhante na desidratação osmótica assistida por ultrassom de fatias de carambola em solução de sacarose (concentração de 73 g de sacarose/solução de 100 g). Por outro lado, a amostra IVOS apresentou redução da firmeza (31,15%) em relação ao controle. De acordo com Feng et al. (2019), as amostras de alho pré-tratadas com vácuo acoplado à desidratação osmótica assistida por ultrassom (VDOUS) (3,29 N) tiveram valores de firmeza significativamente menores ($p < 0,05$) do que a desidratação osmótica assistida por ultrassom (DOUS) (4,18 N). Os autores sugeriram que isso pode ser atribuído à maior perda de água e ao maior rompimento celular encontrado em amostras tratadas com VDOUS do que com DOUS.

6.1.2.8 Cor

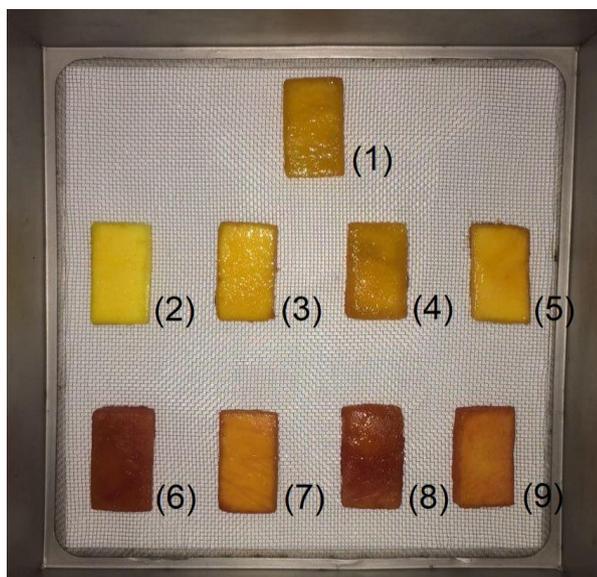
Os parâmetros de cor da polpa de manga Tommy Atkins foram 79,50, 7,81 e 49,96, para L*, a* e b*, respectivamente, como pode ser visto na Tabela 9. Resultados semelhantes foram encontrados por Romainum et al. (2018) para mangas maduras com valores de 72,3 (L*), 7,0 (a*) e 57,1 (b*). Esses resultados demonstram que a manga apresenta coloração amarela intensa, refletindo o alto teor de carotenóides, sendo o principal pigmento responsável pela coloração amarelo-laranja das mangas maduras. A figura 11 mostra imagens das amostras de manga *in natura* e impregnadas.

Tabela 9 – Cor (L*, a*, b* e DTC) da manga impregnada com fenólicos de uva

Tratamento	L*	a*	b*	DTC
<i>In natura</i>	79,50 ± 2,51 ^a	7,81 ± 0,20 ^a	49,96 ± 1,41 ^a	-
IA	62,24 ± 2,34 ^b	13,04 ± 0,19 ^{bc}	49,06 ± 1,78 ^a	18,06 ± 0,82 ^a
IADO	60,69 ± 0,87 ^{bc}	7,55 ± 0,06 ^{ad}	42,91 ± 0,71 ^{bc}	20,10 ± 0,48 ^a
IAUS	63,44 ± 0,35 ^b	13,97 ± 0,67 ^c	48,66 ± 1,77 ^a	17,26 ± 1,72 ^a
IAOS	69,57 ± 1,34 ^d	6,19 ± 0,73 ^d	42,23 ± 0,93 ^b	12,70 ± 0,02 ^b
IV	44,00 ± 0,78 ^e	12,37 ± 0,81 ^b	37,92 ± 0,19 ^d	37,77 ± 0,49 ^c
IVDO	50,44 ± 1,57 ^f	6,97 ± 0,68 ^{ad}	42,98 ± 1,06 ^{bc}	29,95 ± 0,39 ^d
IVUS	43,53 ± 1,28 ^e	12,42 ± 0,53 ^b	26,32 ± 1,18 ^e	43,34 ± 0,11 ^e
IVOS	58,48 ± 0,80 ^c	4,10 ± 0,48 ^e	44,62 ± 0,95 ^c	22,01 ± 0,03 ^f

Legenda: IA: Impregnação à pressão atmosférica; IADO: Impregnação à pressão atmosférica assistida por desidratação osmótica; IAUS: impregnação à pressão atmosférica assistida por ultrassom; IAOS: Impregnação à pressão atmosférica assistida por osmossonicação; IV: Impregnação a vácuo; IVDO: Impregnação a vácuo assistida por desidratação osmótica; IVUS: Impregnação a vácuo assistida por ultrassom; IVOS: Impregnação a vácuo assistida por osmossonicação; DTC: diferença total de cor; BS: base seca. Amostras com a mesma letra na mesma coluna não mostraram diferença estatisticamente significativa para seus valores médios com nível de confiança de 95%.
Fonte: O autor (2021).

Figura 11 – Amostras de manga após impregnação com compostos fenólicos de resíduo de uva



Legenda: (1): *in natura*; (2): Impregnação à pressão atmosférica (IA); (3): Impregnação à pressão atmosférica assistida por desidratação osmótica (IADO); (4): impregnação à pressão atmosférica assistida por ultrassom (IAUS); (5): Impregnação à pressão atmosférica assistida por osmossonicação (IAOS); (6): Impregnação a vácuo (IV); (7): Impregnação a vácuo assistida por desidratação osmótica (IVDO); (8): Impregnação a vácuo assistida por ultrassom (IVUS); (9): Impregnação a vácuo assistida por osmossonicação IVOS. Fonte: O autor (2021).

Os testes estatísticos mostraram diferenças estatísticas ($p < 0,05$) entre os tratamentos após a impregnação dos compostos fenólicos do resíduo da uva na manga. O extrato do resíduo da uva (vermelho-púrpura) apresentou os seguintes valores dos parâmetros de cor: L^* (30,98), a^* (33,01) e b^* (17,84). Desta forma, todos os experimentos de impregnação apresentaram redução da luminosidade. Os experimentos de PV apresentaram valores de luminosidade menores em relação ao PA. Uma relação inversamente proporcional entre L^* e os conteúdos de compostos fenólicos incorporados pode ser observada. Castagnini et al. (2015) encontraram uma redução considerável ($p < 0,05$) de L^* após a impregnação a vácuo de suco de mirtilo em maçã. Schulze et al. (2014) relataram que o escurecimento resultante da impregnação a vácuo foi causado pela solução de impregnação, que consistia no extrato da casca da maçã (cor marrom) dissolvido no suco de maçã. A transferência da solução marrom e a oclusão de ar do tecido poroso da maçã foram relacionadas ao aumento do escurecimento.

O parâmetro a^* indica variação de cor na faixa entre vermelho e verde. Dessa forma, reflete a incorporação de compostos fenólicos do resíduo da uva na manga. Os resultados de a^* foram diretamente proporcionais aos conteúdos fenólicos após a impregnação. Houve tendência de aumento do a^* nos testes com maior impregnação de compostos fenólicos. Da mesma forma, Yilmaz e Bilek (2018) encontraram um aumento de a^* após a impregnação a vácuo de fenóis de cenoura preta na maçã. Schulze et al. (2014) encontraram aumento de a^* em maçã impregnada a vácuo com suco de casca de maçã rico em flavonóides.

O parâmetro b^* indica variação de cor na faixa entre amarelo e azul e, em mangas, reflete principalmente o conteúdo de carotenóides presentes na fruta (RUMAINUM et al., 2018). Após a impregnação do extrato de resíduo de uva, os valores de b^* apresentaram redução considerável ($p < 0,05$), exceto nas amostras IA e IAUS. Castagnini et al. (2015) encontraram uma redução considerável ($p < 0,05$) de b^* após a impregnação a vácuo do suco de mirtilo em maçã. As amostras de IV e IVUS apresentaram maiores retenções de carotenóides, portanto, espera-se que os valores de b^* sejam maiores. No entanto, os menores valores de b^* foram encontrados nessas amostras. A possível explicação para isso é o melhor desempenho desses tratamentos na incorporação de compostos fenólicos, o que resultou em amostras com maiores teores fenólicos do resíduo da uva, confirmados pelos valores de a^* .

Variações na cor das amostras podem ser avaliadas de forma global pelo DTC, que reflete o cálculo da combinação dos parâmetros L^* , a^* e b^* . As amostras apresentaram mudanças consideráveis de cor após a impregnação, principalmente aquelas com maior incorporação de compostos fenólicos (IV e IVUS). Yilmaz e Bilek (2018) encontraram maiores valores de DTC nas amostras com maior porcentagem de incorporação de concentrado de cenoura preta no parênquima da maçã após impregnação a vácuo.

Diante do exposto, após discussão e análise dos resultados da etapa de Incorporação dos compostos fenólicos do resíduo da uva na manga, pode-se concluir que os experimentos com vácuo apresentaram os melhores resultados em termos de carotenóides, compostos fenólicos totais, ácido ascórbico, cor e firmeza. A impregnação (pressão atmosférica e vácuo) assistida por desidratação osmótica apresentou resultados positivos em relação à incorporação de polifenóis na manga, mas negativos em relação aos carotenóides e ácido ascórbico. A impregnação

assistida por ultrassom (pressão atmosférica e vácuo) apresentou resultados satisfatórios em todos os parâmetros avaliados. A impregnação (pressão atmosférica e vácuo) assistida por osmosonicação apresentou maiores perdas de carotenóides, um ligeiro aumento na incorporação de compostos fenólicos e maior retenção de ácido ascórbico nas amostras de manga impregnadas com compostos fenólicos de resíduo de uva. Embora o gasto energético total tenha sido maior, os testes de impregnação a vácuo e de impregnação a vácuo assistida por ultrassom apresentaram melhor desempenho em relação à retenção de carotenóides e ácido ascórbico, maior incorporação de polifenóis do resíduo da uva pela manga, com maior alteração de cor devido à presença de extrato de resíduo de uva e uma firmeza mais macia quando comparada às amostras não tratadas.

6.1.3 Desidratação da manga enriquecida com compostos fenólicos da uva sob diferentes métodos de impregnação

Esta etapa do processo teve como objetivo avaliar o efeito da secagem convectiva das amostras de manga submetidas aos tratamentos de impregnação com pressão de vácuo (IV, IVDO, IVUS e IVOS). Esses ensaios foram selecionados em razão dos melhores resultados na etapa de impregnação dos compostos fenólicos de resíduo de uva na manga. As amostras de manga secas impregnadas com polifenóis de resíduo de uva foram avaliadas em relação ao tempo de secagem, atividade de água, fenólicos totais, carotenóides totais e teores de ácido ascórbico, firmeza e análise sensorial.

6.1.3.1 Secagem

Alterações nas taxas de secagem foram observadas nas amostras secas pré-tratadas (Tabela 10). As mangas foram desidratadas até a umidade final de 0,3 kg água/kg matéria seca (25% de umidade), máximo permitido para frutas secas de acordo com a legislação brasileira (BRASIL, 2005). O tempo necessário para atingir a umidade necessária durante a secagem da manga não tratada (controle) foi cerca de 78 min. Tempos de secagem mais curtos foram obtidos nas amostras IV (67 min), IVDO (71 min), IVUS (55 min) e IVOS (64 min).

Tabela 10 – Tempo de secagem e atividade de água das amostras secas impregnadas com polifenóis de resíduo de uva

Tratamento	Tempo de secagem (min)	Atividade de água
<i>In natura</i>	-	0,96 ± 0,02 ^a
Controle	78	0,48 ± 0,02 ^b
IV	67	0,46 ± 0,03 ^b
IVDO	71	0,49 ± 0,22 ^b
IVUS	55	0,50 ± 0,07 ^b
IVOS	64	0,45 ± 0,09 ^b

Legenda: IV: Impregnação a vácuo; IVDO: Impregnação a vácuo assistida por desidratação osmótica; IVUS: Impregnação a vácuo assistida por ultrassom; IVOS: Impregnação a vácuo assistida por osmossonicação; BS: base seca. As amostras com a mesma letra na mesma coluna não mostraram nenhuma diferença estatisticamente significativa para seus valores médios com nível de confiança de 95%. Fonte: O autor (2021).

IV apresentou redução do tempo de secagem de 14,1%. No estudo de Lima et al. (2016), a taxa de secagem foi influenciada pelos tratamentos de impregnação (R^2 maior que 0,96), de forma que a taxa de secagem das amostras impregnadas a vácuo como pré-tratamento foi maior do que nas amostras controle. Isso foi atribuído ao maior teor de água e estrutura mais aberta resultante do processo de impregnação a vácuo. Da mesma forma, Sulistyawati et al. (2018) relataram que as mudanças de pressão impostas pela impregnação a vácuo parecem melhorar os mecanismos de transferência de massa.

O IVUS obteve a maior redução no tempo de secagem (cerca de 29,5%). Cunha et al. (2020) encontraram redução de 56,92% no tempo de secagem de melão pré-tratado com imersão em etanol associado ao vácuo e ultrassom. Os resultados foram atribuídos a uma possível formação de canais microscópicos que melhoram a transferência de massa, pois facilitariam a entrada ou saída de fluidos. A onda acústica provoca a compressão e expansão alternada dos tecidos e células, que se comportam como esponjas que se comprimem e se soltam repetidamente (efeito esponja) (MIANO et al., 2019).

IVDO resultou em grande perda de água (Tabela 6) (já discutido anteriormente) e, conseqüentemente, reduziu o tempo de secagem das amostras (cerca de 9%) em relação ao controle. Bórquez, Canales e Redon (2010) relataram que a aplicação de vácuo inicial na desidratação osmótica da framboesa aumentou a

taxa de secagem e, por essa razão, encurtou o tempo de secagem. Esses autores afirmaram que o vácuo resultou em gradiente interno de pressão que aumentou o fluxo de água em relação ao transporte difusional.

IVOS apresentou grande perda de água (Tabela 6) (já discutido anteriormente) e tempo de secagem reduzido (cerca de 17,95%). Segundo Goula, Kokolaki e Daftsiou (2017), a combinação de desidratação osmótica e ultrassom favoreceu a redução do tempo de desidratação na batata. Isso pode ser devido à formação de microcanais nas amostras e um aumento na perda de umidade na secagem devido ao uso do pré-tratamento de ultrassom.

Os valores de atividade de água (AA) reduziram consideravelmente após a secagem, sem apresentar diferenças significativas entre as amostras desidratadas (Tabela 10). Todas as amostras secas apresentaram AA inferior a 0,6, o que garante ao produto a supressão do crescimento de microrganismos contaminantes (TROLLER, 1980). Medeiros et al. (2016) encontraram valores semelhantes após secagem convectiva de manga 'Tommy Atkins'.

6.1.3.2 Carotenóides totais

A Tabela 11 mostra os valores de carotenóides totais em amostras frescas e desidratadas de manga 'Tommy Atkins' com e sem pré-tratamentos. A manga fresca apresentou 15,06 µg/g BS de carotenóides, valor inferior (41,04 µg/g BS) ao encontrado por Medeiros et al. (2019b). Após a secagem, ocorreram perdas significativas de carotenóides nas amostras de manga (redução de 85,12%), semelhante ao encontrado por Medeiros et al. (2016).

Tabela 11 - Caracterização físico-química de amostras de manga seca impregnadas com polifenóis de resíduo de uva

Tratamento	Carotenóides totais ($\mu\text{g/g BS}$)	Fenólicos totais (mg EAG/g BS)	Ácido ascórbico (mg/100g BS)	Firmeza (N)
<i>In natura</i>	15,06 \pm 0,48 ^a	2,30 \pm 0,20 ^a	89,68 \pm 1,51 ^a	5,91 \pm 0,95 ^a
Controle	2,24 \pm 0,03 ^b	1,08 \pm 0,02 ^b	2,23 \pm 0,21 ^b	34,38 \pm 1,62 ^b
IV	4,79 \pm 0,11 ^c	1,55 \pm 0,03 ^c	5,49 \pm 0,24 ^{cd}	15,02 \pm 0,25 ^c
IVDO	4,04 \pm 0,09 ^d	1,84 \pm 0,22 ^d	4,91 \pm 0,21 ^d	24,81 \pm 1,21 ^d
IVUS	6,77 \pm 0,28 ^e	1,52 \pm 0,07 ^c	4,10 \pm 0,24 ^d	11,27 \pm 0,83 ^c
IVOS	4,26 \pm 0,17 ^d	1,64 \pm 0,09 ^c	7,05 \pm 0,94 ^c	29,80 \pm 1,41 ^{bd}

Legenda: IV: Impregnação a vácuo; IVDO: Impregnação a vácuo assistida por desidratação osmótica; IVUS: Impregnação a vácuo assistida por ultrassom; IVOS: Impregnação a vácuo assistida por osmossonicação; BS: base seca. As amostras com a mesma letra na mesma coluna não mostraram nenhuma diferença estatisticamente significativa para seus valores médios com nível de confiança de 95%. Fonte: O autor (2021).

