



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE CIÊNCIAS DA SAÚDE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM NUTRIÇÃO
GUILHERME MATHEUS PESSOA DE ARRUDA

**EFEITO DO PRÉ-TRATAMENTO ULTRASSÔNICO ASSOCIADO A ETANOL E
SECAGEM POR INFRAVERMELHO NOS PARÂMETROS DE QUALIDADE DO
MAMÃO FORMOSA (*Carica papaya* L.)**

Recife

2021

GUILHERME MATHEUS PESSOA DE ARRUDA

**EFEITO DO PRÉ-TRATAMENTO ULTRASSÔNICO ASSOCIADO A ETANOL E
SECAGEM POR INFRAVERMELHO NOS PARÂMETROS DE QUALIDADE DO
MAMÃO FORMOSA (*Carica papaya* L.)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Nutrição da Universidade Federal de Pernambuco, Centro Acadêmico de Recife, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Nutrição. Área de concentração: Ciência dos Alimentos.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a. Patrícia Moreira Azoubel

Coorientadora: Prof.^a. Dr.^a. Neide Kazue Sakugawa Shinohara

Recife

2021

Catálogo na fonte:
Bibliotecária Elaine Freitas, CRB4: 1790

A779e Arruda, Guilherme Matheus Pessoa de
Efeito do pré-tratamento ultrassônico associado a etanol e secagem por infravermelho nos parâmetros de qualidade do mamão formosa (*Carica papaya* L.) / Guilherme Matheus Pessoa de Arruda. – 2021.
64 f.

Orientadora: Patrícia Moreira Azoubel.
Coorientadora: Neide Kazue Sakugawa Shinohara.
Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Ciências da Saúde. Programa de Pós-Graduação em Nutrição. Recife, 2021.
Inclui referências.

1. Compostos fitoquímicos. 2. Compostos fenólicos. 3. Conservação de alimentos. 4. Carotenoides. 5. Ácido ascórbico. I. Azoubel Patrícia Moreira, (orientadora). II. Shinohara, Neide Kazue Sakugawa (coorientadora). III. Título.

613 CDD (23.ed.) UFPE (CCS 2021 -151)

GUILHERME MATHEUS PESSOA DE ARRUDA

**EFEITO DO PRÉ-TRATAMENTO ULTRASSÔNICO ASSOCIADO A ETANOL E
SECAGEM POR INFRAVERMELHO NOS PARÂMETROS DE QUALIDADE DO
MAMÃO FORMOSA (*Carica papaya* L.)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Nutrição da Universidade Federal de Pernambuco, Centro Acadêmico de Recife, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Nutrição. Área de concentração: Ciência dos Alimentos.

Aprovado em: 28/04/2021.

BANCA EXAMINADORA

Prof^a. Dr^a. Thayza Cristina Montenegro Stamford
Departamento de Nutrição/UFPE

Prof^a. Dr^a. Margarida Angélica da Silva Vasconcelos
Departamento de Nutrição/UFPE

Prof^a. Dr^a. Fernanda Araújo Honorato
Departamento de Engenharia Química/UFPE

AGRADECIMENTOS

Na finalização desta e no início de uma nova etapa da minha vida, gostaria de agradecer primeiramente a Deus pelo acalento espiritual nas horas difíceis. Agradeço também pela minha vida. Sem Ele não existiria a evolução do meu ser.

Agradeço também à minha família, especialmente à minha mãe Sandra, que é meu alicerce, um exemplo a ser seguido, e que todo os dias luta incansavelmente para me dar suporte e me ajudar nessa caminhada. Obrigado pelo apoio e carinho.

À minha avó Nina, *in memoriam*, que me ensinou que conhecimento é o que eu tenho de mais valioso e por ter me ensinado a importância do respeito, humildade, honestidade, solidariedade e responsabilidade.

Às minhas, orientadora Prof^a Dr^a Patrícia Azoubel e coorientadora Prof^a Dr^a Neide Shinohara, pela oportunidade de tornar realidade o meu sonho de fazer o mestrado na Universidade Federal de Pernambuco. Agradeço imensamente a paciência, carinho, instrução e por terem me proporcionado experiências que levarei para toda a vida.

Aos meus amigos Edvaldo Júnior, Gabriel Tavares e Pedro Andrade pelos momentos de partilha. Saibam que eu não poderia concluir este trabalho sem a ajuda de vocês.

Aos meus demais amigos, sem ordem de importância, Danusa Medeiros, Jadney Santos, Mitizi Miranda, Joyce Santos, Macelle Iane e Regivaldo Farias, pelo apoio diário e pelo companheirismo nesta caminhada árdua.

Aos amigos que o mestrado me trouxe, Cristina Santos, Marión Aguilar, Raiane Duarte e Wildia Dorvil por me permitirem fazer parte da jornada de vocês assim como fazem parte da minha agora.

À minha companheira de laboratório, Shirley Rupert, por ter dedicado um pouco do seu tempo para me repassar seu conhecimento. Olhando para trás, não me enxergo nessa caminhada sem você.

Aos demais amigos do laboratório, Rafael Medeiros, Zilmar Pimenta, Nathália Rocha, Lívia Dias, Edilene Silva, João Henrique, Elaine da Silva e Amanda Lopes, obrigado pelas palavras de apoio e principalmente pelas planilhas.

A todo o Programa de Pós-graduação de Nutrição - UFPE, aqui representadas pelas queridas Profª Drª Thayza Stamford, Profª Drª Viviane Lansky, Cecília Arruda e Andréa Nascimento que sempre se mantiveram disponíveis para me ajudar durante esses dois anos de curso.

Ao CNPq, por viabilizar esta pesquisa através da concessão da bolsa.

E a todos aqueles que, direta e indiretamente, contribuíram para a minha realização pessoal e profissional. Estejam cientes de que cada linha escrita aqui tem uma parte de vocês.

“A ciência é o grande antídoto do veneno do entusiasmo e da superstição.”

(SMITH, p. 650. 1776)

RESUMO

O mamão (*Carica papaya* L.) é uma fruta proveniente da América Latina, amplamente cultivada em regiões tropicais e subtropicais, sendo o Brasil, o segundo maior produtor mundial. É uma fruta reconhecida pelo seu valor nutricional, contudo, sua alta perecibilidade aumenta a dificuldade do seu manejo pós-colheita, fazendo com que o emprego de técnicas de preservação, à exemplo da secagem, sejam empregadas com o intuito de aumentar sua vida útil. Entretanto, técnicas convencionais de secagem, como a convectiva, apresentam desvantagens como alto gasto energético, oxidação de pigmentos e degradação de compostos bioativos. Assim, tecnologias emergentes tem sido propostas para reduzir as limitações relacionadas ao processo de secagem convencional, como a secagem por infravermelho, e sua associação com pré-tratamentos, como o ultrassom/etanol, com o intuito de aumentar a retenção dos nutrientes nos produtos desidratados. O objetivo deste estudo foi de avaliar a eficiência da utilização do pré-tratamento ultrassônico associado ao etanol e secagem por infravermelho nos parâmetros nutricionais do mamão em comparação à secagem convectiva. O pré-tratamento consistiu em submergir as amostras em etanol P.A. ou água destilada durante 20 minutos em banho ultrassônico e as secagens foram realizadas em uma secadora por infravermelho e estufa convectiva à 60°C. Foram avaliados os seguintes parâmetros: umidade, atividade de água (A_w), teor de ácido ascórbico, teor de carotenoides, cor, teor de fenólicos totais e atividade antioxidante – DPPH. Foi observado que todas as amostras apresentaram valores de A_w abaixo de 0,60 e que o grupo pré-tratado com ultrassom e etanol e seco por infravermelho apresentou o menor tempo de secagem (84 minutos). Independentemente do pré-tratamento ou secagem utilizados, os parâmetros nutricionais foram afetados negativamente. Contudo, o mamão desidratado por infravermelho apresentou maior retenção de compostos fenólicos. Assim, os resultados reforçam que a aplicação dos pré-tratamentos e secagens em estudo diminuíram a A_w e o tempo de secagem das amostras e que o infravermelho foi capaz de minimizar a perda de compostos fenólicos, gerando produtos de maior valor funcional.