Todas as amostras secas submetidas ao pré-tratamento a vácuo apresentaram retenção significativa ($p < 0,05$) de carotenóides (faixa de 27,8% a 45%) em comparação com a amostra não tratada (controle) (14,87%). Segundo Sehrawat, Nema e Kaur (2018), o ambiente deficiente em oxigênio permite um maior efeito protetor contra as perdas oxidativas de compostos bioativos na manga desidratada. A menor perda de caroteno total durante a aplicação de vácuo pode ser atribuída à sua natureza fotossensível, isomerização e natureza formadora de epóxido dos carotenóides.

As amostras de IVUS mostraram alta retenção de carotenóides (cerca de 45%). No estudo de Silva et al. (2016), ao comparar as amostras de melão pré-tratadas apenas com ultrassom e/ou vácuo, verificou-se que as duas tecnologias associadas parecem resultar em maior retenção de carotenóides. Silva Júnior et al. (2018) encontraram maior retenção de carotenóides quando o ultrassom e o vácuo foram associados na secagem do mamão. Este fato foi justificado pelos autores provavelmente devido à quantidade limitada de oxigênio e ao curto tempo de secagem em relação ao grupo controle.

A desidratação osmótica em pré-tratamentos de impregnação a vácuo resultou em valores mais baixos de carotenóides em comparação com o tratamento

a vácuo isolado. Os ensaios IVDO e IVOS apresentaram retenção de 26,8% e 28,32%, respectivamente. Guiamba et al. (2016) relataram que a desidratação osmótica a 45 °Brix como um pré-tratamento na secagem da manga 'Tommy Atkins' resultou em menor retenção de carotenóides em comparação com o controle. Os autores sugeriram que a degradação dos carotenóides depende da temperatura, mas também do tempo de secagem. Tempos de secagem mais longos provavelmente causaram maior degradação térmica, o que resultou em menor retenção de carotenóides.

6.1.3.3 Compostos fenólicos totais

O composto fenólico total da manga 'Tommy Atkins' foi de 2,30 mg EAG/g BS, semelhante ao encontrado por Izli et al. (2017) e Medeiros et al. (2019b). A Tabela 11 mostra que houve uma redução estatisticamente significativa ($p < 0,05$) entre a fruta fresca e amostras de manga seca pré-tratadas para o teor de fenólicos. Após a secagem, a amostra não tratada (controle) apresentou redução de 53,04% de compostos fenólicos. Izli et al. (2017) encontraram redução de 62,18% dos compostos fenólicos na manga após secagem com ar quente a 80 °C.

Amostras de manga seca pré-tratadas apresentaram maior retenção de compostos fenólicos em comparação com a amostra não tratada (controle). O extrato aquoso utilizado na impregnação apresentou elevados teores de polifenóis, com média de $154,96 \pm 5,15$ mg EAG/100 mL. O maior teor de compostos fenólicos nas amostras secas pré-tratadas foi devido à penetração de polifenóis do extrato de resíduo de uva na manga. Não houve diferença estatisticamente significativa em relação aos resultados dos compostos fenólicos entre os pré-tratamentos IV, IVUS e IVOS ($p < 0,05$), cujos percentuais de retenção foram 67,39%, 66,09% e 71,30%, respectivamente.

De acordo com Yilmaz e Bilek (2018), o uso de ultrassom e impregnação a vácuo aumenta a transferência de massa quando usado como pré-tratamento. Isso se deve ao efeito significativo no mecanismo hidrodinâmico, fenômeno de relaxamento-deformação, cavitação, aquecimento local e efeito esponja. Silva et al. (2019) encontraram maior retenção de compostos fenólicos no melão seco quando o vácuo e o ultrassom foram usados durante a secagem. Os autores observaram que essa associação reduziu consideravelmente o tempo de secagem e resultou em maior preservação dos polifenóis.

IVDO apresentou maior retenção fenólica (80%) nas amostras secas entre todos os tratamentos de impregnação. Estudos anteriores mostraram o sucesso da impregnação a vácuo assistida por desidratação osmótica em morangos (MORENO et al., 2012) e mamão (MORENO et al., 2006). Medeiros et al. (2019a) encontraram um aumento significativo de compostos fenólicos em manga após IVDO de polifenóis de resíduo de uva. Azoubel et al. (2015) relataram que o pré-tratamento osmótico na secagem do mamão resultou em maior proteção dos compostos bioativos. Segundo os autores, isso se deve à formação de uma camada de barreira de açúcar na superfície do produto, limitando o contato da fruta com o oxigênio.

6.1.3.4 Ácido ascórbico

O conteúdo de ácido ascórbico na amostra de manga fresca foi de 89,68 mg/100g BS, e reduziu consideravelmente após a secagem (Tabela 11). A retenção de ácido ascórbico na amostra seca não tratada (controle) foi de 2,49%. Este composto é sensível ao calor, oxigênio e luz, portanto, altas temperaturas causam maior degradação desse nutriente, como a rápida inativação enzimática da atividade da oxidase do ácido ascórbico (GUIAMBA et al., 2016).

Os testes estatísticos mostraram que os pré-tratamentos foram capazes de aumentar a retenção de ácido ascórbico na faixa de 4,57% a 7,86% ($p < 0,05$). Os pré-tratamentos a vácuo favoreceram os tempos de secagem mais curtos, o que pode ter resultado em maior retenção de ácido ascórbico devido ao menor contato com o oxigênio, semelhante ao observado por Medeiros et al. (2019a), que encontraram alta retenção de ácido ascórbico após a impregnação a vácuo de polifenóis de resíduo de uva em manga. Associado ao efeito do vácuo, Wang et al. (2019) relataram que a retenção de ácido ascórbico por aplicação de ultrassom pode ser atribuída à remoção de oxigênio dissolvido devido à cavitação acústica produzida durante o processamento ultrassônico.

A combinação de desidratação osmótica e ultrassom na impregnação a vácuo (IVOS) como pré-tratamento resultou em alta retenção de ácido ascórbico entre os ensaios avaliados. Da mesma forma, Xu et al. (2014) e Fei et al. (2017) encontraram maior retenção de ácido ascórbico após o uso de pré-tratamentos com ultrassom e desidratação osmótica em rabanete e cogumelo, respectivamente. Portanto, a combinação de vácuo (exclusão de oxigênio), ultrassom (maior transferência de massa) e desidratação osmótica (otimização do processo de secagem) como pré-

tratamento parece ser benéfica para a retenção de ácido ascórbico em mangas desidratadas.

6.1.3.5 Firmeza

A firmeza da manga fresca foi de 5,91 N. Após a secagem, a firmeza das amostras aumentou consideravelmente, semelhante ao encontrado por Medeiros et al. (2016) para manga e Silva Júnior et al. (2018) para mamão. Valores elevados de firmeza revelam endurecimento do produto, enquanto valores menores indicam amostras mais macias (FATHIZADEH; ABOONAJMI; BEYGI, 2020). O processo de endurecimento acelera em temperaturas elevadas, como observado no presente estudo (AYUSTANINGWARNO et al., 2020). Como pode ser visto na Tabela 11, os tratamentos com vácuo, ultrassom e desidratação osmótica reduziram significativamente ($p < 0,05$) a força de ruptura das mangas secas em comparação com a amostra seca não tratada.

Medeiros et al. (2019a) mostraram menores valores de firmeza em amostras de manga impregnadas com polifenóis de resíduo de uva pelo método de impregnação a vácuo, semelhantes aos obtidos nas amostras secas do presente estudo. Occhino et al. (2011) observaram uma redução na firmeza durante a impregnação a vácuo da abobrinha. A expansão e a compressão da fase gasosa durante o processo de impregnação a vácuo promovem os mecanismos de deformação e relaxamento da matriz sólida, com maior ou menor importância, dependendo da viscoelasticidade do produto (FITO et al., 2001). Da mesma forma, Igual et al. (2008) descobriram que a menor firmeza das amostras de caqui impregnadas a vácuo pode ser atribuída a uma deformação irreversível da matriz sólida sob gradientes de pressão.

A firmeza das amostras secas diminuiu consideravelmente com o uso de ultrassom na impregnação a vácuo. Su et al. (2018) encontraram uma redução significativa na firmeza em amostras de chips de batata de polpa roxa após a combinação de vácuo e ultrassom durante o processamento. Os autores sugerem que o efeito esponja produzido pelo ultrassom pode desenvolver canais microscópicos adicionais dentro das amostras, resultando em redução no teste de força máxima. Medeiros et al. (2016; 2019a, b) relataram que o pré-tratamento com ultrassom pode resultar em amostras de manga mais macias.

Houve tendência de aumento da firmeza nas amostras secas submetidas à desidratação osmótica durante a impregnação a vácuo. Feng et al. (2019) observaram que esse aumento pode estar relacionado à absorção da solução osmótica, que formaria uma camada sólida densa na superfície da amostra, e resultaria em maiores forças de ruptura no ensaio de força máxima. Phisut (2012) sugere que a alta concentração de sacarose na solução osmótica pode reduzir o fluxo de massa dentro da fruta, o que resultaria em amostras mais endurecidas.

6.1.3.6 Análise sensorial

O teste de aceitabilidade foi realizado com amostras secas (25% de umidade) não tratadas (controle) e submetidas aos pré-tratamentos IVUS e IVDO (Tabela 12). Essas amostras obtiveram resultados satisfatórios nos parâmetros de qualidade avaliados. A avaliação microbiológica dessas amostras apontou ausência de *Salmonella* sp. em 25 g de amostra e valores inferiores a 10^1 NMP.g⁻¹ para coliformes a 45 °C. A média dos escores em relação ao aroma, sabor e aparência geral não diferiu significativamente do controle ($p < 0,05$).

Tabela 12 - Pontuações sensoriais para atributos de qualidade da manga seca impregnada com polifenóis de resíduo de uva

Amostra	Aroma	Sabor	Textura	Aparência global
Controle	7,07 ± 0,93 ^a	6,91 ± 1,12 ^a	5,98 ± 1,30 ^a	6,77 ± 1,09 ^a
IVUS	6,93 ± 1,03 ^a	7,11 ± 1,17 ^a	6,44 ± 1,26 ^{ab}	6,89 ± 1,05 ^a
IVDO	7,18 ± 0,89 ^a	7,21 ± 1,08 ^a	6,73 ± 1,18 ^b	6,93 ± 1,01 ^a

Legenda: IV: Impregnação a vácuo; IVDO: Impregnação a vácuo assistida por desidratação osmótica; IVUS: Impregnação a vácuo assistida por ultrassom; IVOS: Impregnação a vácuo assistida por osmossonicação. As amostras com a mesma letra na mesma coluna não mostraram nenhuma diferença estatisticamente significativa para seus valores médios com nível de confiança de 95%.
Fonte: O autor (2021).

Medeiros et al. (2016) estudaram o efeito de pré-tratamentos com desidratação osmótica (solução osmótica à base de estévia) e ultrassom na secagem de manga 'Tomy Atkins'. Os autores encontraram notas elevadas para os atributos de aparência, sabor e textura para as amostras pré-tratadas em comparação ao controle. A nota do atributo aroma não diferiu em relação ao

controle, semelhante ao presente estudo, o que foi relacionado à mínima perda dos compostos aromáticos após sonicação. Zou et al. (2013) relataram que o pré-tratamento (desidratação osmótica) melhorou a qualidade sensorial dos chips pelo efeito da absorção de açúcar na produção de chips de manga.

Silva et al. (2016) encontraram resultados semelhantes na análise sensorial de melão desidratado pré-tratado com vácuo, ultrassom e desidratação osmótica. Os autores relataram que não houve diferença estatisticamente significativa entre as amostras secas pré-tratadas e o controle. Os resultados mostraram que esses pré-tratamentos mantêm as características mais próximas da amostra não tratada, sem afetar substancialmente a qualidade sensorial das frutas desidratadas, semelhante ao presente estudo.

Em relação ao parâmetro textura, os resultados mostraram que a amostra desidratada pré-tratada com IVDO apresentou notas mais elevadas do que a amostra desidratada não pré-tratada. Embora as amostras IVDO fossem mais duras do que IVUS, conforme discutido acima no teste de força máxima (firmeza), não houve diferença significativa ($p < 0,05$) entre as amostras. Esse resultado mostrou que os provadores tiveram maior preferência pela amostra submetida ao IVDO.

Diante do exposto, após discussão e análise dos resultados da etapa de Desidratação da manga enriquecida com compostos fenólicos da uva sob diferentes métodos de impregnação, pode-se concluir que maiores taxas de secagem foram obtidas com o uso de tratamentos de impregnação. Maiores retenções de carotenóides, compostos fenólicos e ácido ascórbico foram obtidas com tempos de secagem mais curtos e menor exposição ao oxigênio. Amostras secas submetidas à impregnação a vácuo assistida por ultrassom no pré-tratamento apresentaram maior taxa de secagem, maior retenção de carotenóides e maior maciez. Maior retenção de compostos fenólicos em amostras secas foi obtida na impregnação a vácuo assistida por desidratação osmótica, enquanto a impregnação assistida por osmosonicação resultou em maior conteúdo de ácido ascórbico. A análise sensorial mostrou que as amostras desidratadas pré-tratadas apresentaram notas semelhantes às amostras submetidas à secagem convencional, o que reflete que os tratamentos de impregnação obtiveram amostras com boa aceitação sensorial.

6.2 Estudo de diferentes métodos de secagem da manga

Esta seção teve como objetivo avaliar o efeito de diferentes combinações de vácuo e/ou ultrassom na secagem de manga, de forma contínua e intermitente. As amostras desidratadas obtidas foram avaliadas quanto ao tempo de secagem, atividade de água, consumo energético, firmeza, carotenóides totais, fenólicos totais e ácido ascórbico.

6.2.1 Secagem

A umidade das amostras de manga foi reduzida até 16%, valor abaixo do máximo permitido pela legislação para frutas secas (25%) (BRASIL, 2005). Essa faixa de umidade foi selecionada para garantir reduzido teor de água disponível no produto e, conseqüentemente, redução da atividade de água (AA), cujo valor abaixo de 0,60 no alimento impede o desenvolvimento microbiano, o que torna o alimento seguro para consumo (TROLLER, 1980; MEDEIROS et al., 2016). Todas as amostras apresentaram reduzido teor de AA, sem apresentar diferenças significativas entre si (Tabela 13).

Tabela 13 – Tempo de secagem, atividade de água e consumo energético de diferentes técnicas de secagem da manga

Amostra	Tempo de secagem (min)	Atividade de água	Consumo energético (Kwh)	Firmeza (N)
Controle	774	0,48 ± 0,02 ^a	3,20 ± 0,05 ^a	39,47 ± 0,82 ^a
SVC	590	0,43 ± 0,01 ^a	2,68 ± 0,05 ^b	34,90 ± 0,19 ^b
SPVC	526	0,47 ± 0,01 ^a	2,18 ± 0,14 ^c	33,97 ± 0,82 ^b
SUS	683	0,49 ± 0,02 ^a	2,42 ± 0,12 ^b	24,11 ± 0,90 ^c
SPUS	644	0,48 ± 0,01 ^a	2,01 ± 0,03 ^c	25,06 ± 0,42 ^c
SVCUS	288	0,46 ± 0,01 ^a	1,96 ± 0,04 ^c	20,17 ± 0,61 ^d

Legenda: SVC: secagem a vácuo; SPVC: secagem a pulso de vácuo; SUS: secagem assistida por ultrassom; SPUS: secagem assistida por pulso de ultrassom; SVCUS: secagem a vácuo assistida por ultrassom; BS: base seca. As amostras com a mesma letra na mesma coluna não mostraram nenhuma diferença estatisticamente significativa para seus valores médios com nível de confiança de 95%. Fonte: O autor (2021).

No presente estudo, houve redução do tempo de secagem comparado ao controle de 11,75% (SUS), 23,77% (SVC) e 62,79% (SVCUS), similar ao

comportamento encontrado por Silva Júnior et al. (2018), que estudaram a secagem a vácuo, secagem assistida por ultrassom e secagem a vácuo assistida por ultrassom de mamão, com reduções no tempo de secagem de 20%, 33,3% e 40%, respectivamente. Silva et al. (2019) encontraram tendência similar na secagem de nectarina (13,51%, 59,24% e 60,63%, respectivamente). Li et al. (2020a) encontraram redução do tempo de secagem (entre 75% e 83,3%) de suco de fruta de espinheiro ao utilizar a secagem a vácuo assistida por ultrassom. Cunha et al. (2020) obtiveram os menores tempos de secagem de melão quando pré-tratado com etanol associado ao vácuo e ultrassom. Esses resultados são atribuídos à possível formação de canais microscópicos, ocasionados pela aplicação do ultrassom, decorrentes dos fenômenos de cavitação e do efeito esponja (série de compressões e expansões da amostra) que resulta em mudanças de pressão no sólido que facilitam a remoção de umidade e, quando combinada ao vácuo, aumenta a taxa de secagem pela aceleração da transferência de água (BAŞLAR et al., 2014).

Em relação à secagem utilizando pulsos de vácuo (SPVC) e ultrassom (SPUS), houve redução do tempo do processo em torno de 32,04% e 14,21% comparado ao controle, respectivamente. Resultados similares foram relatados na secagem a pulso de vácuo de mirtilo (LIU et al., 2021) e *goji berry* (YU et al., 2020). Ainda, Schössler e Knorr (2012) observaram significativas melhorias nas taxas de secagem de maçã tratada com pulsos de ultrassom. Observou-se que a utilização de pulsos (SPVC e SPUS) resultou em secagens mais rápidas comparado com as secagens contínuas (SVC e SUS) (diferença em torno de 8,27% e 2,42%, respectivamente).

Qi et al. (2021) compararam a secagem assistida por ultrassom pulsado (SUSP) com a secagem assistida por ultrassom contínuo (SUSC) de suco de *goji berry*. Diferente do presente estudo, os autores observaram que SUSP aumentou o tempo de secagem em comparação ao SUSC. No entanto, é importante notar que as curvas de taxa de umidade e taxa de secagem para os sucos tratados com SUSC e SUSP quase se sobrepõem, independentemente da temperatura de secagem. Assim, os autores concluíram que o tempo líquido de sonicação reduzido pela metade causou uma redução no efeito do ultrassom na cinética de secagem, mas um aumento significativo na taxa de secagem ainda foi fornecido.

Liu et al. (2021) explicaram que, durante o SPVC, os sucessivos ciclos de vácuo podem ter contribuído para que a mudança de pressão resultasse em uma

microestrutura mais porosa dos materiais, o que promoveu a migração de água do interior da superfície do material para o exterior. Yu et al. (2020) ainda reforçaram outras razões para explicar o fenômeno: o ambiente de vácuo durante o processo SPVC reduziu a resistência à transferência de umidade e a pulsação de pressão durante o SPVC produziu um efeito de tunelamento que aumentou a transferência de umidade e acelerou o processo de secagem.

Wang et al. (2018) empregaram pulsos de vácuo (ciclo: pressão de 8,0 kPa por 10 min, seguida de pressão atmosférica por 5 min) na secagem de fatias de limão. Os autores encontraram aumento da difusividade efetiva de umidade (D_{eu}) nas amostras submetidas ao tratamento. Para todo o processo de secagem, os menores tempos do processo foram associados a maiores valores de D_{eu} . Xie et al. (2017) utilizaram pulsos de vácuo (ciclo: pressão de 8,0 kPa por 5 min, seguida de pressão atmosférica por 2 min) na secagem de fatias de *Rhizome dioscoreae* (erva medicinal). Segundo os autores, o aumento na quantidade de ciclos (quedas de pressão) foi benéfico para o aumento da taxa de secagem (maior rapidez no processo).

Martins et al. (2019) investigaram a utilização de pulsos de vácuo na impregnação de sal em filé de pirarucu. De acordo com esses autores, o fenômeno do deformação-relaxamento, promovido pelo pulso de vácuo, é mais afetado quando temperaturas mais altas são empregadas, o que foi evidenciado pelo aumento da tangente da curva da cinética do processo. Servillo et al. (2018) aplicaram pulsos de vácuo (ciclo: pressão de 3,0 kPa por 5 min, seguida de pressão atmosférica por 1 min) na calcificação de cubos de tomate. Os autores relataram que a maior eficiência do processo com vácuo pulsado (intermitente) em relação à pressão de vácuo constante pode estar relacionado ao fato de que, quando as condições de vácuo pulsado são aplicadas, o ar inicialmente presente no produto se expande e flui parcialmente. Após a restauração repentina da pressão atmosférica, o ar residual é comprimido novamente, gerando um arrasto hidrodinâmico causando uma difusão mais rápida do líquido de fora para dentro do produto. Desta forma, mais ciclos de expansão e compressão de gás favoreceram a maior impregnação do tomate (SERVILLO et al., 2018).

6.2.2 Consumo total de energia

O consumo energético foi avaliado para verificar o gasto de energia para realizar os procedimentos de secagem (Tabela 13). Todos os tratamentos apresentaram consumo energético significativamente menor ($p < 0.05$) comparado ao controle, com redução na faixa de 19,40% (SVC) a 63,26% (SVCUS). SPUS apresentou economia de energia de 26,97% comparado ao SUS, enquanto a SPVC teve economia de energia em torno de 27,38% comparado ao SVC.

A amostra controle apresentou maior consumo de energia, possivelmente devido ao maior tempo de processo, semelhante ao encontrado por Silva et al. (2019). Comportamento similar foi observado nos experimentos sem pulsos de vácuo/ultrassom (contínuos), quando comparado aos experimentos com pulso (intermitente). Ou seja, quanto menor o tempo de exposição, menor consumo energético. De acordo com Zhang e Abatzoglou (2020), em termos de eficiência energética, uma forma mais vantajosa da aplicação de tecnologias não-térmicas é substituir o tratamento contínuo por intermitentes (pulsos).

Como é razoável supor que o consumo de energia é menor no caso do tratamento pulsado, os resultados obtidos por Qi et al. (2020) sugeriram que a secagem com pulsos de ultrassom de suco de *goji berry* forneceu vantagens como economia de energia e redução de custos em relação ao tratamento contínuo. Da mesma forma, SVCUS apresentou menor consumo energético (comparado com o controle), visto que o tempo de processo foi mais curto, similar ao obtido por Silva et al. (2019) na SVCUS de nectarina.

6.2.3 Firmeza

A firmeza da manga apresentou variações significativas entre os diferentes tipos de secagem ($p < 0.05$) (Tabela 13). Todos os tratamentos apresentaram redução da firmeza comparado ao controle. Na SVC e SPVC, houve redução de 11,58% a 13,93%, enquanto a SUS e SPUS apresentou redução de 36,51% a 38,91%, respectivamente. Os tratamentos contínuos (SVC e SUS) e intermitentes (SPVC e SPUS) não apresentaram diferença significativa entre si. Os resultados indicaram que o tratamento SVCUS apresentou os menores valores de N (redução de 48,9%).

Como observado por Fathizadeh, Aboonajmi e Beygi (2020), quanto maiores os valores obtidos na análise de firmeza, mais endurecido é o produto. Por outro

lado, menores valores indicam amostras mais macias. Dessa forma, todos os tratamentos apresentaram aumento da maciez da manga seca, na seguinte ordem crescente: (SVCUS) > (SPUS = SUS) > (SVC = SPVC). Silva Júnior et al. (2018) também encontraram a maior maciez em mamão seco através da SVCUS. Silva et al. (2016) relataram menores valores de firmeza em melão desidratado pré-tratado com vácuo e ultrassom durante tratamento osmótico (TO), comparado com amostras apenas pré-tratadas com ultrassom durante TO. De maneira similar, Medeiros et al. (2019a) evidenciaram que associação de ultrassom e vácuo durante a etapa de impregnação de compostos fenólicos de resíduo de uva em manga resultou em amostras mais macias dentre os tratamentos avaliados (redução de 71,96% da firmeza).

No que diz respeito ao efeito do vácuo na textura, Medeiros et al. (2019a) relataram que os ensaios da impregnação a vácuo em mangas apresentaram menores valores de firmeza quando comparados aos ensaios do grupo com impregnação à pressão atmosférica. Na impregnação a vácuo, a perda de firmeza está relacionada à transferência de massa induzida por mudanças de pressão, a fenômenos de deformações da matriz porosa dos alimentos e à relaxação da estrutura durante o restabelecimento da pressão, relacionada às propriedades viscoelásticas dos alimentos sólidos (FITO et al., 1996).

Em relação à influência do ultrassom na textura, Medeiros et al. (2016, 2019a,b) encontraram redução de firmeza em manga 'Tommy Atkins' desidratada após tratamento ultrassônico (25 kHz). Nesses estudos, o uso do ultrassom como pré-tratamento nas mangas resultou em menor dureza possivelmente em decorrência de mudanças na estrutura física devido ao aumento do volume livre para movimentação das moléculas. Além disso, a maior parte das paredes celulares é quebrada durante a vibração ultrassônica e há surgimento de uma rede de microcanais no tecido da planta, o que favorece a formação de um produto seco mais macio (VILLAMIEL et al., 2017). Medeiros et al. (2016) ainda associaram os menores valores de firmeza às taxas de secagem mais rápidas, já que a redução no tempo do processamento diminuiu alguns danos na textura devido ao efeito do ressecamento excessivo que ocorre com exposição prolongada ao calor.

6.2.4 Carotenóides totais

Os diferentes métodos de secagem influenciaram significativamente nos valores de carotenóides das amostras (Tabela 14). De modo geral, todas as amostras secas submetidas ao vácuo (SVC, SPVC e SVCUS) apresentaram melhores resultados em relação aos carotenóides totais. O SVC apresentou aumento de 87,75% dos carotenóides, enquanto a amostra SPVC mostrou aumento de 67,5% comparado com o controle. Esse resultado pode ser devido à ausência de oxigênio em decorrência da pressão de vácuo, além do menor tempo de exposição (SPVC apresentou menor tempo de secagem comparado ao VC) (SILVA JÚNIOR et al., 2018).

Tabela 14 - Fitoquímicos da manga submetida a diferentes secagens

Amostra	Carotenóides totais ($\mu\text{g/g BS}$)	Fenólicos totais (mg EAG/g BS)	Ácido ascórbico (mg/100g BS)
Controle	$17,88 \pm 0,18^a$	$0,64 \pm 0,02^a$	$22,40 \pm 0,81^{ab}$
SVC	$33,57 \pm 1,14^b$	$1,22 \pm 0,01^b$	$59,36 \pm 2,22^c$
SPVC	$29,95 \pm 0,19^b$	$0,93 \pm 0,01^c$	$19,44 \pm 1,99^{ab}$
SUS	$19,90 \pm 0,35^c$	$0,73 \pm 0,05^a$	$21,30 \pm 2,84^{ab}$
SPUS	$21,04 \pm 0,85^c$	$0,64 \pm 0,09^a$	$16,63 \pm 1,71^b$
SVCUS	$38,18 \pm 0,09^d$	$1,88 \pm 0,18^d$	$28,10 \pm 0,00^d$

Legenda: SVC: secagem a vácuo; SPVC: secagem a pulso de vácuo; SUS: secagem assistida por ultrassom; SPUS: secagem assistida por pulso de ultrassom; SVCUS: secagem a vácuo assistida por ultrassom; BS: base seca. As amostras com a mesma letra na mesma coluna não mostraram nenhuma diferença estatisticamente significativa para seus valores médios com nível de confiança de 95%. Fonte: O autor (2021).

Não houve diferença estatisticamente significativa ($p < 0.05$) entre o SUS e o SPUS. Ambos os tratamentos apresentaram valores de retenção de carotenóides superiores ao controle (11,29% e 17,67%, respectivamente). Isso se deve possivelmente a menor exposição ao calor devido ao menor tempo de secagem (MEDEIROS et al., 2016). Yao et al. (2016) sugerem que a maior retenção dos carotenóides é devida ao aumento da extração desse pigmento pelo uso de ondas ultrassônicas, atribuído à cavitação que pode ser gerada na fase líquida. Uma vez que as forças de cisalhamento geradas pela cavitação excedem as tensões superficiais, ocorre a erosão superficial das microestruturas, a fragmentação dos

tecidos e, conseqüentemente, a melhora da transferência de massa devido à formação de microcanais (gerados pela cavitação) e aquecimento local (gerado pelo tremor molecular).

Nas amostras SVCUS, a conservação dos carotenóides foi 2,1 vezes maior que o controle. Resultados similares foram observados no estudo de Silva Júnior et al. (2018) para mamão e Chen et al. (2016) para cenoura. A associação do ultrassom com o vácuo permitiu menor tempo de secagem e, conseqüentemente, menor exposição dos carotenóides ao calor excessivo durante a secagem (SILVA JÚNIOR et al., 2018). Silva et al. (2016) observaram perdas menores de carotenóides quando frutas foram submetidas a pré-tratamento com ultrassom e vácuo. Os autores relataram que a associação do ultrassom com o vácuo permitiu uma maior conservação de carotenóides, possivelmente aumentando sua extração pelo uso dessas técnicas. O vácuo e ultrassom atuam reduzindo o oxigênio disponível para a formação de radicais livres, uma vez que o mecanismo de ação dos carotenóides consiste em quelar o oxigênio singlete e sua cinética de degradação é favorecida pela presença de oxigênio e temperatura elevada.

6.2.5 Compostos fenólicos totais

A Tabela 14 mostra os valores de fenólicos totais das amostras de manga desidratadas submetidas aos diferentes tipos de processamento. Não houve diferença estatisticamente significativa ($p < 0.05$) entre a amostra controle e as amostras submetidas ao ultrassom durante a secagem (SUS e SPUS). SVC apresentou aumento de 90,62% do teor de fenólicos totais, enquanto a SPVC resultou em 45,31% de aumento. SVCUS mostrou o melhor desempenho na retenção nesse composto bioativo, valor 2,9 vezes maior que o controle.

Liu et al. (2021) estudaram o efeito do SPVC na secagem de mirtilo. Os autores identificaram que, em comparação com a secagem convencional, o SPVC teve um efeito positivo na manutenção de níveis mais elevados do conteúdo de fenólicos totais e antocianinas monoméricas totais. Além disso, as mudanças significativas na ultraestrutura do tecido do mirtilo e a alteração da microestrutura da superfície durante o SPVC aumentaram a liberação e, em seguida, a extração de compostos fenólicos da matriz. Resultados semelhantes foram encontrados por Wang et al. (2021), que estudaram o branqueamento a vapor com pulsos de vácuo em cenoura. Durante o processo, a pressão do pulso de vácuo na câmara de

branqueamento facilitou a alteração da ultraestrutura e microestrutura e, assim, aumentou a difusão e extração dos componentes fenólicos.

Em relação ao resultado dos fenólicos totais nos tratamentos SUS e SPUS, apesar de não haver diferença entre a amostra controle e esses dois tratamentos, deve ser levado em consideração que ambos obtiveram menores tempos de secagem comparado ao controle (redução no tempo de secagem de 11,75% e 14,21%, respectivamente). Em outras palavras, o tratamento ultrassônico resultou em perda de fenólicos, apesar dos menores tempos de secagem. Comportamento similar foi obtido por Santacatalina et al. (2014), ao estudar a secagem assistida por ultrassom de maçã. Esses autores relataram que aplicação do ultrassom durante a secagem trouxe uma porcentagem média de degradação do teor de polifenol total significativamente ($p < 0,05$) maior ($40,8 \pm 3,5\%$) do que o encontrado no experimento convencional ($30,5 \pm 3,6\%$) em todas as temperaturas testadas. Esse fato pode estar relacionado também ao dano estrutural das células ocasionado pelo ultrassom. Ainda sugerem que o estresse mecânico associado à propagação da onda ultrassônica poderia auxiliar na liberação de enzimas oxidativas e compostos intracelulares no solvente, contribuindo para a degradação do polifenol de forma semelhante ao congelamento (SANTACATALINA et al., 2014).

No trabalho de Li et al. (2020a), a SVCUS foi empregada na produção de pó de suco de frutas de espinheiro e foi avaliado seu efeito no teor de flavonóides, um tipo de composto fenólico. As amostras tratadas com SVCUS apresentaram maior conteúdo de flavonóides do que as amostras tratadas apenas com vácuo, independentemente do nível de intensidade do ultrassom. Isso poderia ser explicado pelo tempo de secagem muito mais curto do SVCUS e a possível inativação da polifenoloxidase pela combinação de ultrassom e tratamento térmico.