Palavras-chave: Compostos fitoquímicos; Compostos fenólicos; Conservação de alimentos; Carotenoides; Ácido ascórbico.

ABSTRACT

Papaya (*Carica papaya* L.) is a fruit from Latin America widely grown in tropical and subtropical regions with Brazil being the second largest producer in the world. It is recognized for its high nutritional value however, the high perishability increases the difficulty of post-harvest management, making the use of preservation techniques, such as drying, to be used with the intention of its shelf-life. However, conventional drying techniques, such as convective drying, have disadvantages such as high energy expenditure, pigment oxidation and degradation of phytochemicals. Thus, emerging technologies have been proposed to reduce limitations related to the conventional drying process, such as infrared drying, and its association with pre-treatments, such as ultrasound associated with ethanol, to increase the retention of nutrients in dehydrated products. Therefore, the objective of this study was to evaluate the efficiency of the use of ultrasonic pre-treatment associated with ethanol and infrared drying on the nutritional parameters of papaya in comparison to convective drying. The pretreatment consisted of submerging the samples in ethanol or distilled water for 20 minutes in an ultrasonic bath and the drying was carried out in an infrared dryer and convective oven at 60°C. The following parameters were evaluated: moisture, water activity, ascorbic acid content, carotenoid content, color, total phenolic content, and antioxidant activity - DPPH. It was observed that the samples showed water activity's values below 0,60 and the group pretreated with ultrasound and ethanol and dried by infrared drying showed the shortest drying time (84 minutes). Regardless of the pretreatment or drying used, the nutritional parameters were negatively affected. However, the dehydrated papaya obtained by infrared showed greater retention of phenolic compounds. Thus, the results reinforce that the application of the pretreatments and drying in study decreased the water activity's values and the drying time of the samples, that ethanol decreased the degradation of ascorbic acid and the infrared was able to minimize the loss of phenolic compounds, generating products with greater functional value.

Keywords: Phytochemicals; Phenolic Compounds; Food Preservation; Carotenoids; Ascorbic acid.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	REVISÃO DA LITERATURA	13
2.1	O MAMÃO (<i>Carica papaya</i> L.).....	13
2.1.1	Composição nutricional	14
2.1.2	O cultivo e o mercado do mamão	17
2.2	MÉTODOS DE SECAGEM DE ALIMENTOS	18
2.2.1	Ultrassom	19
2.2.2	Etanol (álcool etílico)	20
2.2.3	Infravermelho	21
3	JUSTIFICATIVA	24
4	HIPÓTESE	25
5	OBJETIVOS	26
5.1	OBJETIVO GERAL	26
5.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	26
6	MATERIAIS E MÉTODOS	27
6.1	MATÉRIA-PRIMA.....	27
6.2	PREPARO DAS AMOSTRAS	27
6.3	PRÉ-TRATAMENTO E SECAGEM.....	27
6.4	ANÁLISES DE QUALIDADE	29
6.4.1	Análises físico-químicas	29
6.4.1.1	Determinação de umidade	29
6.4.1.2	Atividade de água (Aw)	29
6.4.1.3	Teor de ácido ascórbico	30
6.4.1.4	Teor de carotenoides totais	30
6.4.1.5	Determinação instrumental da cor	30

6.4.2	Análise de compostos fitoquímicos	31
6.4.2.1	Preparação dos extratos metanólicos	31
6.4.2.2	Teor de fenólicos totais	31
6.4.2.3	Determinação da atividade antioxidante total pelo método DPPH	32
6.5.	ANÁLISES ESTATÍSTICAS	32
7	RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
7.1	VARIAÇÃO DE MASSA DAS AMOSTRAS	33
7.2	CINÉTICA DE SECAGEM.....	33
7.3	PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DE QUALIDADE	38
7.3.1	Atividade de água (Aw)	38
7.3.2	Teor de ácido ascórbico	39
7.3.3	Teor de carotenoides totais	41
7.3.4	Determinação instrumental da cor	43
7.3.5	Teor de fenólicos totais (TFT)	48
7.3.6	Atividade antioxidante total – DPPH (2,2 Difenil-1-picrilhidrazil)	52
8	CONCLUSÃO	56
	REFERÊNCIAS	57

1 INTRODUÇÃO

O mamão (*Carica papaya* L.) é uma fruta proveniente da América Latina, da faixa territorial que compreende do México à bacia Amazônica superior, largamente cultivada em regiões tropicais e subtropicais do mundo, reconhecida por ser rica em carotenoides, vitamina A, C e por suas características sensoriais como aroma, sabor e textura agradáveis (HONORÉ et al., 2020).

Seu cultivo possui grande destaque econômico, sendo o Brasil considerado o segundo maior produtor mundial, e representa uma atividade de elevada expressão econômica e de grande importância social nos estados que detém o seu plantio, já que absorve uma quantidade significativa de mão de obra (BARBIERI et al., 2019).

Por ser um fruto climatérico, o mamão continua a atividade fisiológica depois de colhido, possui alta perecibilidade e vida útil reduzida, o que leva a perdas na produção. Essas perdas geralmente são causadas por rupturas do tecido do fruto, liberação de etileno e aumento da respiração e transpiração, o que conseqüentemente acelera seu amadurecimento e senescência (BARROS et al., 2019).

Reduzir esse desperdício do agronegócio brasileiro significa poupar recursos naturais e aumentar a oferta de recursos nutricionais ao mercado consumidor. Assim, o estudo e o desenvolvimento de técnicas de processamento adequado visando aumentar a vida útil e a manutenção das características nutricionais e sensoriais dos alimentos são de extrema importância (NUNES et al., 2017).

Diversos métodos de preservação de alimentos vêm sendo utilizados na indústria alimentícia, dentre eles, os que estão associados principalmente à diminuição da atividade de água (A_w). Como exemplo, tem-se a secagem, que visa a remoção da água de determinado material na forma de vapor, para a fase gasosa insaturada, que ocorre mediante mecanismo de vaporização térmica ou sublimação na liofilização (WANG et al., 2019).

É imprescindível para a indústria de alimentos, que haja métodos de secagem que proporcionem menor custo e maior preservação das características nutricionais e sensoriais. Portanto, o uso de pré-tratamentos com a finalidade de otimizar os procedimentos de secagem vem ganhando atenção, pois minimizam as perdas de qualidade dos alimentos (ALLAHDAD et al., 2019; DA SILVA JÚNIOR, 2018; REN et al., 2018).

A utilização do ultrassom como pré-tratamento tem se mostrado bastante eficiente na redução do tempo de secagem, uma vez que é capaz de provocar rápidas e sucessivas compressões e expansões sem aquecer significativamente o material, criando canais microscópicos na amostra que podem tornar mais fácil a remoção de sua umidade (NOWACKA et al., 2014).

Associado a isto, o uso do etanol na secagem, como pré-tratamento, sendo empregado na superfície da matriz alimentar, vem demonstrando resultados positivos como redução do tempo de secagem, retenção de compostos voláteis e maior preservação das propriedades nutricionais do alimento (DA CUNHA et al., 2020).

Já a secagem por infravermelho vem ganhando espaço e tem se tornado cada vez mais promissora. Caracteriza-se por um método de baixo impacto ambiental, de aquecimento uniforme e curto tempo de secagem resultando em produtos desidratados com bons atributos sensoriais, sendo ideal para materiais de espessura fina e que possuem uma alta superfície de contato, aumentando assim a exposição à radiação (SAKARE et al., 2020).

Assim, o presente trabalho busca avaliar a influência da aplicação do pré-tratamento ultrassônico associado ao etanol na secagem por infravermelho sobre a cinética de secagem e parâmetros de qualidade de mamão desidratado, comparado com a tradicional secagem em estufa convectiva.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 O MAMÃO (*Carica papaya* L.)

O mamão (*Carica papaya* L.), pertencente à família Caricaceae, a qual possui 6 gêneros (*Carica*, *Vasconcellea*, *Cylicomorpha*, *Horovitzia*, *Jacaratia* e *Jarilla*) e 35 espécies, é um fruto de grande interesse comercial. É nativo da América Latina, do território mexicano até a região superior da Amazônia e que se aclimatou muito bem em regiões tropicais e subtropicais do planeta (LORENZI et al., 2006; CHAN-LEON et al., 2017; HONORÉ et al., 2020).