Semelhante ao encontrado por Silva et al. (2019) em nectarina desidratada, as maiores concentrações de compostos fenólicos foram obtidas quando empregada a SVCUS. Os autores sugeriram que este resultado pode ter ocorrido devido ao efeito sinérgico entre vácuo e ultrassom. O ultrassom, através do mecanismo de cavitação, gera sucessivos ciclos de compressão e rarefação, favorecendo a extração de água e a transferência de calor, e o vácuo, favorecem um menor tempo de secagem devido ao seu desempenho em baixa pressão.

6.2.6 Ácido ascórbico

A degradação do ácido ascórbico é fortemente influenciada pelas características da secagem, causada pelo excesso de calor e pela presença de oxigênio durante o processo de secagem (SILVA JÚNIOR et al., 2018). A utilização de vácuo e ultrassom durante a secagem resultou em alterações nos teores do ácido ascórbico após a secagem (Tabela 14). Maior retenção (2,65 vezes maior) foi obtida no tratamento SVC, seguida do SVCUS (1,25 vezes maior). SPVC e SUS não demonstraram diferença significativa com o controle ($p < 0,05$). SPUS apresentou baixa capacidade de retenção de ácido ascórbico comparado com o controle (perda de 34,69%).

Silva Júnior et al. (2018) encontraram redução em torno de 68,2% de ácido ascórbico em mamão após aplicação de ultrassom durante a secagem. Colucci et al. (2018) aplicaram ondas ultrassônicas durante secagem a frio (liofilização) de berinjela. Os autores reportaram que a degradação média do ácido ascórbico passou de 41,1% no processo de secagem sem ultrassom para 58,7% e 53,2% nos experimentos realizados a 25 e 50 W de ultrassom, respectivamente. Cunha et al. (2020) encontraram perda de ácido ascórbico em amostras de melão desidratadas pré-tratadas com etanol na presença de ultrassom. Os autores sugeriram que a degradação do ácido ascórbico após tratamento com ultrassom é devido à possível produção de radicais hidroxila por cavitação.

No presente estudo, o tratamento SVC apresentou melhor desempenho na retenção de ácido ascórbico da manga desidratada (59.36 mg/100g BS). Kim et al. (2021) realizaram tratamento térmico de purê de maçã sob condição livre de oxigênio (vácuo de 2.67 kPa, 90 °C for 30 min). Os resultados encontrados mostraram que o tratamento com vácuo apresentou maiores teores de ácido ascórbico, comparado com o controle. O tratamento térmico na presença de oxigênio causou uma redução de 8,21% no ácido ascórbico, enquanto os níveis de ácido ascórbico nos purês de maçã processados a vácuo ou nas maçãs frescas não foram significativamente diferentes. A secagem na ausência de oxigênio pode ajudar a inibir a oxidação, resultando na preservação do ácido ascórbico e da cor, bem como de outros teores de nutrientes nos produtos de maçã.

Ao comparar os teores de ácido ascórbico das amostras SVC e SVCUS, embora o SVCUS apresente menor tempo de secagem (288 min), o melhor desempenho neste componente nutricional foi do SVC (tempo de secagem de 590

min), o que implica dizer que a ausência de oxigênio foi fator mais determinante na preservação do ácido ascórbico que o tempo de secagem no presente estudo. A retenção de ácido ascórbico durante a SVCUS em comparação com o controle pode ser atribuída a um curto tempo de secagem e quantidade limitada de oxidação pela depleção de oxigênio (SILVA JÚNIOR et al., 2018). Os dados acima indicam que a secagem por SVCUS pode reter vitaminas, especialmente aquelas sensíveis ao dano térmico e à oxidação (CHEN et al., 2016).

Diante do exposto, após discussão e análise dos resultados da etapa do Estudo de diferentes métodos de secagem da manga, pode-se concluir que a secagem a vácuo assistida por ultrassom apresentou menor duração do processo. O protocolo utilizado com pulsos de vácuo e ultrassom durante a secagem resultou em secagens mais rápidas que as secagens contínuas. Como esperado, menores consumos energéticos foram encontrados nos experimentos com pulsos. As amostras desidratadas com aplicação de vácuo e/ ou ultrassom apresentaram redução da firmeza, contudo a aplicação isolada do ultrassom resultou em menores valores de textura. Mangas desidratadas com associação de ultrassom e vácuo apresentaram maior retenção de carotenóides e fenólicos totais, enquanto que a secagem a vácuo mostrou maior capacidade de retenção do ácido ascórbico. Os resultados desta etapa demonstraram a eficiência da utilização de ultrassom e/ou vácuo, de forma contínua e intermitente, na secagem de manga.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A incorporação de compostos fenólicos de resíduo de uva na produção de manga desidratada foi estudada. A utilização da técnica de ultrassom foi bastante eficaz na otimização da extração dos compostos fenólicos do resíduo de uva. De uma maneira geral, maiores amplitudes de ultrassom e tempos de tratamento resultaram em maiores extrações de compostos bioativos.

Da mesma forma, a utilização da tecnologia de impregnação a vácuo, associada ao ultrassom e/ou desidratação osmótica, mostrou ser viável para a incorporação de polifenóis na manga. Embora o gasto total de energia tenha sido maior, a impregnação a vácuo e impregnação a vácuo assistida por ultrassom mostraram o melhor desempenho em relação à preservação dos compostos fitoquímicos da fruta.

A utilização de ultrassom e desidratação osmótica associada à impregnação a vácuo como pré-tratamentos à secagem convectiva da manga enriquecida com polifenóis de resíduo de uva foi vantajosa, visto que foram obtidas maiores taxas de secagem, maiores retenções de compostos fitoquímicos e menores tempos de secagem, além de boa aceitação sensorial.

Por fim, a desidratação da manga sob diferentes métodos de secagem com combinações de ultrassom e vácuo (contínuo e intermitente) resultou em menores tempos de secagem e, conseqüentemente, menor consumo de energia quando utilizado o processo intermitente (em pulsos). Foram obtidas elevada retenção de ácido ascórbico nas amostras secas a vácuo e maior retenção de carotenóides e fenólicos quando houve a combinação de vácuo e ultrassom na secagem, além da produção de manga seca mais macia.

Dessa forma, o presente trabalho mostrou que a EAU e a impregnação de compostos fenólicos de resíduo de uva em manga seca são viáveis, e a utilização de combinações de vácuo e ultrassom, contínuo e intermitente, são capazes de otimizar o processo de secagem da manga. Como perspectivas futuras, outras investigações com diferentes frutas e diferentes variáveis do processo podem ser realizadas a fim de elucidar possíveis lacunas do presente estudo.

Como fruto de resultados deste trabalho, foi publicado, em 2019, o artigo intitulado "Effect of different grape residues polyphenols impregnation techniques in mango" no periódico Journal of Food Engineering (APÊNDICE C). No mesmo ano, o

trabalho intitulado “Grape residue anthocyanin extraction using ultrasound” foi apresentado como trabalho completo no congresso internacional AIChE Annual Meeting, em Orlando, Estados Unidos (APÊNDICE D).

REFERÊNCIAS

ABALOS, R. A.; NAEF, E. F.; AVILES, M. V.; GÓMEZ, M. B. Vacuum impregnation: A methodology for the preparation of a ready-to-eat sweet potato enriched in polyphenols. **LWT - Food Science and Technology**, v. 131, p. 109773, 2020.

ADEDEJI, O.E.; EZEKIEL, O.O. Chemical composition and physicochemical properties of mango juice extracted using polygalacturonase produced by *Aspergillus awamori* CICC 2040 on pretreated orange peel. **LWT - Food Science and Technology**, v. 132, p. 109891, 2020.

AHMED, G.H.G.; FERNÁNDEZ-GONZÁLEZ, A.; GARCÍA, M.E.D. Nano-encapsulation of grape and apple pomace phenolic extract in chitosan and soy protein via nanoemulsification. **Food Hydrocolloids**, v. 108, p. 105806, 2020.

AHMED, I.; QAZI, I. M.; JAMAL, S. Developments in osmotic dehydration technique for the preservation of fruits and vegetables. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 34, p. 29–43, 2016.

ALASALVAR, C.; SALVADÓ, J.S.; ROS, E. Bioactives and health benefits of nuts and dried fruits. **Food Chemistry**, v. 314, p. 126192, 2020.

AL-DHABI, N. A.; PONMURUGAN, K.; JEGANATHAN, P. M. Development and validation of ultrasound-assisted solid-liquid extraction of phenolic compounds from waste spent coffee grounds. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 34, p. 206–213, 2017.

ALLAHDAD, Z.; NASIRI, M.; VARIDI, M.; VARIDI, M. J. Effect of sonication on osmotic dehydration and subsequent air-drying of pomegranate arils. **Journal of Food Engineering**, v. 244, p. 202–211, 2019.

AMAMI, E.; KHEZAMI, W.; MEZRIGUI, S.; BADWAIK, L. S.; BEJAR, A. K.; PEREZ, C. T. et al. Effect of ultrasound-assisted osmotic dehydration pretreatment on the convective drying of strawberry. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 36, p. 286–300, 2017.

ANNEGOWDA, H. V.; BHAT, R.; MIN-TZE, L. Influence of sonication treatments and extraction solvents on the phenolics and antioxidants in star fruits. **Journal of Food Science and Technology**, v. 49, p. 510–514, 2012.

AOAC. **Official methods of analysis of association of official analytical chemists** (17th ed.). Washington: AOAC, 2002. 1115p.

AZOUBEL, M. P.; MELO, A.; AMORIM, R.; SORELLY, S.; OLIVEIRA, B. Effect of ultrasound on banana cv Pacovan drying kinetics. **Journal of Food Engineering**, v. 97, p. 194–198, 2010.

AZOUBEL, P. M.; AMORIM, M. R.; OLIVEIRA, S. S. B.; MACIEL, M. I. S.; RODRIGUES, J. D. Improvement of water transport and carotenoid retention during drying of papaya by applying ultrasonic osmotic pretreatment. **Food Engineering Reviews**, v. 7, n. 2, p. 185–192, 2015.

AYUSTANINGWARNO, F.; GINKEL, E.V.; VITORINO, J.; DEKKER, M.; FOGLIANO, V.; VERKERK, R. Nutritional and physicochemical quality of vacuum-fried mango chips is affected by ripening stage, frying temperature, and time. **Frontiers in Nutrition**, v. 7, n. 95, p. 1-6, 2020.

BANG, K. S.; YU, S. H.; SHIN, K. W. Experimental investigation of vacuum drying for removal of residual water in canister. **Annals of Nuclear Energy**, v. 156, p. 108185, 2021.

BARMAN, N.; BADWAIK, L. S. Effect of ultrasound and centrifugal force on carambola (*Averrhoa carambola* L.) slices during osmotic dehydration. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 34, p. 37–44, 2017.

BAŞLAR, M.; KILIÇ, M.; TOKER, O. S.; SAĞDIÇ, O.; ARICI, M. Ultrasonic vacuum drying technique as a novel process for shortening the drying period for beef and chicken meats. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 26, p. 182-190, 2014.

BASLAR, M.; KILIÇLI, M.; YALINKILIÇ, B. Dehydration kinetics of salmon and trout fillets using ultrasonic vacuum drying as a novel technique. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 27, p. 495–502, 2015.

BATISTA, P. F.; LIMA, M. A. C.; ALVES, R. E.; FAÇANHA, R. V. Bioactive compounds and antioxidant activity in tropical fruits grown in the lower-middle São Francisco Valley. **Revista Ciencia Agrônômica**, v. 49, n. 4, p. 616–623, 2018.

BERMÚDEZ-AGUIRRE, D.; BARBOSA-CÁNOVAS, G. V. Inactivation of *Saccharomyces cerevisiae* in pineapple, grape and cranberry juices under pulsed and continuous thermo-sonication treatments. **Journal of Food Engineering**, v. 108, p. 383–392, 2012.

BERNARDINO, A. V. S.; ROCHA, N. S.; SILVA, E. M.; MEDEIROS, R. A. B.; SILVA JÚNIOR, E. V.; SHINOHARA, N. Z. S. et al. Effect of ultrasound on cell viability and storage of dehydrated jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) impregnated with *Lactobacillus casei*. **LWT - Food Science and Technology**, v. 139, p. 110790, 2021.

BETORET, E.; SENTANDREU, E.; BETORET, N.; CODOÑER-FRANCH, P.; BVALLS-BELLÉS, V.; FITO, P. Technological development and functional properties of an apple snack rich in flavonoid from mandarin juice. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 16, p. 298–304, 2012.

BINDES, M. M. M., REIS, M. H. M., CARDOSO, V. L., & BOFFITO, D. C. Ultrasound- assisted extraction of bioactive compounds from green tea leaves and clarification with natural coagulants (chitosan and *Moringa oleífera* seeds). **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 51, p. 111-119, 2019.

BONFIGLI, M.; GODOY, E.; REINHEIMER, M. A.; SCENNA, N. J. Comparison between conventional and ultrasound-assisted techniques for extraction of

anthocyanins from grape pomace. Experimental results and mathematical modeling. **Journal of Food Engineering**, v. 207, p. 56-72, 2017.

BÓRQUEZ, R. M.; CANALES, E. R.; REDON, J. P. Osmotic dehydration of raspberries with vacuum pretreatment followed by microwave-vacuum drying. **Journal of Food Engineering**, v. 99, p. 121–127, 2010.

BRAND-WILLIAMS, W.; CUVÉLIER, M.E.; BERSET, C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. **Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie**, v. 28, p. 25-30, 1995.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA. Ministério da Saúde. Resolução - RDC nº 272, de 22 de setembro de 2005. **Regulamento técnico para produtos vegetais, produtos de frutas e cogumelos comestíveis**. Diário Oficial da União, Brasília, 23 de setembro de 2005.

BROCKMAN, M.C. Intermediate moisture foods. In: VAN ARSDEL, W.B.; COPLEY, M.J.; MORGAN, A.I. **Food dehydration**. Westport: AVI Publishing, 1973.

BÜYÜKTUNCEL, E.; PORGALI, E.; ÇOLAK, C. Comparison of Total Phenolic Content and Total Antioxidant Activity in Local Red Wines Determined by Spectrophotometric Methods. **Food and Nutrition Science**, v. 5, p. 1660-1667, 2014.

CALDAS, T. W.; MAZZA, K. E. L.; TELES, A. S. C.; MATTOS, G. N.; BRÍGIDA, A. I. S.; CONTE-JUNIOR, C. A. et al. Phenolic compounds recovery from grape skin using conventional and nonconventional. **Industrial Crops & Products**, v. 111, p. 86–91, 2018.

CALDEIRA-DIAS, M.; VIANA-MATTIOLI, S.; MACHADO, J.S.R.; CARLSTRÖM, M.; CAVALLI, R.C.; SANDRIM, V.C. Resveratrol and grape juice: Effects on redox status and nitric oxide production of endothelial cells in *in vitro* preeclampsia model. **Pregnancy Hypertension: An International Journal of Women's Cardiovascular Health**, v. 23, p. 205–210, 2021.

CÁRCEL, J.A.; PÉREZ, J. V. G.; BENEDITO, J.; MULET, A. Food process innovation through new technologies: Use of ultrasound. **Journal of Food Engineering**, v. 110, p. 200–207, 2012.

CARRERA, C.; RUIZ-RODRÍGUEZ, A.; PALMA, M.; BARROSO, C.G. Ultrasound assisted extraction of phenolic compounds from grapes. **Analytica Chimica Acta**, v. 732, p. 100-104, 2012.

CARVALHO, C. et al. **Anuário brasileiro de Horti&Fruti 2020**. Santa Cruz do Sul: Editora Gazeta Santa Cruz, 2019. 96 p.

CASTAGNINI, J. M.; BETORET, N.; BETORET, E.; FITO, P. Vacuum impregnation and air drying temperature effect on individual anthocyanins and antiradical capacity of blueberry juice included into an apple matrix. **LWT - Food Science and Technology**, v. 64, n. 2, p. 1289–1296, 2015.

CASTRO, M. D. L.; PRIEGO-CAPOTE, F.; PERALBO-MOLINA, A. The role of ultrasound in analytical derivatizations. **Journal of Chromatography B**, v. 879, p. 1189–1195, 2011.

CHAVAN, Y.; SINGHAL, R. S. Ultrasound-assisted extraction (UAE) of bioactives from arecanut (*Areca catechu* L.) and optimization study using response surface methodology. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 17, p. 106–113, 2013.

CHEMAT, F.; HUMA, Z.; KHAN, M. K. Applications of ultrasound in food technology: Processing, preservation and extraction. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 18, p. 813–835, 2011.

CHEMAT, F.; ROMBAUT, N.; SICAIRE, A.; MEULLEMIESTRE, A.; FABIANO-TIXIER, A.; ABERT-VIAN, M. Ultrasound assisted extraction of food and natural products. Mechanisms, techniques, combinations, protocols and applications. A review. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 34, p. 540–560, 2017.