Seu desenvolvimento é favorecido em temperaturas de 21 °C a 33 °C, em regiões de elevada insolação, pluviosidade anual acima de 1200 mm bem distribuídos, e não tolera geadas. Baixas temperaturas ocasionam prejuízo ao desenvolvimento das plantas e a ocorrência de frutos defeituosos (CIIAGRO, 2020).

O fruto caracteriza-se por ser uma baga que pode apresentar formas distintas e tamanhos que podem variar de 2 a 30 cm de comprimento e de 1 a 6 cm de largura composta pelo epicarpo (casca), o mesocarpo (polpa) e o endocarpo (semente). Apresenta duas variedades, a solo, conhecida como mamão papaia (*Carica papaya* var. solo) e a formosa (*Carica papaya* var. formosa) popularmente conhecida como mamão formosa (BADILLO, 2000; LORENZI et al., 2006; QUINTAL, 2012; EMBRAPA, 2009; LIMA et al., 2018).

A variedade solo caracteriza-se por apresentar frutos piriformes, de casca lisa e firme, polpa vermelho alaranjada e cavidade interna estrelada. Já a variedade formosa, apresenta frutos mais longos, de polpa avermelhada, firme, com baixo teor de açúcares e aroma fraco. Possuem cavidade oca, preenchida por sementes pequenas, esféricas e negras que são envolvidas por um envoltório transparente e mucilaginoso denominado sarcotesta (BADILLO, 2000; EMBRAPA, 2009).

Seu rendimento é alto em relação aos outros frutos, podendo atingir 50 cm de comprimento. As variedades do grupo solo são encontradas em maior abundância e seus frutos possuem massa variável de 350 a 600 g, ao contrário das do grupo formosa, que por sua vez, possuem maior diâmetro, com massas que se distribuem em uma faixa de 800 a 1100 g (DANTAS, 2013).

2.1.1 Composição nutricional

Em diversos países, o consumo do mamão está diretamente ligado às suas características sensoriais, como textura, aroma e sabor, bem aceitas pelo mercado consumidor, e suas propriedades nutricionais. O fruto é considerado fonte de antioxidantes, vitaminas do complexo B, potássio e magnésio, relatadas como coadjuvantes na melhora de distúrbios do sistema digestivo e doenças cardíacas (KARUNAMOORTHI et al., 2014; HONORÉ et al., 2020). Na tabela 1 são descritas as composições centesimais de mamão.

Tabela 1: Composição centesimal de polpa de mamão (*Carica papaya* L.) com base na TACO (2011), Bruni et al., (2017) e TBCA (2020). Valores expressos em g/100g.

	TACO (2011) ^a	TACO (2011) ^b	BRUNI et al. (2017) ^c	TBCA (2020) ^d	TBCA (2020) ^e
Umidade	86,9	88,6	91,9 ± 0,2	88,7	86,9
Carboidratos	11,6	10,4	7,0 ± 0,2	10,2	11,6
Proteínas	0,8	0,5	0,54 ± 0,01	0,50	0,8
Lipídeos	0,1	0,1	0,2 ± 0,1	0,20	0,1
Cinzas	0,6	0,4	0,36 ± 0,03	0,37	0,5
Fibras	1,8	1,0	0,67 ± 0,04	1,03	1,8

Fonte: Autor, 2021.

a: Variedade formosa, estágio de maturação não relatado;

b: Variedade solo, estágio de maturação não relatado;

c: Variedade e estágio de maturação não relatados;

d: Variedade solo, estágio de maturação não relatado;

e: Variedade formosa, estágio de maturação não relatado.

Como demonstrado, a polpa do mamão possui alto teor de umidade (86,9% a 91,9%), o que o torna mais suscetível a infecções pós-colheita, aumentando assim o

seu grau de perecibilidade, dificultando sua preservação e comercialização. Apresenta aproximadamente de 0,74 a 11,6g de carboidratos e baixos teores de proteínas e lipídeos (ZERPA-CATANHO et al., 2017; VILAPLANA et al., 2020).

Em relação aos minerais, a polpa possui quantidades consideráveis de sódio, potássio, cálcio, fósforo, ferro, cobre, zinco e magnésio. Entretanto, a composição pode variar em função de vários fatores pré-colheita, como a época em que o fruto foi colhido, solo, presença de injúrias, estágio de maturação e o genótipo do fruto, entre outros fatores (CHAN-LEON et al., 2017; BARRAGAN-IGLESIAS; MENDEZ-LAGUNAS; RODRÍGUEZ-RAMÍREZ, 2018; TBCA, 2020)

Quanto ao seu conteúdo de açúcares, o mamão possui de 7,0 a 13,5% de sólidos solúveis totais (SST). Teixeira et al. (2001) relataram teores médios de $10,93 \pm 0,74^\circ\text{Brix}$ de SST em mamão formosa minimamente processado após 7 dias de armazenamento em diferentes temperaturas. Santana, Matsuura e Cardoso (2004) encontraram teores de SST que variaram entre 9,0 e $14,0^\circ\text{Brix}$, em um estudo conduzido ao longo de 2 anos consecutivos, onde foram avaliados frutos de doze genótipos das variedades “solo” e “formosa” em estágio 5 de maturação, onde cerca de 100% da casca apresenta-se amarelada. Nunes et al., (2017) ao avaliarem os teores de SST em mamão formosa revestido com biofilme de fécula de mandioca encontraram valores entre 10,0 e $12,0^\circ\text{Brix}$.

Quando maduro, a sacarose pode ser responsável por até 80% dos açúcares solúveis do fruto. Geralmente a composição de açúcares no mamão é de 48,3% de sacarose, 29,8% de glicose e 21,9% de frutose, sendo o teor de açúcares impactado pelo processo de amadurecimento. Kelebek et al. (2015), ao estudarem mamões da variedade *Tainung* encontraram teores de sacarose em torno de 29 mg/g de fruto maduro, sendo este teor maior nos frutos maduros. Em geral, os frutos que amadurecem presos à árvore recebem suprimento constante de sacarose proveniente da fotossíntese das folhas. Outro fato importante é que, embora algumas frutas acumulem amido que se transformam em açúcares por degradação catabólica durante o amadurecimento, o mamão possui teor muito baixo deste carboidrato e não o armazena como fonte de carbono para produzir açúcares. Já durante o armazenamento, a enzima invertase age sobre a sacarose, mantendo assim os níveis de glicose e frutose altos, o que torna o fruto mais doce (SARAN; SOLANKI;

CHOUDHARY, 2016; BARRAGAN-IGLESIAS; MENDEZ-LAGUNAS; RODRÍGUEZ-RAMÍREZ, 2018).

Em relação às fibras totais, o mamão apresenta baixos teores, sendo estas, compostas basicamente por celulose e pectina. Isto pode ser justificado através do estágio de maturação do fruto, onde, inicialmente, as protopectinas estão altamente esterificadas, sendo estas insolúveis em água e responsáveis pela rigidez do fruto. Por outro lado, o amolecimento durante o amadurecimento é devido a hidrólise de polissacarídeos através da poligalacturonase e da pectina-metil-esterase, levando a uma modificação da composição da parede celular (BARRAGAN-IGLESIAS; MENDEZ-LAGUNAS; RODRÍGUEZ-RAMÍREZ, 2018).

Dentre as frutas tropicais, é uma das que apresenta maior pH (em média de 5,5 - 5,9), com teor de acidez entre 0,05 e 0,18% (expresso em ácido cítrico). Seus principais ácidos orgânicos são, respectivamente: ácido cítrico, ácido málico, ácido ascórbico e ácido acetoglutárico. Contudo, outros autores relatam a presença de diferentes ácidos orgânicos, como oxálico, tartárico, fumárico, quínico e succínico. Embora a baixa acidez interfira negativamente no seu processamento, já que necessita da adição de acidulantes, e na sua conservação, por ser mais propenso ao ataque microbiano, este fato contribui positivamente na aceitabilidade por criança, idosos e pessoas com problemas gástricos (MARTINS; COSTA, 2003; KELEBEK et al., 2015; ANNEGOWDA; BAHT, 2016).

A quantidade de substâncias provitamina A define qual a coloração o mamão vai apresentar ao final da maturação. Em muitos países, a cor é utilizada como parâmetro de avaliação do estágio de maturação do fruto, onde o aparecimento do vermelho alaranjado indica que o fruto está maduro. Barragán-Iglesias, Méndez-Lagunas e Rodríguez-Ramírez (2018) explicam que essa mudança ocorre devido à perda de clorofila, produzindo tons de vermelho e amarelo, e os carotenoides são os pigmentos envolvidos nesse processo. Os mamões de coloração amarelada apresentam maiores teores de criptoxantina, que é o carotenoide que apresenta atividade de pró-vitamina A. Já os mamões vermelhos são mais ricos em licopeno, o que lhes confere esta coloração. Entretanto, ambos possuem altos níveis de carotenoides totais, possuindo o mamão de polpa amarelada 3,7 mg/100 g e o de polpa avermelhada com 4,2 mg/100 g (RAHMANI; ALDEBASI, 2016; SARAN; SOLANKI; CHOUDHARY, 2016).

Ramos-Parra et al. (2019) identificaram no mesocarpo do mamão cultivar maradol a presença de precursores de carotenoides (19,6 µg/g), sendo o 15-cis-fitoeno e o 15-cis-fitoflueno os de teor majoritário. Também relataram carotenoides (15,59 µg/g) sendo o trans-licopeno, γ-caroteno e o trans-β-caroteno os principais tipos encontrados e de xantofilas (5,75 µg/g), representadas em sua maioria pela trans-β-criptoxantina.

Diversos estudos relatam as propriedades nutracêuticas do mamão, ligadas não só ao seu teor de vitaminas, mas ao seu teor de compostos bioativos responsáveis por reduzir marcadores inflamatórios, agregação plaquetária, efeito antitrombótico e hipolipemiante e diminuição do estresse oxidativo. Assim, o mamão pode ser considerado um alimento com efeitos benéficos, devido a estes compostos terem a capacidade de melhorar a preservação da qualidade nutricional e assim da saúde humana (RAHMANI; ALDEBASI, 2016; PANDEY et al., 2016; SANTANA et al., 2019).

2.1.2 O cultivo e o mercado do mamão

O plantio do mamão é economicamente importante em países de clima tropical, onde seu desenvolvimento se dá pela boa adaptabilidade da planta às características edafoclimáticas dessas regiões. Em 2018, o Brasil produziu 1.060.392 toneladas de mamão, ficando atrás apenas da Índia, 5.989 milhões de toneladas, configurando entre os 5 maiores produtores da fruta no ano e com um rendimento de 38,913 kg por hectare plantado (DE CARVALHO et al., 2019).

O mamoeiro é cultivado em todas as regiões do Brasil, praticamente em todos os estados brasileiros, sendo o Espírito Santo e a Bahia, líderes no ranking de produção do fruto e Minas Gerais, Ceará, Paraíba e o Rio Grande do Norte, os estados que apresentam maior percentual de investimento tecnológico neste setor (EMBRAPA, 2018; DE CARVALHO et al., 2019).

Destaca-se também que, dentre os frutos produzidos no Brasil, o mamão ocupou o sexto lugar no ranking de exportações, gerando uma receita de cerca de US\$ 50 milhões, consolidando-se como o segundo maior exportador da fruta e como maior fornecedor da União Europeia. A produção nacional é baseada no cultivo das

variedades formosa e solo, comumente chamado de havaí ou papaia, sendo a variedade formosa destinada em sua maioria para o mercado interno e a solo tanto ao mercado interno quanto ao externo. Isto ocorre devido a suas características, que se adaptam melhor as exigências do mercado internacional, onde o mamão formosa vem apresentando tendência crescente na exportação brasileira (REIS et al., 2015; EMBRAPA, 2018). Entretanto, se comparada a produção com as exportações, percebe-se que mais de 95% dos mamões cultivados no país são destinados ao mercado interno, demonstrando que além de um grande produtor de frutas tropicais, o Brasil também é um grande consumidor (SANTOS et al., 2018; HONORÉ et al., 2020).

Em um contexto geral, por ser uma árvore frutífera capaz de produzir o ano inteiro, o cultivo do mamão representa uma atividade de elevada expressão econômica, com grande relevância social nos estados que detêm seu plantio, já que absorve uma quantidade significativa de mão de obra local. Contudo, a susceptibilidade do fruto a injúrias durante o transporte e armazenamento gera a necessidade de desenvolvimento de novas técnicas que minimizem as perdas pós-colheita. (BARBIERI et al., 2019).

2.2 MÉTODOS DE SECAGEM DE ALIMENTOS

A degradação é um dos problemas mais comuns quando se trata de produtos vegetais fazendo com que métodos de preservação adequados sejam adotados a fim de minimizar as perdas nutricionais e sensoriais bem como propiciar um aumento da vida útil dos alimentos. Dentre esses métodos, a secagem é bastante utilizada, pois reduz a umidade e a atividade de água da matriz alimentar, criando um ambiente menos propício ao crescimento microbiano, retardando reações enzimáticas e bioquímicas, minimizando o avanço deterioração e agregando valor aos produtos (LUCAS; ZAMBIAZI; COSTA, 2018; OUAABOU et al., 2018; SEHRAWAT; NEMA; KAUR, 2019; WANG et al., 2019).

A secagem é um método de preservação dos alimentos utilizado desde a antiguidade e define-se como uma operação unitária que visa a remoção da água de determinado material na forma de vapor para a fase gasosa insaturada, que pode

ocorrer por meio de um mecanismo de vaporização térmica ou sublimação no caso da liofilização (WANG et al., 2019).

O método mais comum de secagem consiste em um processo em que o alimento é exposto a um fluxo de ar quente constante, possuindo baixo custo e podendo ser facilmente aplicado. No entanto, o alto consumo de energia, aliado a baixa eficácia da utilização de energia durante o procedimento aumentam as perdas nutricionais, fazendo com que técnicas de pré-tratamento sejam associadas com o intuito de otimizar o processo (CHENG et al., 2019).

2.2.1 Ultrassom

O ultrassom é definido por ondas mecânicas em uma frequência superior à audição humana que se propagam através do volume de um determinado material, à uma velocidade dependente da característica da onda e do meio no qual está sendo propagado (LI; LI; ZHU, 2018).

Nos alimentos, o ultrassom propicia uma série de rápidas compressões e expansões, gerando uma força que pode ser maior que a tensão superficial que mantém a água dentro da célula. Neste momento, ocorre a formação de microcanais que facilitam a remoção da água, efeito este conhecido como cavitação. Estas sucessivas compressões e expansões causam o aumento dessas cavidades, que ao atingirem um nível crítico, implodem, liberando grande quantidade de calor e pressão em um curto período e em pontos localizados (NOWACKA et al., 2017; MIANO; IBARZ; AUGUSTO, 2017; LI; LI; ZHU, 2018).

O aumento da difusividade efetiva de água para o ar, na etapa de secagem, faz com que o uso do ultrassom como um pré-tratamento se torne uma metodologia interessante e complementar ao processo convencional de secagem, pois o fenômeno de cavitação favorece a transmissão de calor e perda de água da amostra (DA SILVA JÚNIOR et al., 2018).

Nowacka et al. (2014) relataram que a sonicação de kiwi antes da desidratação resultou no aumento da perda de umidade devido à formação de microcanais nas amostras. Da Silva (2016) observaram que o ultrassom aumentou a difusividade da água em aproximadamente 25% no processo de secagem a vácuo de melão,

reduzindo assim a duração total de secagem em 12,80%. Zhang et al. (2019) relataram que a utilização de pré-tratamento com ultrassom aumentou a perda de umidade de morangos liofilizados à vácuo.

Assim, o pré-tratamento utilizando ultrassom demonstra-se como uma tecnologia eficiente na otimização da secagem de alimentos, facilitando os fenômenos de transferência de calor e massa, com o intuito de aumentar a retenção de nutrientes que são perdidos e diminuir o tempo de processamento (DEHGHANNYA; GORBANI; GHANBARZADEH, 2017).