CHEN, C.; WANG, L.; WANG, R.; LUO, X.; LI, Y. Ultrasound-assisted extraction from defatted oat (*Avena sativa* L.) bran to simultaneously enhance phenolic compounds and β -glucan contents: Compositional and kinetic studies. **Journal of Food Engineering**, v. 222, p. 1–10, 2018.

CHEN, Z. G.; GUO, X. Y.; WU, T. A novel dehydration technique for carrot slices implementing ultrasound and vacuum drying methods. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 30, p. 28-34, 2016.

COLUCCI, D.; FISSORE, D.; ROSSELLO, C.; CARCEL, J. A. On the effect of ultrasound-assisted atmospheric freeze-drying on the antioxidant properties of eggplant. **Food Research International**, v. 106, p. 580–588, 2018.

CORTÉS, M.; OSORIO, A.; GARCÍA, E. Air dried apple fortified with vitamin E using matrix engineering. **Vitae, Revista de La Facultad de Química Farmacéutica**, v. 14, p. 17–26, 2007.

CORTÉS, V.; BLANES, C.; BLASCO, J.; ORTÍZ, C.; ALEIXOS, N.; MELLADO, M. et al. Integration of simultaneous tactile sensing and visible and near-infrared reflectance spectroscopy in a robot gripper for mango quality assessment. **Biosystems Engineering**, v. 162, p. 112–123, 2017.

COSTA, A. P. B.; TEIXEIRA, L. M.; CASTRO, J. C.; GOLÇALVES, J. E.; GOLÇALVES, R. A. C.; OLIVEIRA, A. J. B. Composição monossacarídica de resíduo de uva (*Vitis* sp.) obtido do processamento de vinho do Município de Marialva- Paraná. **Anais do XI EPCC - Encontro Internacional de Produção Científica UniCesumar**, 2019.

CUNHA, G. A. P.; SAMPAIO, J. M. M.; NASCIMENTO, A. S.; SANTOS FILHO, H. P.; MEDINA, V. M. **Manga para exportação: aspectos técnicos da produção**. Brasília: EMBRAPA, 1994. 35p.

CUNHA, R. M. C.; BRANDÃO, S. C. R.; MEDEIROS, R. A. B; JÚNIOR, E. V. S.; SILVA, J. H. F.; AZOUBEL, P. M. Effect of ethanol pretreatment on melon convective drying. **Food Chemistry**, v. 333, p. 127502, 2020.

DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L.; FENNEMA, O. R. **Química de Alimentos de Fennema**, 5 ed. Porto Alegre: Artmed, 2018. 1120p.

DEMIRKOL, M.; TARAKCI, Z. Effect of grape (*Vitis labrusca* L.) pomace dried by different methods on physicochemical, microbiological and bioactive properties of yoghurt. **LWT - Food Science and Technology**, v. 97, p. 770–777, 2018.

DIAS, D. R. C.; BARROS, Z. M. P.; CARVALHO, C. B. O.; HONORATO, F. A.; GUERRA, N. B.; AZOUBEL, P. M. Effect of sonication on soursop juice quality. **LWT - Food Science and Technology**, v. 62, p. 883–889, 2015.

DOWNES, F.P.; ITO, H. **Compendium of methods for the microbiological examination of foods**. 4. ed. Washington: American Public Health Association, 2001. 676p.

DREVELEGKA, I.; GOULA A.M. Recovery of grape pomace phenolic compounds through optimized extraction and adsorption processes. **Chemical Engineering & Processing: Process Intensification**, v. 149, p. 107845, 2020.

DUTCOSKY, S.D. **Análise Sensorial de Alimentos**, 3a. edição. Curitiba: Champagnat, 2011. 426 p.

ESPADA-BELLIDO, E.; FERREIRO-GONZÁLEZ, M.; CARRERA, C.; PALMA, M.; BARROSO, C. G.; BARBERO, G. F. Optimization of the ultrasound-assisted extraction of anthocyanins and total phenolic compounds in mulberry (*Morus nigra*) pulp. **Food Chemistry**, v. 219, p. 23–32, 2017.

FAO, **Market Review**. 2019. FAO. (2019). Mango production worldwide from 2000 to 2017 (in million metric tons). Statista. Statista Inc. Acesso: 07 de Março de 2021. <https://www.statista.com/statistics/577951/world-mango-production/>.

FAO. **Principales Frutas Tropicales – Compendio Estadístico 2018**, Roma, 2020. 31p.

FATHIZADEH, Z.; ABOONAJMI, M.; BEYGI, S.R.H. Nondestructive firmness prediction of apple fruit using acoustic vibration response. **Scientia Horticulturae**, v. 262, p. 109073, 2020.

FAVA, J.; HODARA, K.; NIETO, A.; GUERRERO, S.; ALZAMORA, S. M.; CASTRO, M. A. Structure (micro, ultra, nano), color and mechanical properties of *Vitis labrusca* L. (grape berry) fruits treated by hydrogen peroxide, UV-C irradiation and ultrasound. **Food Research International**, v. 44, n. 9, p. 2938–2948, 2011.

FEI, P.; LIFU, C.; WENJIAN, Y.; LIYAN, Z.; YONG, F.; NING, M. Comparison of osmotic dehydration and ultrasound-assisted osmotic dehydration on the state of

water, texture, and nutrition of *Agaricus bisporus*. **CyTA - Journal of Food**, v. 16, n. 1, p. 181–189, 2017.

FENG, Y.; YU, X.; YAGOUB, A. E. G. A.; XU, B.; WU, B.; ZHANG, L. et al. Vacuum pretreatment coupled to ultrasound assisted osmotic dehydration as a novel method for garlic slices dehydration. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 50, p. 363–372, 2019.

FERARSA, S.; ZHANG, W.; MOULAI-MOSTEFA, N.; DING, L.; JAFFRIN, M. Y.; GRIMI, N. Recovery of anthocyanins and other phenolic compounds from purple eggplant peels and pulps using ultrasonic-assisted extraction. **Food and Bioproducts Processing**, v. 109, p. 19–28, 2018.

FITO, P. Modelling of vacuum osmotic dehydration of food. **Journal of Food Engineering**, v. 22, p. 313-328, 1994.

FITO, P.; ANDRÉS, A.; CHIRALT, A.; PARDO, P. Coupling of hydrodynamic mechanism and deformation–relaxation phenomena during vacuum treatments in solid porous food-liquid systems. **Journal of Food Engineering**, v. 27, p. 229–240, 1996.

FITO, P.; CHIRALT, A.; BARAT, J. M.; ANDRÉS, A.; MARTÍNEZ-MONZÓ, J.; MARTÍNEZ- NAVARRETE, N. Vacuum impregnation for development of new dehydrated products. **Journal of Food Engineering**, v. 49, p. 297–302, 2001.

FITO, P.; PASTOR, R. Non-diffusional mechanisms occurring during vacuum osmotic dehydration. **Journal of Food Engineering**, v. 21, n. 4, p. 513-519, 1994.

FURLANETO, F. P. B.; SOARES, A. A. V. L.; BERTANI, R. M. A. Caracterização técnica e econômica da manga 'Tommy Atkins'. **Pesquisa & Tecnologia**, v. 12, n. 2, p. 1-6, 2015.

GIUSTI, M.M., WROLSTAD, R.E. Acylated anthocyanins from edible sources and their applications in food systems. **Biochemical Engineering Journal**, v. 14, n. 3, p. 217-225, 2003.

GONÇALVES, J.; SILVA, G. C. O.; CARLOS, L. A. Compostos bioativos em flores comestíveis. **Biológicas & Saúde**, v. 9, n. 29, p. 11-20, 2019.

GONZÁLEZ, M.; BARRIOS, S.; BUDELLI, E.; PÉREZ, N.; LEMA, P.; HEINZEN, H. Ultrasound assisted extraction of bioactive compounds in fresh and freeze-dried *Vitis vinifera* cv *Tannat* grape pomace. **Food and Bioproducts Processing**, v. 124, p. 378-386, 2020.

GOULA, A. M.; KOKOLAKI, M.; DAFTSIU, E. Use of ultrasound for osmotic dehydration. The case of potatoes. **Food and Bioproducts Processing**, v. 105, p. 157–170, 2017.

GOULA, A. M.; THYMIATIS, K.; KADERIDES, K. Valorization of grape pomace: Drying behavior and ultrasound extraction of phenolics. **Food and Bioproducts Processing**, v. 100, p. 132–144, 2016.

GUIAMBA, I.; AHRNÉ, L.; KHAN, M. A. M.; SVANBERG, U. Retention of β -carotene and vitamin C in dried mango osmotically pretreated with osmotic solutions containing calcium or ascorbic acid. **Food and Bioproducts Processing**, v. 98, p. 320–326, 2016.

HAAS, I. C. S.; MARMITT, D. J.; FEDRIGO, I. M. T.; GOETTERT, M. I.; BORDIGNONO-LUIZ, M. T. Evaluation of antiproliferative and anti-inflammatory effects of non-pomace sediment of red grape juices (*Vitis labrusca* L.) in healthy and cancer cells after in vitro gastrointestinal simulation. **PharmaNutrition**, v. 13, p. 100204, 2020.

HAN, F.; JU, Y., RUAN, X., ZHAO, X., YUE, X., ZHUANG, X. et al. Color, anthocyanin, and antioxidant characteristics of young wines produced from spine grapes (*Vitis davidii* Foex) in China. **Food & Nutrition Research**, v. 61, p. 1339552, 2017.

HIRONAKA, K.; KIKUCHI, M.; KOAZE, H.; SATO, T.; KOJIMA, M.; YAMAMOTO, K.; et al. Ascorbic acid enrichment of whole potato tuber by vacuum-impregnation. **Food Chemistry**, v. 127, p. 1114–1118, 2011.

HOYOS-MARTÍNEZ, P. L.; MERLE, J.; LABIDI, J.; CHARRIER, F. Tannins extraction: A key point for their valorization and cleaner production. **Journal of Cleaner Production**, v. 206, p. 1138–1155, 2019.

IBGE. **Indicadores IBGE - Levantamento Sistemático da Produção Agrícola (Março/2021)**, 2021. Disponível em: <
https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/2415/epag_2021_mar.pdf>. Acesso em: 09 Mar. 2021.

IGUAL, M.; CASTELLÓ, M. L.; ORTOLÁ, M. D.; ANDRÉS, A. Influence of vacuum impregnation on respiration rate, mechanical and optical properties of cut persimmon. **Journal of Food Engineering**, v. 86, p. 315–323, 2008.

IZLI, N.; IZLI, G.; TASKIN, O. Influence of different drying techniques on drying parameters of mango. **Food Science and Technology**, v. 37, n. 4, p. 604–612, 2017.

JIMÉNEZ-HERNÁNDEZ, J.; ESTRADA-BAHENA, E. B.; MALDONADO-ASTUDILLO, Y. I.; TALAVERA-MENDOZA, Ó.; ARÁMBULA-VILLA, G.; AZUARA, E. et al. Osmotic dehydration of mango with impregnation of inulin and piquin-pepper oleoresin. **LWT - Food Science and Technology**, v. 79, p. 609–615, 2017.

JIN, Q., WANG, Z., FENG, Y., KIM, Y., STEWART, A., O'KEEFE, S.F. et al. Grape pomace and its secondary waste management: Biochar production for a broad range of lead (Pb) removal from water. **Environmental Research**, v. 186, p. 109442, 2020.

KAMILOGLU, S.; TOYDEMIR, G.; BOYACIOGLU, D.; BEEKWILDER, J.; HALL, R. D.; CAPANOGLU, E. A review on the effect of drying on antioxidant potential of fruits

and vegetables. **Critical Reviews In Food Science And Nutrition**, v. 56, p. 110-29, 2015.

KAZEMI, M.; KARIM, R.; MIRHOSSEINI, H.; HAMID, A. A. Optimization of pulsed ultrasound-assisted technique for extraction of phenolics from pomegranate peel of Malas variety: Punicalagin and hydroxybenzoic acids. **Food Chemistry**, v. 206, p. 156–166, 2016.

KHADHRAOUI, B.; TURK, M.; FABIANO-TIXIER, A.; PETITCOLAS, E.; ROBINET, P.; IMBERT, R. Histo-cytochemistry and scanning electron microscopy for studying spatial and temporal extraction of metabolites induced by ultrasound. Towards chain detexturation mechanism. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 42, p. 482–492, 2018.

KIM, A.; LEE, K.; RAHMAN, M. S.; KIM, H.; KERR, W. L.; CHOI, S. Thermal treatment of apple puree under oxygen-free condition: Effect on phenolic compounds, ascorbic acid, antioxidant activities, color, and enzyme activities. **Food Bioscience**, v. 39, p. 100802, 2021.

KROEHNKE, J.; SZADZIŃSKA, J.; STASIAK, M.; RADZIEJEWSKA-KUBZDELA, E.; BIEGAŃSKA- MARECIK, R.; MUSIELAK, G. Ultrasound- and microwave-assisted convective drying of carrots – Process kinetics and product's quality analysis. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 48, p. 249–258, 2018.

KUMARI, B.; TIWARI, B. K.; HOSSAIN, M. B.; RAI, D. K.; BRUNTON, N. P. Ultrasound-assisted extraction of polyphenols from potato peels: profiling and kinetic modelling. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 52, p. 1432– 1439, 2017.

LAW, C. L.; CHEN, H. H. H.; MUJUMDAR, A. S. Food technologies: drying. **Encyclopedia of Food Safety**, v. 3, p. 156–167, 2014.

LEHNER, T.B.; SIEGMUND, B. The impact of ventilation during postharvest ripening on the development of flavour compounds and sensory quality of mangoes (*Mangifera indica* L.) cv. Kent. **Food Chemistry**, v. 320, p. 126608, 2020.

LEITE, J. F.; FEITOSA, A. C.; ZUNIGA, A. D. G.; GUIDA, L. M.; SILVA, D. X. Qualidade do fruto do pequi (*Caryocar Brasiliense* Camb.) armazenado sob vácuo em diferentes temperaturas. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 4, p. 21951-21958, 2020.

LERICI, C. R.; PINNAVAIA, M.; DALLA ROSA, M.; BARTOLUCCI, L. Osmotic dehydration of fruit: Influence of osmotic agents on drying behavior and product quality. **Journal of Food Science**, v. 50, p. 1217-1219, 1985.

LI, Y.; WANG, X.; WU, Z.; WAN, N.; YANG, M. Dehydration of hawthorn fruit juices using ultrasound-assisted vacuum drying. **Ultrasonics – Sonochemistry**, v. 68, p. 105219, 2020a.

- LI, X.; ZHANG, L.; PENG, Z.; ZHAO, Y.; WU, K.; ZHOU, N. et al. The impact of ultrasonic treatment on blueberry wine anthocyanin color and its In-vitro anti-oxidant capacity. **Food Chemistry**, v. 333, p. 127455, 2020b.
- LIMA, M. M.; TRIBUZI, G.; SOUZA, J. A. R.; SOUZA, I. G.; LAURINDO, J. B.; CARCIOFI, B. A. M. Vacuum impregnation and drying of calcium-fortified pineapple snacks. **LWT - Food Science and Technology**, v. 72, p. 501–509, 2016.
- LIU, Z.; XIE, L.; ZIELINSKA, M.; PAN, Z.; WANG, J.; DENG, L. et al. Pulsed vacuum drying enhances drying of blueberry by altering micro-, ultrastructure and water status and distribution. **LWT - Food Science and Technology**, v. 142, p. 111013, 2021.
- LUCHESE, C. L.; GURAK, P. D.; MARCZAK, L. D. F. Osmotic dehydration of physalis (*Physalis peruviana* L.): Evaluation of water loss and sucrose incorporation and the quantification of carotenoids. **LWT - Food Science and Technology**, v. 63, n. 2, p. 1128–1136, 2015.
- MAKKAR, H. P. S.; BECKER, K. Vanillin-HCl method for condensed tannins: Effect of organic solvents used for extraction of tannins. **Journal of Chemical Ecology**, v. 19, p. 613-621, 1993.
- MANE, S.; BREMNER, D. H.; TZIBOULA-CLARKE, A.; LEMOS, M. A. Effect of ultrasound on the extraction of total anthocyanins from Purple Majesty potato. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 27, p. 509–514, 2015.
- MARTÍNEZ, R.; TORRES, P.; MENESES, M. A.; FIGUEROA, J. G.; PÉREZ-ALVÁREZ, J. A.; VIUDA-MATOS, M. Chemical, Technological and in vitro antioxidant properties of mango, guava, pineapple and passion fruit dietary fibre concentrate. **Food Chemistry**, v. 35, p. 1520-1526, 2012.
- MARTINS, M. G.; CHADA, P. S. N.; PENA, R. S. Application of pulsed-vacuum on the salt impregnation process of pirarucu fillet. **Food Research International**, v. 120, p. 407–414, 2019.
- MAURER, L. H.; BERSCH, A. M.; SANTOS, R. O.; TRINDADE, S. C.; COSTA, E. L.; PERES, M. M. et al. Postharvest UV-C irradiation stimulates the non-enzymatic and enzymatic antioxidant system of 'Isabel' hybrid grapes (*Vitis labrusca* × *Vitis vinifera* L.). **Food Research International**, v. 102, p. 738–747, 2017.
- MAZZA, K.E.L., SANTIAGO, M.C.P.A., NASCIMENTO, L.S.M., GODOY, R.L.O., SOUZA, E.F., BRÍGIDA, A.I.S. et al. Syrah grape skin valorisation using ultrasound-assisted extraction: Phenolic compounds recovery, antioxidant capacity and phenolic profile. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 54, n. 3, p. 641-650, 2018.
- MEDEIROS, R. A. B.; BARROS, Z. M. P.; CARVALHO, C. B. O.; NETA, E. G. F.; MACIEL, M. I. S.; AZOUBEL, P. M. Influence of dual-stage sugar substitution pretreatment on drying kinetics and quality parameters of mango. **LWT - Food Science and Technology**, v. 67, p. 167-173, 2016.