2.2.2 Etanol (álcool etílico)

Com a finalidade de preservar as características nutricionais e sensoriais de produtos desidratados, tornou-se crescente a utilização de agentes desidratantes de grau alimentício, como o etanol, um composto orgânico pertencente à família dos álcoois, cuja fórmula molecular é $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$. Por ser uma molécula polar, é hidrossolúvel, possui ponto de ebulição à $78\text{ }^\circ\text{C}$ e ponto de fusão à $-114\text{ }^\circ\text{C}$ (MORCELI, 2006).

Durante o pré-tratamento, a entrada de etanol na amostra propicia uma mistura com a água. Isso faz com que durante a secagem, a vaporização superficial do etanol promova mecanismos para acelerar o processo de secagem, como o efeito Marangoni. O efeito Marangoni é um fenômeno de transferência de massa promovido pelo gradiente de tensão superficial criado entre dois líquidos de tensão superficial diferentes. Esse efeito é mantido pela vaporização contínua do componente mais volátil, que conseqüentemente possui a menor tensão superficial e surgiu como justificativa ao fato de que amostras pré-tratadas com etanol exibiam menores tempos de secagem (ROJAS; AUGUSTO, 2018).

Rojas, Silveira e Augusto (2020) ao avaliarem o efeito do ultrassom associado ao etanol na secagem convectiva de abóbora, concluíram que este tratamento reduziu o tempo de secagem e o consumo de energia durante o processamento, melhorou os índices de reidratação e evitou a degradação de carotenoides.

Zubernik et al. (2019) utilizaram a combinação de ultrassom e etanol na secagem de fatias de maçã, obtendo menores tempos de secagem, porém a

associação entre os pré-tratamentos não foi capaz de minimizar as perdas de alguns compostos fenólicos.

A combinação de ultrassom e etanol em diferentes concentrações foi avaliada por Da Cunha et al. (2020) na secagem convectiva de melão, comprovando que o tratamento com maior concentração de etanol apresentou diminuição do tempo de secagem, mas os teores de compostos fenólicos, ácido ascórbico e carotenoides foram menores quando comparados as amostras secas sem pré-tratamento e *in natura*. Entretanto, é crescente o interesse da indústria alimentícia por novas tecnologias de secagem que promovam a redução do tempo necessário à desidratação aliadas ao baixo consumo energético, baixo impacto ambiental e a uma manutenção da qualidade geral do produto.

2.2.3 Infravermelho

Nos últimos anos, a secagem de alimentos por infravermelho tem se tornado cada vez mais promissora e consiste na transferência de calor do agente de aquecimento para o material de forma rápida e homogênea sem aquecimento do ar circundante. De maneira geral, as ondas de infravermelho são emitidas e ao entrar em contato com a superfície do material alteram a conformação vibracional das moléculas resultando em atrito, que se convertem em energia térmica, promovendo o aquecimento uniforme e simultâneo do centro e da superfície do material. Assim, a energia das moléculas internas de água aumenta promovendo assim a difusão da umidade e evaporação (NATHAKARANAKULE; JAIBOON; SOPONRONNARIT, 2010; SAKARE et al., 2020).

Em comparação com métodos tradicionais de secagem, a exemplo do ar quente, a secagem por infravermelho é um método de baixo impacto ambiental que promove a homogeneização da distribuição de calor. O aquecimento é uniforme, não necessita de contato, possui curto tempo de secagem e baixo consumo energético. Ainda apresenta baixo fluxo de ar através do alimento e resulta em produtos secos com bons atributos sensoriais, sendo ideal para materiais de espessura fina e que possuem uma alta superfície de contato, aumentando assim a exposição à radiação (DOYMAZ, 2018; SADEGHI; MOVAGHARNEJAD; HAGHIGHI ASL, 2019).

Vários estudos relatam a utilização do infravermelho na secagem de produtos alimentícios. Doymaz, Karasu e Baslar (2016) ao secarem jujube (*Ziziphus jujuba* Mill.), uma fruta de origem asiática, e Doymaz (2018) na secagem de kiwi (*Actinidia deliciosa*), concluíram que a taxa de secagem era diretamente proporcional ao aumento da potência do infravermelho. Adak, Heybeli e Ertekin (2017) realizaram uma análise detalhada da obtenção de morangos secos (*Fragaria xananassa* Duch) com parâmetros de qualidade desejáveis e alto teor de nutrientes e concluíram que a utilização de um método que combinava secagem convectiva e infravermelho apresentou melhores resultados quando comparado ao método de secagem convectiva tradicional. Wu, Zangh e Li (2019) verificaram a influência de diferentes temperaturas na cinética de secagem, bioatividade e sabor de *Cordyceps militaris*, concluindo que à medida que a temperatura aumentou, o tempo de secagem diminuiu, sendo as altas temperaturas responsáveis também pela redução do sabor amargo residual desse fungo. Contudo, as amostras secas a 60 °C demonstraram maior retenção de fenólicos totais e nutrientes como Cu, Fe, Zn e Mg.

A utilização de pré-tratamentos, como o ultrassom, com a finalidade de diminuir o tempo de secagem por infravermelho vem sendo relatada. Feng et al. (2019) realizaram a combinação do pré-tratamento ultrassônico e etanol com a secagem por infravermelho em fatias de alho e verificaram que as amostras que foram tratadas com ultrassom e etanol obtiveram menores tempos de secagem. Isso se deu ao pré-tratamento ultrassônico e a ruptura das paredes celulares. As amostras tratadas com ultrassom e etanol também obtiveram melhores características de qualidade e baixo conteúdo microbiano. Contudo, os teores de alicina foram significativamente menores em relação as amostras tratadas com água, devido ao poder desnaturante do etanol, o que afeta a ação de proteínas envolvidas na conversão dessa enzima.

Guo et al. (2020) verificaram a influência do pré-tratamento ultrassônico em diferentes potências na difusão de água e parâmetros de qualidade de cenoura (*Daucus carota* L.) secas por infravermelho. Foi observado que as amostras que passaram pelo pré-tratamento obtiveram menores tempos de secagem do que as amostras não tratadas, demonstrando que a secagem combinada ao pré-tratamento foi mais eficaz quando comparada à secagem apenas por infravermelho.

Diversos estudos demonstram os efeitos da secagem por infravermelho em frutas (CHEN et al, 2015; DOYMAZ; KARASU; BASLAR, 2016; ADAK; HEYBELI;

ERTEKIN, 2017; DOYMAZ, 2018), contudo, não foram relatados estudos que avaliem a influência do pré-tratamento ultrassônico combinado ao uso de etanol na secagem por infravermelho nos parâmetros de qualidade de mamão. Assim, diante do exposto, o mamão apresenta-se como uma considerável fonte de nutrientes e bioativos, porém, enfrenta uma elevada taxa de perdas pós-colheita, sendo imprescindível a escolha de métodos de preservação que minimizem a redução desses compostos e aumentem a vida útil do fruto.

3 JUSTIFICATIVA

O Brasil é o segundo país com maior produção de mamão, sendo grande parte dos frutos produzidos destinados ao mercado interno. Levando em consideração as características biológicas, o mamão sofre grandes perdas durante a produção, seja pela grande concentração de água em sua composição, ou pelas injúrias que podem ocorrer durante o manuseio na colheita ou transporte, favorecendo assim o ataque microbiano. Outro agravante se dá pelo fato de o fruto ser muito sensível, o que dificulta a utilização do frio na sua conservação. Somado a isto, o consumo de frutas tropicais e de seus produtos derivados sofreu aumento nos mercados nacional e internacional, devido ao crescente reconhecimento das propriedades nutricionais e subsequente utilização na indústria alimentícia. Além disso, a presença de nutrientes como os carotenoides, reconhecidos no tratamento de doenças crônicas não-transmissíveis, demonstra seu potencial de utilização em diferentes setores, aumentando o valor agregado do cultivar. Assim, este estudo representa uma contribuição para a sociedade, reconhecendo e valorizando o consumo da fruta na alimentação, contribuindo com as condições nutricionais da população, favorecimento da segurança alimentar e nutricional e conservação da espécie. Permite também, através da utilização de pré-tratamentos e secagem, avanços na área das Ciências dos Alimentos, fornecendo informações acerca de novos métodos de preservação dos alimentos que possuam baixo impacto ambiental e a exploração de novas formas de consumo da fruta, aumentando sua vida útil e facilitando seu transporte e comercialização. Desta maneira, os resultados gerados podem ser promissores no campo da bioprospecção, incentivando o desenvolvimento de produtos com maiores teores de nutrientes através de tecnologias que gerem um menor impacto no meio ambiente.

4 HIPÓTESE

A utilização de um método que combine o pré-tratamento ultrassônico associado ao etanol e secagem por infravermelho permitirá a redução do tempo de secagem, manutenção da cor e menores perdas de ácido ascórbico, carotenoides e compostos antioxidantes em mamão desidratado.

5 OBJETIVOS

5.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a eficiência da combinação do pré-tratamento ultrassônico e etanol na secagem por infravermelho sobre os parâmetros nutricionais de mamão formosa (*Carica papaya* L.) comparada a secagem em estufa convectiva.

5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Submeter o mamão ao pré-tratamento ultrassônico, com e sem etanol, e as secagens na estufa convectiva e por infravermelho;
- Comparar as cinéticas de secagem por infravermelho e convectiva do mamão com e sem pré-tratamento;
- Avaliar a influência do processamento nos parâmetros de qualidade e capacidade antioxidante do mamão desidratado.

6 MATERIAIS E MÉTODOS

6.1 MATÉRIA-PRIMA

Os mamões (*Carica papaya* L.) da variedade formosa foram adquiridos do mercado local de Recife – Pernambuco (PE) em estágio 5 de maturação, apresentando acima de 75% da superfície da casca com coloração amarelada, polpa firme, sem injúrias ou contaminação microbiológica visível (RAMOS-PARRA, 2013).

6.2 PREPARO DAS AMOSTRAS

Os frutos foram previamente lavados em água corrente para retirada das sujidades aparentes, sendo então sanitizados em solução clorada com concentração de 200 µL/L por 15 minutos. Em seguida, foram enxaguados em água corrente e descascados manualmente com uma faca. Foi feito um corte longitudinal para abertura da fruta, as sementes foram retiradas e a polpa cortada em retângulos de dimensões 5,0 x 3,0 cm e 0,5 cm de espessura, com auxílio de um cortador específico para este fim e de facas. O peso aproximado de cada amostra foi de $6,6 \pm 0,1$ g.

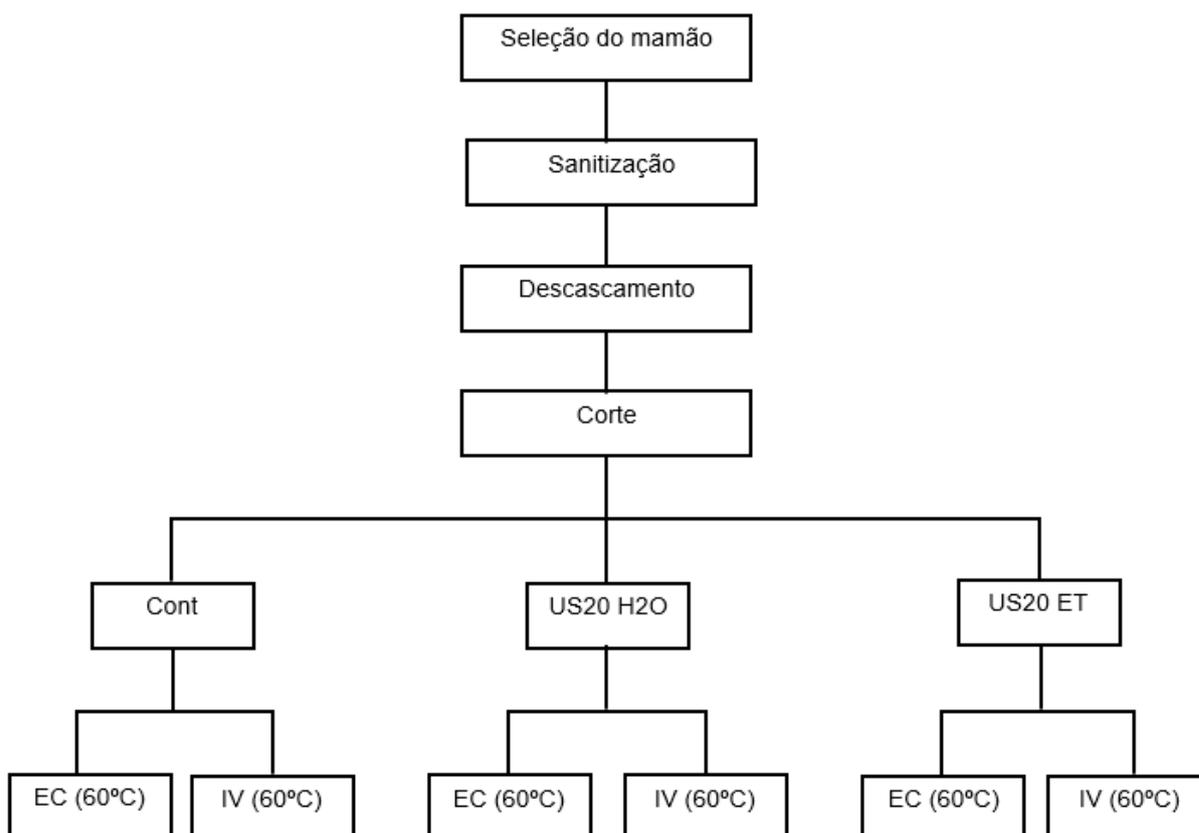
6.3 PRÉ-TRATAMENTO E SECAGEM

O delineamento dos pré-tratamentos e secagem foi baseado em Da Silva et al. (2016), Da Silva Júnior et al. (2018) e Cunha et al. (2020) com modificações. O pré-tratamento das amostras consistiu na disposição de 6 retângulos das amostras, cerca de 40 g, em um frasco cilíndrico de vidro com tampa, contendo etanol (99,8% P.A.) na proporção de 1:4 m/v (amostra:etanol). Para posterior constatação do efeito do etanol sobre a amostra, foi utilizada água destilada como meio comparativo sob as mesmas condições.

Em seguida, as amostras foram submetidas ao banho ultrassônico com água destilada, termostato acoplado (Unique, modelo USC-18504A, Brasil), sem agitação mecânica, com frequência de 25 kHz, intensidade de 4870 W/m² e temperatura ajustada de 30 °C por 20 minutos.

Após o pré-tratamento, as amostras foram secas em papel absorvente por cinco vezes para remoção do etanol e da água destilada. Todas as amostras foram pesadas antes e após o pré-tratamento em balança semi-analítica. O fluxograma de preparo e pré-tratamento das amostras está descrito a seguir:

Figura 1 - Fluxograma experimental da metodologia de preparo e secagens das amostras. Cont = controle; EC = estufa convectiva; IV = infravermelho; US20 H₂O= ultrassom com água por 20 minutos; US20 ET = ultrassom com etanol por 20 minutos.



Fonte: Autor, 2021.

Para a realização do estudo da cinética de secagem, 6 retângulos da amostra foram distribuídos em cestas de alumínio e pesadas, logo em seguida colocadas na estufa convectiva e secadora com infravermelho a uma temperatura de 60°C. As pesagens iniciaram no tempo zero e os intervalos de tempo utilizados para as pesagens foi de 15 em 15 minutos durante a primeira hora de processamento e em seguida de 30 em 30 minutos até que o peso constante fosse alcançado. De acordo com a RDC 272, frutas secas devem apresentar um valor máximo de umidade de 25%, contudo, neste estudo, foi estabelecida como margem de segurança o teor de umidade de 16% (0,19 kg de água/kg em base seca) e atividade de água (A_w) abaixo de 0,6 (BRASIL, 2005; DA SILVA JÚNIOR et al., 2018).

O teor de umidade inicial foi determinado de acordo com AOAC (2002) e o estudo das cinéticas de secagem foi realizado de acordo com a Eq. (1).

$$ADM = \frac{X_t - X_e}{X_0 - X_e} \quad (1)$$

Onde:

X_t = Umidade da amostra no tempo t (kg água/kg massa seca);

X_e = Umidade de equilíbrio (kg água/kg massa seca);

X_0 = Umidade inicial da amostra (kg água/kg massa seca).