MEDEIROS, R. A. B.; JÚNIOR, E. V. S.; SILVA, J. H. F.; NETO, O. C. F.; BRANDÃO, S. C. R.; BARROS, Z. M. P. et al. Effect of different grape residues polyphenols impregnation techniques in mango. **Journal of Food Engineering**, v. 262, p. 1–8, 2019a.

MEDEIROS, R.A.B.; BARROS, Z.M.P.; CARVALHO, C.B. O.; COELHO, A.C.D.; MACIEL, M.I.S.; AZOUBEL, P.M. Dual-stage sugar substitution in Tommy Atkins mango. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 23, n. 1, p. 60-64, 2019b.

MELO, P. S.; PRADO, A.; DENNY, C.; FERRACINI, L.; FRANCHIN, M.; ELIAS, G. et al. Winery by-products: extraction, optimization, phenolic composition and cytotoxic evaluation to act as a new source of scavenging of reactive oxygen species. **Food Chemistry**, v. 181, p. 160–169, 2015.

MELO, V. S.; SANTANA, F.; LARA JÚNIOR, J. M.; SOUSA, M. S. B. Aproveitamento da farinha de semente de uva na elaboração de biscoitos tipo cookie: composição química e aceitabilidade. In: Bomfim, B.L.S. et al.. (Org.). **Biodiversidade: educação, saúde e conservação**. 1ed.Uruçuí - PI: IFPI, 2018, p. 56-66.

MESQUITA, A. C. N. **Composição nutricional de resíduos de frutas com uso potencial na alimentação de aves**. 2018. 59 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal, Mossoró, RN, 2018.

MIANO, A. C.; ROJAS, M. L.; ESTEVES, P.; AUGUSTO, D. Structural changes caused by ultrasound pretreatment: direct and indirect demonstration in potato cylinders. **Ultrasonics – Sonochemistry**, v. 52, p. 176-183, 2019.

MICHALSKA, A.; LYSIAK, G. Bioactive compounds of blueberries: post-harvest factors influencing the nutritional value of products. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 16, n. 8, p. 18642-18663, 2015.

MORAIS, J. S.; SANT'ANA, A. S.; DANTAS, A. M.; SILVA, B. S.; LIMA, M. S.; BORGES, G. C. et al. Antioxidant activity and bioaccessibility of phenolic compounds in white, red, blue, purple, yellow and orange edible flowers through a simulated intestinal barrier. **Food Research International**, v. 131, p. 109046, 2020.

MORENO, J.; BUGUEÑO, G.; VELASCO, V.; PETZOLD, G.; TABILO-MUNIZAGA, G. Osmotic dehydration and vacuum impregnation on physicochemical properties of chilean papaya (*Carica candamarcensis*). **Journal of Food Science**, v. 69, p. 102-106, 2006.

MORENO, J.; SIMPSON, R.; PIZARRO, N.; PARADA, K.; PINILLA, N.; REYES, J. E. et al. Effect of ohmic heating and vacuum impregnation on the quality and microbial stability of osmotically dehydrated strawberries (cv. Camarosa). **Journal of Food Engineering**, v. 110, n. 2, p. 310–316, 2012.

MUÑOZ-LABRADOR, A.; PRODANOV, M.; VILLAMIEL, M. Effects of high intensity

ultrasound on disaggregation of a macromolecular procyanidin-rich fraction from *Vitis vinifera* L. seed extract and evaluation of its antioxidant activity. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 50, p. 74–81, 2019.

NATIVIDADE, M. M. P.; CORRÊA, L. C.; SOUZA, S. V. C.; PEREIRA, G. E.; LIMA, L. C. O. Simultaneous analysis of 25 phenolic compounds in grape juice for HPLC: Method validation and characterization of São Francisco Valley samples. **Microchemical Journal**, v. 110, p. 665–674, 2013.

NATOLINO, A.; PORTO, C. Kinetic models for conventional and ultrasound assistant extraction of polyphenols from defatted fresh and distilled grape marc and its main components skins and seeds. **Chemical Engineering Research and Design**, v. 156, p. 1–12, 2020.

NAYAK, A.; BHUSHAN, B.; ROSALES, A.; TURIENZO, L. R.; CORTINA, J. L. Valorisation potential of Cabernet grape pomace for the recovery of polyphenols: Process intensification, optimisation and study of kinetics. **Food and Bioprocess Technology**, v. 109, p. 74–85, 2018.

NERI, L.; BIASE, L.; SACCHETTI, G.; MATTIA, C.; SANTARELLI, V.; MASTROCOLA, D. et al. Use of vacuum impregnation for the production of high quality fresh-like apple products. **Journal of Food Engineering**, v. 179, p. 98–108, 2016.

NOORBAKHSR, R.; YAGHMAEE, P.; DURANCE, T. Radiant energy under vacuum (REV) technology: A novel approach for producing probiotic enriched apple snacks. **Journal of Functional Foods**, v. 5, p. 1049–1056, 2013.

NOWACKA, M.; TYLEWICZ, U.; ROMANI, S.; DALLA ROSA, M.; WITROWA-RAJCHERT, D. Influence of ultrasound-assisted osmotic dehydration on the main quality parameters of kiwifruit. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 41, p. 71–78, 2017.

OCCHINO, E.; HERNANDO, I.; LLORCA, E.; NERI, L.; PITTIA, P. Effect of vacuum impregnation treatments to improve quality and texture of zucchini (*Cucurbita Pepo*, L). **Procedia Food Science**, v. 1, p. 829–835, 2011.

OLIVEIRA, M. H. S. B.; FILHO, A. J. M. F.; SILVA JÚNIOR, E. V.; SILVA, E. S.; PAIM, A. P. S.; HONORATO, F. A.; et al. Impregnation and drying to develop a melon snack enriched in calcium. **Journal of Food Science and Technology**, v. 58, p. 672–679, 2021.

ORTIZ-GARCÍA-CARRASCO, B.; YAÑEZ-MOTA, E.; PACHECO-AGUIRRE, F. M.; RUIZ-ESPINOSA, H.; GARCÍA-ALVARADO, M. A.; CORTÉS-ZAVALETA, O. et al. Drying of shrinkable food products: Appraisal of deformation behaviour and moisture diffusivity estimation under isotropic shrinkage. **Journal of Food Engineering**, v. 144, p. 138–147, 2015.

OTHMAN, S. H.; ABDULLAH, N. A.; NORDIN, N.; SHAH, N. N. A. K.; NOR, M. Z. M.; YUNOS, K. F. M. Shelf life extension of Saba banana: Effect of preparation,

vacuum packaging, and storage temperature. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 28, p. 100667, 2021.

PAN, Z.; QU, W.; MA, H.; ATUNGULU, G. G.; MCHUGH, T. H. Continuous and pulsed ultrasound-assisted extractions of antioxidants from pomegranate peel. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 19, p. 365–372, 2011.

PANIĆ, M.; GUNJEVIĆ, V.; CRAVOTTO, G.; REDOVNIKOVIĆ, I.R. Enabling technologies for the extraction of grape-pomace anthocyanins using natural deep eutectic solvents in up-to-half-litre batches extraction of grape-pomace anthocyanins using NADES. **Food Chemistry**, v. 300, p. 125185, 2019.

PASCARIU, S. M.; POP, I. M.; ALBU, A. Degradation degree of polyphenols depending on drying temperature of grape pomace. **Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca. Animal Science and Biotechnologies**, v. 71, p. 212-217, 2014.

PHISUT, N. Factors affecting mass transfer during osmotic dehydration of fruits. **International Food Research Journal**, v. 19, p. 7–18, 2012.

PONTES, S. F. O.; SANTOS, C. T.; BONOMO, R. C. F.; PONTES, L. V. FONTAN, R. C. I. Determinação das curvas de secagem em camada delgada de pimenta de cheiro (*Capsicum chinense*) a diferentes temperaturas. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 11, n. 2, p. 143-148, 2009.

POVEDA, J. M.; LOARCE, L.; ALARCÓN, M.; DÍAZ-MAROTO, M. C.; ALAÑÓN, M. E. Revalorization of winery by-products as a source of natural preservatives obtained by means of green extraction techniques. **Industrial Crops and Products**, v. 112, p. 617–625, 2018.

QI, Y.; YU, F.; WANG, X. WAN, N.; YANG, M.; WU, Z. et al. Drying of wolfberry fruit juice using low-intensity pulsed ultrasound. **LWT - Food Science and Technology**, v. 141, p. 110953, 2021.

RADZIEJEWSKA-KUBZDELA, E.; BIEGAŃSKA-MARECIK, R.; KIDOŃ, M. Applicability of Vacuum Impregnation to Modify Physico-Chemical, Sensory and Nutritive Characteristics of Plant Origin Products—A Review. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 15, n. 9, p. 16577–16610, 2014.

RAHMAN, M. S.; LAMB, J. Osmotic dehydration of pineapple. **Journal of Food Science and Technology**, v. 27, n. 3, p. 150-152, 1990.

RAOULT-WACK, A. L. Recent advances in the osmotic dehydration of foods. **Trends in Food Science and Technology**, v. 5, n. 8, p. 255-260, 1994.

RASCÓN, M. P.; HUERTA-VERA, K.; PASCUAL-PINEDA, L. A.; CONTRERAS-OLIVA, A.; FLORES-ANDRADE, E.; CASTILLO-MORALES, M. et al. Osmotic dehydration assisted impregnation of *Lactobacillus rhamnosus* in banana and effect of water activity on the storage stability of probiotic in the freeze-dried product. **LWT - Food Science and Technology**, v. 92, p. 490–496, 2018.

RIBEIRO, T. P.; LIMA, M. A. C.; TRINDADE, D. C. G.; NETO, F. P. L.; RISTOW, N. C. Quality and bioactive compounds in fruit of foreign accessions of mango conserved in an Active Germplasm Bank. **Revista Ciencia Agronomica**, v. 46, n. 1, p. 117–125, 2015.

ROCKENBACH, I. I.; RODRIGUES, E.; GONZAGA, L. V.; CALIARI, V.; GENOVESE, M. I.; GONÇALVES, A. E. S. S.; FETT, R. Phenolic compounds content and antioxidant activity in pomace from selected red grapes (*Vitis vinifera* L. and *Vitis labrusca* L.) widely produced in Brazil. **Food Chemistry**, v. 127, p. 174–179, 2011.

RODRIGUEZ-AMAYA, D.B. **A guide to carotenoid analysis in foods**. International Life Science Institute Press, Washington, 1999. 64p.

ROMANINI, E.B.; RODRIGUES, L.M.; FINGER, A.; CHIERRITO, T.P.C.; SCAPIM, M.R.S.; MADRONA, G.S. Ultrasound assisted extraction of bioactive compounds from BRS Violet grape pomace followed by alginate-Ca²⁺ encapsulation. **Food Chemistry**, v. 338, p. 128101, 2021.

ROMERO-DÍEZ, R.; MATOS, M.; RODRIGUES, L.; BRONZE, M. R.; RODRÍGUEZ-ROJO, S. Microwave and ultrasound pre-treatments to enhance anthocyanins extraction from different wine lees. **Food Chemistry**, v. 272, p. 258–266, 2019.

RUMAINUM, I. M.; WORARAD, K.; SRILAONG, V.; YAMANE, K. Fruit quality and antioxidant capacity of six Thai mango cultivars. **Agriculture and Natural Resources**, v. 52, n. 2, p. 208–214, 2018.

SÁNCHEZ-CAMARGO, A.P.; GUTIÉRREZ, L.F.; VARGAS, S.M.; MARTINEZ-CORREA, H.A.; PARADA-AFONSO, F.; NARVÁEZ-CUENCA. Valorisation of mango peel: Proximate composition, supercritical fluid extraction of carotenoids, and application as an antioxidant additive for an edible oil. **Journal of Supercritical Fluids**, v. 152, p. 104574, 2019.

SANTACATALINA, J. V.; RODRÍGUEZ, O.; SIMAL, S.; CÁRCEL, J. A.; MULET, A.; GARCÍA-PÉREZ, J. V. Ultrasonically enhanced low-temperature drying of apple: Influence on drying kinetics and antioxidant potential. **Journal of Food Engineering**, v. 138, p. 35–44, 2014.

SÃO JOSÉ, J. F. B.; ANDRADE, N. J.; RAMOS, A. M.; VANETTI, M. C. D.; STRINGHETA, P. C.; CHAVES, J. B. P. Decontamination by ultrasound application in fresh fruits and vegetables. **Food Control**, v. 45, p. 36–50, 2014.

SCHÖSSLER, K.; JÄGER, H.; KNORR, D. Effect of continuous and intermittent ultrasound on drying time and effective diffusivity during convective drying of apple and red bell pepper. **Journal of Food Engineering**, v. 108, p. 103–110, 2012.

SCHULZE, B.; HUBBERMANN, E. M.; SCHWARZ, K. Stability of quercetin derivatives in vacuum impregnated apple slices after drying (microwave vacuum drying, air drying, freeze drying) and storage. **LWT - Food Science and Technology**, v. 57, n. 1, p. 426–433, 2014.

SEHRAWAT, R.; NEMA, P. K.; KAUR, B. P. Quality evaluation and drying characteristics of mango cubes dried using low-pressure superheated steam, vacuum and hot air drying methods. **LWT - Food Science and Technology**, v. 92, p. 548– 555, 2018.

SERVILLO, L.; BALESTRIERI, M. L.; GIOVANE, A.; SIO, F.; CANNAVACCIUOLO, M. SQUITIERI, G. et al. Improving diced tomato firmness by pulsed vacuum calcification. **LWT - Food Science and Technology**, v. 92, p. 451-457, 2018.

SHARMA, M.; DASH, K.K. Effect of ultrasonic vacuum pretreatment on mass transfer kinetics during osmotic dehydration of black jamun fruit. **Ultrasonics – Sonochemistry**, v. 58, p. 104693, 2019.

SHIRSATH, S. R.; SONAWANE, S. H.; GOGATE, P. R. Intensification of extraction of natural products using ultrasonic irradiations—A review of current status. **Chemical Engineering and Processing**, v. 53, p.10–23, 2012.

SILVA JUNIOR, E. V.; MELO, L. L.; MEDEIROS, R. A. B.; BARROS, Z. M. P.; AZOUBEL, P. M. Influence of ultrasound and vacuum assisted drying on papaya quality parameters. **LWT- Food Science and Technology**, v. 97, p. 317-322, 2018.

SILVA, E. S.; BRANDÃO, S. C. R., SILVA, A. L, SILVA, J. H. F., COELHO, A. C. D., AZOUBEL, P. M. Ultrasound-assisted vacuum drying of nectarine. **Journal of Food Engineering**, v. 246, p. 119–124, 2019.

SILVA, G. D.; BARROS, Z. M. P.; MEDEIROS, R. A. B.; CARVALHO, C. B. O.; BRANDÃO, S. C. R.; AZOUBEL, P. M. Pretreatments for melon drying implementing ultrasound and vacuum. **LWT - Food Science and Technology**, v. 74, p. 114–119, 2016.