6.4 ANÁLISES DE QUALIDADE

6.4.1 Análises físico-químicas

Para as amostras *in natura* e desidratadas, foram determinados os teores de umidade, A_w , teor de ácido ascórbico, teor de carotenoides totais e cor. Foi realizada a análise de variação de massa apenas nas amostras pré-tratadas antes da secagem através de pesagem antes e após o pré-tratamento.

6.4.1.1 Determinação de umidade

A determinação de umidade das amostras *in natura* e pré-tratadas foi realizada de acordo com AOAC (2002), onde 5 g da amostra foram submetidos à secagem em estufa a 105°C por 24 horas.

6.4.1.2 Atividade de água (A_w)

A determinação de atividade de água (A_w) foi realizada através de medidor de atividade de água portátil (Decagon, modelo Pawkit), com realização de leituras em triplicata a $\pm 25^\circ\text{C}$.

6.4.1.3 Teor de ácido ascórbico

A quantificação do teor de ácido ascórbico foi realizada de acordo com AOAC (2002). Cerca de 5 g das amostras foram macerados em uma solução de ácido oxálico a 0,5% e filtradas em seguida. Uma alíquota de 5 mL do extrato foi titulada com o indicador 2,6-diclorofenol-indofenol (DFI) até que a solução atingisse cor rósea persistente por 30 segundos. Os valores de ácido ascórbico foram calculados a partir da diferença entre o volume inicial e final de DFI utilizado na titulação e expressos em mg de ácido ascórbico/100g de massa seca.

6.4.1.4 Teor de carotenoides totais

A determinação de carotenoides totais foi realizada de acordo com metodologia proposta com Rodriguez-Amaya (1999). Cerca de 5 g das amostras foram maceradas e adicionadas de 30 mL de acetona. Em seguida, as amostras permaneceram em agitação por 1 hora e na sequência foram filtradas a vácuo. Durante a filtração, as amostras foram lavadas 3 vezes com acetona para total remoção dos carotenoides. O filtrado foi transferido para um funil de separação e adicionados 45 mL de éter de petróleo, sendo a solução lavada 3 vezes com água destilada. Após 10 minutos em repouso, a parte inferior da solução foi descartada e o sobrenadante foi utilizado. O volume final de solução foi contabilizado e posteriormente foram realizadas as leituras das absorvâncias em 450 nm para quantificação de β -caroteno. As leituras foram realizadas em triplicada e os valores foram dados em $\mu\text{g/g}$ de massa seca.

6.4.1.5 Determinação instrumental da cor

Para realização da análise de cor, foi utilizado um colorímetro portátil (Konica Minolta, modelo CM-600D). Inicialmente foi medido o branco para calibração do equipamento e em seguida as amostras foram dispostas inteiras numa placa de vidro para realização das leituras. As análises foram realizadas em sextuplicata e os resultados foram obtidos de acordo com as coordenadas CIELAB que possibilita o cálculo da diferença média de cor entre as amostras *in natura* e secas através da Eq. (2) (PATHARE; OPARA; AL-SAID, 2013).

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

Onde:

ΔE^* é a diferença total de cor;

L_o^* e L^* são as luminosidades das amostras antes e após a secagem, respectivamente;

a_o^* e a^* são as intensidades das cores vermelha (valor positivo) e verde (valor negativo) das amostras antes e após a secagem, respectivamente;

b_o^* e b^* são as intensidades das cores amarela (valor positivo) e azul (valor negativo) das amostras antes e após a secagem, respectivamente.

6.4.2 Análise de compostos fitoquímicos

6.4.2.1 Preparação dos extratos metanólicos

Para obtenção dos extratos, foram macerados em um béquer, 2g das amostras (*in natura* e secas) com 29 mL de metanol. Em seguida, as amostras foram colocadas em mesa agitadora (Marconi, modelo MA140/CF) sob agitação de 200 rpm e centrifugadas (Novatecnica, modelo NT 812) a 6000 rpm, por 15 minutos cada etapa. Os sobrenadantes foram transferidos para um frasco âmbar e armazenados em geladeira a uma temperatura de 4°C para posteriores análises.

6.4.2.2 Teor de fenólicos totais

A análise do teor de fenólicos totais foi realizada de acordo com a metodologia proposta por Singleton, Orthofer e Lamuela-Raventós (1999), onde uma alíquota de 0,5 mL do extrato metanólico das amostras foi transferido para um tubo de ensaio e em seguida adicionada de 2 mL de uma solução de reagente Folin-Ciocalteu a 10% e deixadas em repouso em ambiente escuro por 5 minutos. Após este intervalo, foram adicionados 2,5 mL de uma solução de carbonato de sódio a 4% e a solução homogeneizada. Os tubos de ensaio foram encubados ao abrigo da luz por 2 horas para posterior leitura em espectrofotômetro no comprimento de onda de 760nm. A

quantificação do teor de fenólicos totais foi feita baseada na curva padrão de ácido gálico e os resultados foram expressos em mg EAG/g de massa seca.

6.4.2.3 Determinação da atividade antioxidante total pelo método DPPH

O ensaio de atividade antioxidante pelo método de sequestro de radicais livres DPPH (2,2 Difenil-1-picrilhidrazil) foi baseado na metodologia descrita por Brand-Williams, Cuvelier e Berset (1995) e Büyüktunçe, Porgali e Çolak (2014). Inicialmente, em um balão volumétrico de 100 mL foram adicionados 2,52mg de DPPH e o volume completado com metanol. A solução foi agitada e armazenada em geladeira até o momento da análise. Em tubo de ensaio, foi misturada uma alíquota de 0,5 mL do extrato metanólico da amostra a 2,5 mL da solução de DPPH. Posteriormente, a solução foi incubada ao abrigo da luz durante 30 min em temperatura ambiente. Em seguida, realizou-se a leitura em espectrofotômetro (Spectroquant®, modelo Pharo 300) em um comprimento de onda de 517 nm. Os resultados foram expressos em μmol de equivalente de Trolox por 100 g de massa seca.

6.5. ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Os dados das análises que continham apenas 1 fator, a exemplo das análises físico-químicas e de compostos fitoquímicos, foram submetidos a análise de variância (ANOVA) *one-way* e para a análise de variação de massa das amostras, que continha 2 fatores (tempo e tratamento), foi utilizada a análise de variância (ANOVA) *two-way*, a fim de determinar se houve diferença estatística entre as amostras. As médias foram comparadas pelo pós-teste de Tukey considerando $p < 0,05$. Para todas as avaliações foram utilizado o software GraphPad Prisma 9.0. Os parâmetros colorimétricos foram realizados em sextuplicata e as demais análises em triplicata.

7 RESULTADOS E DISCUSSÃO

7.1 VARIAÇÃO DE MASSA DAS AMOSTRAS

A associação do ultrassom ao etanol como pré-tratamento vem sendo bastante utilizada na preservação de produtos agrícolas e consiste em mergulhar a matéria-prima no solvente, fazendo com que, por diferença no gradiente de pressão osmótica, ocorram trocas simultâneas de água com consequente perda de massa (BARRAGÁN-IGLESIAS et al., 2018). Na Tabela 2 estão descritas a variação de massa das amostras antes e depois dos pré-tratamentos com ultrassom utilizando água e etanol.

Tabela 2 – Média e erro padrão da massa do mamão submetido a diferentes pré-tratamentos. M_1 = massa da amostra antes do pré-tratamento; M_2 = massa da amostra após o pré-tratamento. Índices sobrescritos iguais na mesma linha indicam diferença significativa pelo Teste de Tukey ($p < 0,05$).

Pré-tratamento	US20 H2O	US20 ET
M_1 (g)	40,66 ± 0,83 ^a	43,03 ± 1,50 ^b
M_2 (g)	38,38 ± 0,98 ^c	34,96 ± 2,31 ^c
% de redução de massa	5,61%	18,76%

Fonte: Autor, 2021.