SILVA, T. M.; ARGANDOÑA, E. J. S.; MADRONA, G. S.; MORAES, I. C. F.; HAMINIUK, C. W. I.; BRANCO, I. G. Influence of osmotic dehydration on ascorbic acid loss in pickled dry peppers (*Capsicum Chinense*). **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 55, n. 5, p. 763–769, 2012.

SINGLETON, V. L.; ORTHOFER, R.; LAMUELA, R. M. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin Ciocalteau reagent. **Methods in Enzymology**, v. 299, p. 152-178, 1999.

SONG, J.; MENG, L.; LI, D.; QIAN, M.; LIU, C. Prétraitement par imprégnation sous vide avec du sirop de maltose pour améliorer la qualité de la racine de lotus congelée. **International Journal of Refrigeration**, v. 76, p. 261–270, 2017.

SORIA, A. C.; VILLAMIEL, M. Effect of ultrasound on the technological properties and bioactivity of food: a review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 21, p. 323-331, 2010.

SU, Y.; ZHANG, M.; BHANDARI, B.; ZHANG, W. Enhancement of water removing and the quality of fried purple-fleshed sweet potato in the vacuum frying by combined

power ultrasound and microwave technology. **Ultrasonics - Sonochemistry**, v. 44, p. 368- 379, 2018.

SULISTYAWATI, I.; DEKKER, M.; FOGLIANO, V.; VERKERK, R. Osmotic dehydration of mango: Effect of vacuum impregnation, high pressure, pectin methylesterase and ripeness on quality. **LWT - Food Science and Technology**, v. 98, p. 179–186, 2018.

TARONE; A. G.; SILVA, E. K.; BARROS, H. D. F. Q.; CAZARIN, C. B. B.; JUNIOR, M. R. M. High-intensity ultrasound-assisted recovery of anthocyanins from jaboticaba by-products using green solvents: Effects of ultrasound intensity and solvent composition on the extraction of phenolic compounds. **Food Research International**, v. 140, p. 110048, 2021.

TAŞERI, L.; AKTAŞ, M.; ŞEVİK, S.; GÜLCÜ, M.; SEÇKİN, G. U.; AKTEKELİ, B. Determination of drying kinetics and quality parameters of grape pomace dried with a heat pump dryer. **Food Chemistry**, v. 260, p. 152–159, 2018.

TEKİN, Z. H.; BAŞLAR, M.; KARASU, S.; KILICLI, M. Dehydration of green beans using ultrasound-assisted vacuum drying as a novel technique: drying kinetics and quality parameters. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 41, n. 6, p. 13227, 2017.

TIWARI, B.K. Ultrasound: a clean, green extraction technology. **TrAC Trends in Analytical Chemistry**, v, 71, p. 100–109, 2015.

TORREGGIANI, D. Osmotic dehydration in fruit and vegetable processing. **Food Research International**, v. 26, n. 1, p. 59-68, 1993.

TORREGGIANI, D.; BERTOLO, G. Osmotic pretreatments in fruit processing: Chemical, physical and structural effects. **Journal of Food Engineering**, v. 49, p. 247–253. 2001.

TROLLER, J. A. Influence of water activity on microorganisms in foods. **Food Technology**, v. 29, p. 76-82, 1980.

UNUSAN, N. Proanthocyanidins in grape seeds: An updated review of their health benefits and potential uses in the food industry. **Journal of Functional Foods**, v. 67, p. 103861, 2020.

VASCONCELOS, O. C., DUARTE, D., SILVA, J., MESA, N. F., MEDEROS, B. J.; FREITAS, S. T. Modeling 'Tommy Atkins' mango cooling time based on fruit physicochemical quality. **Scientia Horticulturae**, v. 244, p. 413–420, 2019.

VEILLET, S.; TOMAO, V.; CHEMAT, F. Ultrasound assisted maceration: An original procedure for direct aromatization of olive oil with basil. **Food Chemistry**, v. 123, p. 905–911, 2010.

VILLAMIEL, M., GARCIA-PEREZ, J. V., MONTILLA, A., CARCEL, J. A., & BENEDITO, J. **Ultrasound in food Processing: Recent advances**. John Wiley & Sons, 2017. 544p.

VITHANA, M.D.K.; SINGH, Z.; JOHNSON, S.K. Harvest maturity stage affects the concentrations of health-promoting compounds: Lupeol, mangiferin and phenolic acids in the pulp and peel of ripe 'Kensington Pride' mango fruit. **Scientia Horticulturae**, v. 243, p. 125-130, 2019.

WANG, H.; FANG, X.; SUTAR, P. P.; MENG, J.; WANG, J. YU, X. et al. Effects of vacuum-steam pulsed blanching on drying kinetics, colour, phytochemical contents, antioxidant capacity of carrot and the mechanism of carrot quality changes revealed by texture, microstructure and ultrastructure. **Food Chemistry**, v. 338, p. 127799, 2021.

WANG, J.; LAW, C.; NEMA, P. K.; ZHAO, J.; LIU, Z.; DENG, L. et al. Pulsed vacuum drying enhances drying kinetics and quality of lemon slices. **Journal of Food Engineering**, v. 224, p. 129-138, 2018.

WANG, J.; WANG, J.; YE, J.; KRANTHI, S.; RAGHAVAN, V. Influence of high-intensity ultrasound on bioactive compounds of strawberry juice: Profiles of ascorbic acid, phenolics, antioxidant activity and microstructure. **Food control**, v. 96, p. 128–136, 2019.

WOJDYLO, A.; FIGIEL, A.; LEGUA, P.; LECH, K.; CARBONELL-BARRACHINA, A. A.; HERNÁNDEZ, F. Chemical composition, antioxidant capacity, and sensory quality of dried jujube fruits as affected by cultivar and drying method. **Food chemistry**, v. 207, p. 170-179, 2016.

XIE, Y.; GAO, Z.; LIU, Y.; XIAO, H. Pulsed vacuum drying of rhizoma dioscoreae slices. **LWT - Food Science and Technology**, v. 80, p. 237-249, 2017.

XU, B.; WU, S. Preservation of mango fruit quality using fucoidan coatings. **LWT - Food Science and Technology**, v. 143, p. 111150, 2021.

XU, B.; ZHANG, M.; BHANDARI, B.; CHENG, X. Influence of ultrasound- assisted osmotic dehydration and freezing on the water state, cell structure, and quality of radish (*Raphanus sativus* L.) cylinders. **Drying technology**, v. 32, p. 1803-1811, 2014.

YAMAMOTO, L. Y.; ASSIS, A. M.; ROBERTO, S. R.; BOVOLENTA, Y. R.; NIXDORF, S. L. GARCÍA-ROMERO, E. et al. Application of abscisic acid (S-ABA) to cv. Isabel grapes (*Vitis vinifera* × *Vitis labrusca*) for color improvement: Effects on color, phenolic composition and antioxidant capacity of their grape juice. **Food Research International**, v. 77, p. 572–583, 2015.

YANG, Y.; DONG, G.; WANG, N.; XIAN, X.; WANG, J.; LIANG, X. Multifungicide resistance profiles and biocontrol in *Lasiodiplodia theobromae* from mango fields. **Crop Protection**, v. 145, p. 105611, 2021.

YAO, Y. Enhancement of mass transfer by ultrasound: Application to adsorbent regeneration and food drying/dehydration. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 31, p. 512–531, 2016.

YILMAZ, F. M.; BILEK, S. E. Ultrasound-assisted vacuum impregnation on the fortification of fresh-cut apple with calcium and black carrot phenolics. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 48, p. 509–516, 2018.

YU, F.; LI, Y.; WU, Z.; WANG, X.; WAN, N.; YANG, M. Dehydration of wolfberry fruit using pulsed vacuum drying combined with carboxymethyl cellulose coating pretreatment. **LWT - Food Science and Technology**, v. 134, p. 110159, 2020.

YU, X.; BAO, X.; ZHOU, C.; ZHANG, L.; YAGOUB, A.E.A.; YANG, H. et al. Ultrasound-ionic liquid enhanced enzymatic and acid hydrolysis of biomass cellulose. **Ultrasonics - Sonochemistry**, v. 41, p. 410-418, 2018.

YUAN, H., GUAN, R., WACHEMO, A.C., ZHU, C., ZOU, D., LI, Y. et al. Enhancing methane production of excess sludge and dewatered sludge with combined low frequency CaO-ultrasonic pretreatment. **Bioresource Technology**, v. 273, p. 425-430, 2019.

ZHANG, Q.; WANG, T. Effect of ultrasound irradiation on the evolution of color properties and major phenolic compounds in wine during storage. **Food Chemistry**, v. 234, p. 372–380, 2017.

ZHANG, Y.; ABATZOGLOU, N. Review: Fundamentals, applications and potentials of ultrasound-assisted drying. **Chemical Engineering Research and Design**, v. 154, p. 21–46, 2020.

ZHANG, Z., ZHU, Q., HU, M., GAO, Z., AN, F., LI, M. et al. Low-temperature conditioning induces chilling tolerance in stored mango fruit. **Food Chemistry**, v. 219, p. 76–84, 2017.

ZHU, M. T., HUANG, Y. S., WANG, Y. L., SHI, T., ZHANG, L. L., CHEN, Y. et al. Comparison of (poly)phenolic compounds and antioxidant properties of pomace extracts from kiwi and grape juice. **Food Chemistry**, v. 271, p. 425–432, 2019.

ZOU, K.; TENG, J.; HUANG, L.; DAI, X.; WEI, B. Effect of osmotic pretreatment on quality of mango chips by explosion puffing drying. **LWT - Food Science and Technology**, v. 51, n. 1, p. 253-259, 2013.

APÊNDICE A - FORMULÁRIO DA ANÁLISE SENSORIAL**FORMULÁRIO DA ANÁLISE SENSORIAL****Teste de Aceitabilidade**

Nome: _____

Idade: _____

Data: _____

Por favor, prove as amostras e pontue de acordo com a escala abaixo.

Enxágue a boca com água entre cada amostra e espere 30 segundos antes de provar a próxima.

Amostra	Aroma	Sabor	Textura	Aparência global

9. Gostei extremamente
8. Gostei muito
7. Gostei moderadamente
6. Gostei ligeiramente
5. Indiferente
4. Desgostei ligeiramente
3. Desgostei moderadamente
2. Desgostei muito
1. Desgostei extremamente

APÊNDICE B - TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE)

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE CIÊNCIAS DA SAÚDE
DEPARTAMENTO DE NUTRIÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM NUTRIÇÃO

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Convidamos o (a) Sr.(a) para participar como voluntário (a) da pesquisa *Influência da incorporação de compostos fenólicos de resíduo de uva na produção de manga desidratada*, que está sob a responsabilidade do pesquisador Rafael Augusto Batista de Medeiros (Rua Prof. Artur de Sá, s/n – Cidade Universitária. CEP: 50.740-521. E-mail: rafaelmestrado2013@gmail.com); e está sob a orientação da professora Patrícia Moreira Azoubel (Rua Prof. Artur de Sá, s/n – Cidade Universitária. CEP: 50.740-521. E-mail: pazoubel@gmail.com).

Este Termo de Consentimento pode conter alguns tópicos que o/a senhor/a não entenda. Caso haja alguma dúvida, pergunte à pessoa a quem está lhe entrevistando, para que o/a senhor/a esteja bem esclarecido (a) sobre tudo que está respondendo. Após ser esclarecido (a) sobre as informações a seguir, no caso de aceitar a fazer parte do estudo, rubrique as folhas e assine ao final deste documento, que está em duas vias. Uma delas é sua e a outra é do pesquisador responsável. Em caso de recusa, o (a) Sr.(a) não será penalizado (a) de forma alguma. Também garantimos que o (a) Senhor (a) tem o direito de retirar o consentimento da sua participação em qualquer fase da pesquisa, sem qualquer penalidade.

INFORMAÇÕES SOBRE A PESQUISA:

Esse projeto de pesquisa tem como objetivo avaliar a influência da incorporação de compostos fenólicos (substâncias antioxidantes que combatem radicais livres e impedem danos às células) extraídos do resíduo da uva na produção de manga desidratada. Os resíduos agroindustriais da uva, ricos em compostos antioxidantes, serão utilizados para proteger os compostos nutricionais presentes na manga durante o processo de desidratação. Dessa forma, a manga desidratada conservará seus nutrientes.

A análise sensorial terá duração em torno de 10 minutos por voluntário. No teste de aceitação, o provador deverá provar cada amostra e atribuir uma pontuação 1 a 9 pontos (1= desgostei extremamente, 9= gostei extremamente). Os dados serão preenchidos em formulário disponibilizado pelo pesquisador. As amostras serão acompanhadas de copo com água para ser utilizado pelo provador entre cada prova da manga desidratada para limpeza das papilas gustativas. Os atributos avaliados serão a aparência, o aroma, o sabor, a textura e impressão global.

Em relação aos riscos, aqueles inerentes à contaminação da fruta e do resíduo da uva serão minimizados adotando-se procedimentos seguros para manipulação e armazenamento, segundo as recomendações da legislação sanitária.

Acerca dos benefícios, o projeto apresenta abordagem pouco explorada sobre a preservação de frutas desidratadas a partir da incorporação de compostos antioxidantes de resíduos agroindustriais de uva cultivadas no Nordeste brasileiro. Com os resultados da pesquisa, espera-se definir a melhor

condição de processamento em relação à preservação dos carotenoides da manga e contribuir para o aumento da comercialização de frutas desidratadas. Além disso, devem ser consideradas as perspectivas de publicações científicas e a expansão do conhecimento no meio acadêmico.

As informações desta pesquisa serão confidenciais e serão divulgadas apenas em eventos ou publicações científicas, não havendo identificação dos voluntários, a não ser entre os responsáveis pelo estudo, sendo assegurado o sigilo sobre sua participação. Os formulários preenchidos que serão coletados nessa pesquisa ficarão armazenados em CD-ROM, sob responsabilidade do pesquisador principal, Rafael Augusto Batista de Medeiros, no endereço: Rua Prof. Artur de Sá, s/n – Cidade Universitária. CEP: 50.740-521, pelo período de 5 anos.

O (a) senhor (a) não pagará nada para participar da pesquisa. Se houver necessidade, as despesas para sua participação serão assumidas pelos pesquisadores (ressarcimento de transporte e alimentação). Fica também garantida indenização em caso de danos, comprovadamente decorrentes da participação na pesquisa, conforme decisão judicial ou extra-judicial.

Em caso de dúvidas relacionadas aos aspectos éticos deste estudo, você poderá consultar o Comitê de Ética em Pesquisa Envolvendo Seres Humanos da UFPE no endereço: **(Avenida da Engenharia s/n – 1º Andar, sala 4 - Cidade Universitária, Recife-PE, CEP: 50740-600, Tel.: (81) 2126.8588 – e-mail: cepccs@ufpe.br**.

Pesquisador: Rafael Augusto Batista de Medeiros

CONSENTIMENTO DA PARTICIPAÇÃO DA PESSOA COMO VOLUNTÁRIO (A)

Eu, _____,
RG: _____ e CPF: _____, abaixo assinado, concordo em participar do estudo "*Influência da incorporação de compostos fenólicos de resíduo de uva na produção de manga desidratada*", como voluntário (a). Fui devidamente informado (a) e esclarecido (a) pelo (a) pesquisador (a) sobre a pesquisa, os procedimentos nela envolvidos, assim como os possíveis riscos e benefícios decorrentes de minha participação. Foi-me garantido que posso retirar meu consentimento a qualquer momento, sem que isto leve a qualquer penalidade.

Local e data: _____

Assinatura do participante: _____

Presenciamos a solicitação de consentimento, esclarecimentos sobre a pesquisa e o aceite do voluntário em participar. (02 testemunhas não ligadas à equipe de pesquisadores):

Nome:	Nome:
Assinatura:	Assinatura:

APÊNDICE C - ARTIGO PUBLICADO: Effect of different grape residues polyphenols impregnation techniques in mango

Journal of Food Engineering 262 (2019) 1–8

Contents lists available at ScienceDirect

Journal of Food Engineering

journal homepage: www.elsevier.com/locate/jfoodeng




Effect of different grape residues polyphenols impregnation techniques in mango



Rafael Augusto Batista de Medeiros^a, Edvaldo Vieira da Silva Júnior^a,
 João Henrique Fernandes da Silva^b, Oscar da Cunha Ferreira Neto^b,
 Shirley Clyde Rupert Brandão^b, Zilmar Meireles Pimenta Barros^c, Otidene Rossiter Sá da Rocha^b,
 Patrícia Moreira Azoubel^{b,*}

^a Universidade Federal de Pernambuco, Departamento de Nutrição, Av. Moraes Rego, s/n, Cidade Universitária, Recife, PE, 50670-901, Brazil

^b Universidade Federal de Pernambuco, Departamento de Engenharia Química, Av. Prof. Arthur de Sá, s/n, Cidade Universitária, Recife-PE, 50740-521, Brazil

^c Universidade Federal de Pernambuco, Departamento de Antibióticos, Av. Prof. Moraes Rego, 1235, Cidade Universitária, Recife-PE, 50670-901, Brazil

ARTICLE INFO

Keywords:
 Impregnation
 Osmotic dehydration
 Ultrasound
 Vacuum

ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate the effect of the incorporation of grape residue polyphenols in mango using different impregnation methods. Experiments were performed at atmospheric pressure or vacuum, and with or without performing osmotic treatment and ultrasound. The samples were evaluated after the different impregnation techniques in terms of carotenoids, phenolic compounds, ascorbic acid, energy consumption, color, and firmness. The osmotic dehydration assisted impregnation showed positive results in relation to the incorporation of polyphenols in the mango (3.22–3.34 mg GAE/g DM), but negative in relation to carotenoids (27.37–32.71 µg/g DM) and ascorbic acid (11.90–16.22 mg/100 g DM), while the use of ultrasound showed results satisfactory in all evaluated parameters. The combination of ultrasound and osmotic dehydration in the impregnation resulted in samples with higher losses of carotenoids (28.8–29.38 µg/g DM), small incorporation of phenolic compounds (2.21–2.54 mg GAE/g DM) and retention of ascorbic acid (21.34–22.32 mg/100 g DM). Although the total energy expenditure was higher (0.05–0.09 kWh), the vacuum impregnation and ultrasound-assisted vacuum impregnation assays presented the best performance in relation to the retention of carotenoids (33.07–34.53 µg/g DM) and ascorbic acid (28.29–40.97 mg/100 g DM), greater incorporation of polyphenols from the grape residue by mango (6.29–7.74 mg GAE/g DM), greater color change due to the presence of grape residue extract, and softer texture when compared to untreated samples.

1. Introduction

Mango is a climacteric fruit that suffers major changes in its physicochemical activity during the long process of maturation and during processing (Vasconcelos et al., 2019). In this perspective, the incorporation of compounds of nutritional interest in fruits emerged as an alternative technology for maintenance and improvement of its nutritional value (Ahmed et al., 2016).

There are several forms of impregnation that can be used in fruits. The vacuum impregnation (VI) is characterized by the substitution of the air initially occluded in the pores of the fruits with the impregnation solution. With pressure gradients, the air of the porous fraction is released until atmospheric pressure conditions are restored and the liquid phase penetrates into the plant tissue (Schulze et al., 2014). However,

other alternative technologies can be used to optimize the impregnation process, such as ultrasound (Yılmaz and Bilek, 2018), osmotic dehydration (Rascón et al., 2018) and the combination of ultrasound and osmotic dehydration (Feng et al., 2019).

Osmotic dehydration (OD) has received considerable attention because it is a simple technique, inexpensive and low energy consumption, but results in the modification of the vegetal tissue and can alter the nutritional, textural and sensory composition of the fruit (Feng et al., 2019). It consists of a process of immersion of food in a concentrated solution, which causes partial removal of the water and simultaneously increases the migration of solids from the solution towards the surface and the interior of the biological material (Torreggiani and Bertolo, 2001). Thus, it may be incorporating physiologically active components, such as prebiotics, antioxidants, and

* Corresponding author.
 E-mail address: pazoubel@gmail.com (P.M. Azoubel).

<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.05.011>
 Received 2 January 2019; Received in revised form 12 April 2019; Accepted 11 May 2019
 Available online 15 May 2019
 0260-8774/ © 2019 Elsevier Ltd. All rights reserved.

APÊNDICE D - ARTIGO PUBLICADO: Grape residue anthocyanin extraction using ultrasound

GRAPE RESIDUE ANTHOCYANIN EXTRACTION USING ULTRASOUND

Rafael A. B. de Medeiros, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE, Brazil
Oscar da C. Ferreira Neto, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE, Brazil
Gabriel C. Bevilaqua, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE, Brazil
João H. F. da Silva, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE, Brazil
Edvaldo V. da Silva Jr., Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE, Brazil
Shirley C. R. Brandão, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE, Brazil
Patricia M. Azoubel, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE, Brazil

Introduction

There is a growing consumer demand for a wide variety of fruits in their diet. And this interest extends not only to fresh fruits, but also to processed juices (Maia et al., 2007). However, during the processing of fruits and vegetables there is a large amount of waste generated, being discarded in the environment or used as low value-added products (Shui and Leong, 2006).

Fruits and vegetables contain many antioxidant compounds, such as vitamins, carotenoids, flavonoids, among others (Larson, 1988), which can protect us from chronic diseases such as cancer, diabetes, cardiovascular and neurological disorders (Del Caro et al., 2004).) and are commonly present in their waste (Anagnostopoulou et al., 2006; Mandalari et al, 2006; Li et al., 2005; Wolfe and Liu, 2003; Wolfe et al., 2003; Larrauri et al., 1999; Coll et al., 1998; Mazza, 1995; Mazza and Miniati, 1995).

Grapes contain considerable amounts of phenolic compounds in the skin, pulp and seeds, which have antioxidant properties (Jara-Palacios et al., 2014). Even so, grape marc, the main by-product of the juice and wine industry, which is basically made up of husks and seeds, is most often discarded, rendering a potential raw material unusable. Thus, the use of production waste as a source of antioxidants represents nutritional, economic and social importance (Luo et al., 2016).

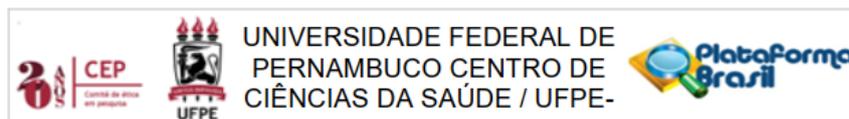
Extraction techniques have been investigated to obtain these valuable natural plant components for commercialization. However, traditionally used methods, such as Soxhlet, require relatively high amounts of solvent and are a long-lasting process (Luque de Castro and Luque de Castro, 2004). Thus, there is a growing demand for new extraction techniques that can overcome these problems and among them, ultrasound-assisted extraction stands out.

Ultrasonic waves applied to food can cause rapid and alternating series of compression and expansion (sponge effect) (Fuente-Blanco et al., 2006). The mechanical effect of ultrasound induces greater solvent penetration into cellular materials and improves mass transfer. The use of ultrasound in extraction can also cause cell walls to rupture, facilitating component output (Mason et al., 1996).

Ultrasound assisted extraction is a simple, inexpensive technique and an efficient alternative to conventional techniques. The major benefits of using this technique in solid-liquid extractions include increased extraction rate and rapid kinetics. Ultrasound can also reduce the operating temperature, allowing the extraction of thermolabile components. Compared to other innovative techniques, such as microwave assisted extraction, ultrasonic equipment is less expensive and simpler to operate. Additionally, ultrasound assisted extraction can be used with various solvents to separate a wide variety of natural components (Wang and Weller, 2006).

Ultrasound assisted extraction has been considered as an effective method in the extraction of bioactive compounds (Mazza et al. 2019, Caldas et al. 2018, Zhu et al. 2019). Thus, the present work

ANEXO A - APROVAÇÃO DO COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA



PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: INFLUÊNCIA DA INCORPORAÇÃO DE COMPOSTOS FENÓLICOS DE RESÍDUO DE UVA NA PRODUÇÃO DE MANGA DESIDRATADA

Pesquisador: Rafael Augusto Batista de Medeiros

Área Temática:

Versão: 1

CAAE: 67193517.0.0000.5208

Instituição Proponente: CENTRO DE CIÊNCIAS DA SAÚDE

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 2.106.724

Apresentação do Projeto:

Trata-se de projeto de doutorado em nutrição do CCS/UFPE, orientado pela professora Patrícia Moreira Azoubel e, será realizado do LEAL/DN/UFPE.

Devido ao aumento do consumo de alimentos processados, surgiu a necessidade do desenvolvimento de novas tecnologias que preservem o valor nutritivo dos alimentos. A manga é rica em compostos bioativos, principalmente carotenoides, que são sensíveis a temperaturas elevadas e, por isso, degradam-se durante o processo de desidratação. Por sua vez, o resíduo agroindustrial da uva possui significativos níveis de compostos antioxidantes com potencial para utilização como agente de preservação e enriquecimento. Assim, a partir da realização desse projeto de pesquisa, espera-se definir a melhor condição de processamento em relação à preservação dos carotenoides da manga.

Objetivo da Pesquisa:

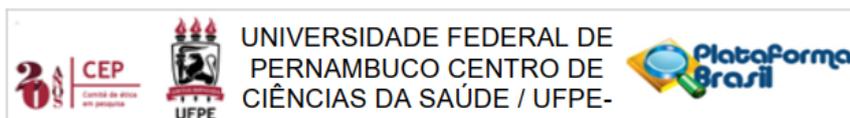
Objetivo Primário:

Avaliar a influência da incorporação de compostos fenólicos extraídos do resíduo da uva na produção de manga desidratada.

Objetivo Secundário:

- Extrair e identificar os compostos fenólicos do resíduo da uva;
- Caracterizar os carotenoides

Endereço: Av. da Engenharia s/nº - 1º andar, sala 4, Prédio do Centro de Ciências da Saúde
Bairro: Cidade Universitária **CEP:** 50.740-800
UF: PE **Município:** RECIFE
Telefone: (81)2126-8588 **E-mail:** cepccs@ufpe.br



Continuação do Parecer: 2.106.724

presentes na manga;• Incorporar os compostos fenólicos do resíduo da uva na manga;• Avaliar o efeito protetor dos compostos fenólicos do resíduo da uva sob os carotenoides da manga;• Estudar diferentes métodos de desidratação da manga após a incorporação dos compostos fenólicos;• Avaliar a aceitabilidade do produto final.

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

Serão mínimos, uma vez que análise sensorial é um método sem maiores riscos para os participantes, mesmo assim esta bem descrito no projeto e TCLE.

Benefícios bem detalhado no projeto e TCLE.

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

Serão utilizadas mangas maduras da variedade 'Tommy Atkins' (Mangífera indica L.) cultivadas Petrolina (PE). Para extração de compostos fenólicos, será utilizado resíduo agroindustrial de uvas variedade Isabel (Vitis labrusca L.) cultivadas no Município de São Vicente Férrer, situado na Zona da Mata Norte do Estado de Pernambuco. PRODUÇÃO DE MANGA DESIDRATADA COM COMPOSTOS FENÓLICOS INCORPORADOS: A obtenção da manga desidratada enriquecida com compostos fenólicos de resíduo de uva será realizada através de três etapas sequencias: a) Extração dos compostos fenólicos do resíduo da uva; b) Incorporação dos compostos fenólicos do resíduo da uva na manga; c) Desidratação da manga enriquecida com compostos fenólicos da uva sob diferentes métodos de secagem. AVALIAÇÃO MICROBIOLÓGICA: As análises microbiológicas serão realizadas previamente à análise sensorial. Os critérios utilizados serão de acordo com a RDC nº 12/01, tais como: Coliformes a 45°C/g e Salmonella sp./25g (BRASIL, 2001). As análises serão realizadas em triplicata com base nas metodologias da AOAC (2002). ANÁLISE SENSORIAL: As amostras de manga serão submetidas a teste sensorial de aceitação (STONE, 2004). Será utilizada escala hedônica com 9 pontos. O teste sensorial será realizado após aprovação do Comitê de Ética em Pesquisa do Centro de Ciências da Saúde da UFPE, conforme Resolução 196/96 (BRASIL, 1996) do Conselho Nacional de Saúde. Os atributos avaliados serão aparência, aroma, sabor e textura.

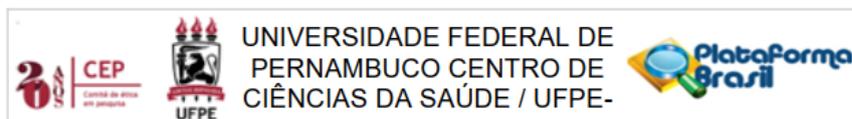
Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

Adequados dentro das normas do CEP.

Recomendações:

Nenhuma

Endereço: Av. da Engenharia s/nº - 1º andar, sala 4, Prédio do Centro de Ciências da Saúde
 Bairro: Cidade Universitária CEP: 50.740-800
 UF: PE Município: RECIFE
 Telefone: (81)2126-8588 E-mail: oepcos@ufpe.br



Continuação do Parecer: 2.106.724

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

Nenhuma.

Considerações Finais a critério do CEP:

O Protocolo foi avaliado na reunião do CEP e está APROVADO para iniciar a coleta de dados. Informamos que a APROVAÇÃO DEFINITIVA do projeto só será dada após o envio da Notificação com o Relatório Final da pesquisa. O pesquisador deverá fazer o download do modelo de Relatório Final para enviá-lo via "Notificação", pela Plataforma Brasil. Siga as instruções do link "Para enviar Relatório Final", disponível no site do CEP/UFPE. Após apreciação desse relatório, o CEP emitirá novo Parecer Consubstanciado definitivo pelo sistema Plataforma Brasil.

Informamos, ainda, que o (a) pesquisador (a) deve desenvolver a pesquisa conforme delimitada neste protocolo aprovado, exceto quando perceber risco ou dano não previsto ao voluntário participante (item V.3., da Resolução CNS/MS Nº 466/12).

Eventuais modificações nesta pesquisa devem ser solicitadas através de EMENDA ao projeto, identificando a parte do protocolo a ser modificada e suas justificativas.

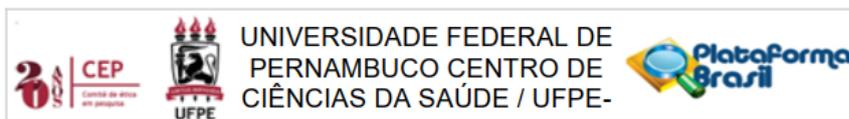
Para projetos com mais de um ano de execução, é obrigatório que o pesquisador responsável pelo Protocolo de Pesquisa apresente a este Comitê de Ética, relatórios parciais das atividades desenvolvidas no período de 12 meses a contar da data de sua aprovação (item X.1.3.b., da Resolução CNS/MS Nº 466/12).

O CEP/UFPE deve ser informado de todos os efeitos adversos ou fatos relevantes que alterem o curso normal do estudo (item V.5., da Resolução CNS/MS Nº 466/12). É papel do/a pesquisador/a assegurar todas as medidas imediatas e adequadas frente a evento adverso grave ocorrido (mesmo que tenha sido em outro centro) e ainda, enviar notificação à ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária, junto com seu posicionamento.

Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BASICAS_DO_PROJETO_857734.pdf	17/04/2017 15:26:34		Aceito
Outros	vinculo_rafael_augusto.pdf	17/04/2017 15:25:41	Rafael Augusto Batista de Medeiros	Aceito
Outros	confidenc.pdf	17/04/2017 15:17:32	Rafael Augusto Batista de Medeiros	Aceito

Endereço: Av. da Engenharia s/nº - 1º andar, sala 4, Prédio do Centro de Ciências da Saúde
Bairro: Cidade Universitária **CEP:** 50.740-800
UF: PE **Município:** RECIFE
Telefone: (81)2126-8588 **E-mail:** cepocs@ufpe.br



Continuação do Parecer: 2.106.724

Projeto Detalhado / Brochura Investigador	projeto_comite.pdf	14/03/2017 16:36:54	Rafael Augusto Batista de Medeiros	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TCLE_Rafael2017.pdf	14/03/2017 16:34:01	Rafael Augusto Batista de Medeiros	Aceito
Outros	curriculorafael.pdf	26/01/2017 15:09:11	Rafael Augusto Batista de Medeiros	Aceito
Outros	curriculopatricia.pdf	26/01/2017 15:08:43	Rafael Augusto Batista de Medeiros	Aceito
Outros	cartadeanuencia.pdf	26/01/2017 15:08:08	Rafael Augusto Batista de Medeiros	Aceito
Folha de Rosto	folhaderosto.pdf	26/01/2017 15:05:23	Rafael Augusto Batista de Medeiros	Aceito

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

RECIFE, 08 de Junho de 2017

Assinado por:
LUCIANO TAVARES MONTENEGRO
(Coordenador)

Endereço: Av. da Engenharia s/nº - 1º andar, sala 4, Prédio do Centro de Ciências da Saúde
Bairro: Cidade Universitária CEP: 50.740-800
UF: PE Município: RECIFE
Telefone: (81)2126-8588 E-mail: cepccs@ufpe.br