Em níveis quantitativos, é possível evidenciar a perda de massa das amostras à medida que os pré-tratamentos foram aplicados, entretanto, apenas a massa final do grupo tratado com etanol diferiu do grupo tratado com água. Isso se deve ao fato de o etanol ser um solvente orgânico que possui densidade e tensão superficial menores que a da água, largamente utilizado como agente desidratante de materiais biológicos devido à sua alta capacidade higroscópica e por não deixar resíduos sendo inofensivo para os seres humanos e atuando como um potencial substituto da água, otimizando o processo de secagem (ROJAS; AUGUSTO, 2018).

7.2 CINÉTICA DE SECAGEM

Com o intuito de otimização do processo de secagem, foi realizado o estudo da cinética de secagem do mamão a uma temperatura de 60°C. Para este estudo, o percentual de umidade foi padronizado em 16% (0,19 kg de água/kg b.s.) (DA SILVA JÚNIOR et al., 2018). As umidades iniciais das amostras estão descritas na Tabela 3.

Tabela 3 – Percentuais de umidade inicial das amostras de mamão após diferentes pré-tratamentos.

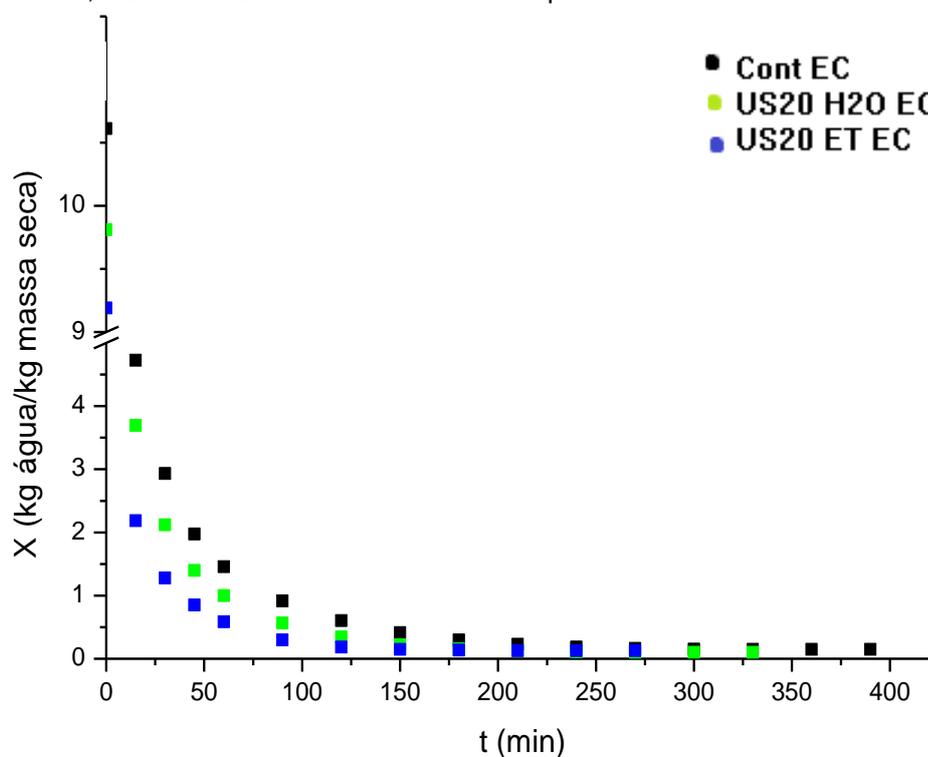
b.u. = base úmida; b.s = base seca.

Pré-tratamento	b.u. (%)	b.s. (%)
Controle	91,38	10,61
US20 H2O	90,75	9,81
US20 ET	90,18	9,19

Fonte: Autor, 2021.

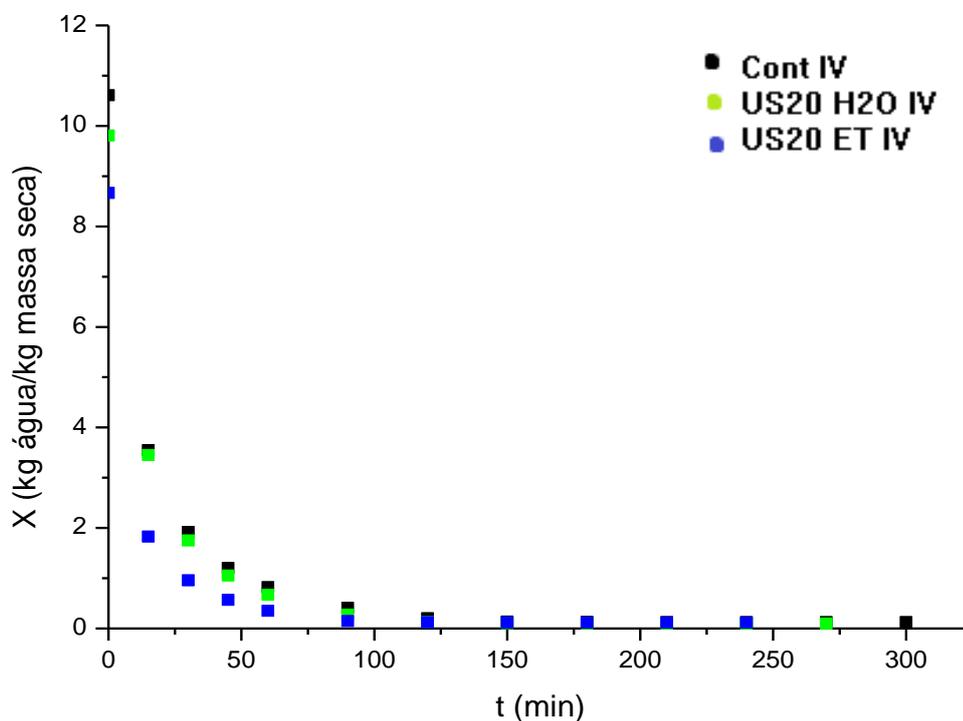
Nas figuras 2 e 3, é possível perceber que houve divergências nas taxas de difusividade de água.

Figura 2 - Variação da umidade na secagem convectiva do mamão com diferentes pré-tratamentos: Cont EC = controle estufa convectiva; US20 H2O EC = ultrassom com água por 20 minutos e estufa convectiva; US20 ET EC = ultrassom com etanol por 20 minutos e estufa convectiva.



Fonte: Autor, 2021.

Figura 3 - Variação da umidade na secagem por infravermelho do mamão com diferentes pré-tratamentos: Cont IV = controle infravermelho; US20 H2O IV= ultrassom com água por 20 minutos e infravermelho; US20 ET IV = ultrassom com etanol por 20 minutos e infravermelho.



Fonte: Autor, 2021.

É importante se ater a curva decrescente de secagem, que está dividida em duas fases bem delimitadas, a primeira caracterizada por um declínio abrupto decorrente da perda rápida de água e a segunda, por uma tendência ao equilíbrio, onde há uma menor taxa de secagem até o fim do processo. Nota-se que à medida que os pré-tratamentos foram aplicados, os valores de umidade inicial decaíram, possivelmente devido a influência do etanol e ultrassom nas amostras. Os tempos necessários para atingir a condição de equilíbrio e o percentual de redução de secagem das amostras estão descritos na Tabela 4.

Somado a isto, a associação do etanol ao ultrassom como pré-tratamento, demonstrou uma maior perda de umidade das amostras em relação ao grupo controle. Rojas, Silveira e Augusto (2020) demonstraram que, a imersão de cubos de abóbora em etanol por 15 e 30 minutos, por si só, resultaram em uma redução de 47% do tempo de secagem e que quando associado ao ultrassom, conseguiram uma redução

de até 54% à medida que o tempo de pré-tratamento aumentou.

Tabela 4 – Tempos de secagem e percentual de redução de secagem em relação à amostra controle do mamão desidratado por diferentes métodos

Amostra	Tempo (minutos)	Percentual de redução (%)
Cont EC	237	-
US20 H2O EC	165	30,38%
US20 ET EC	120	49,37%
Cont IV	127	-
US20 H2O IV	108	14,97%
US20 ET IV	84	33,86%

Fonte: Autor, 2021.

Rojas e Augusto (2018) explicam que os tempos de secagem diminuíram quando o etanol foi utilizado como pré-tratamento. Isso se deve ao fato de que durante a imersão da amostra, o etanol promove diversas modificações estruturais, favorecendo o efeito *Marangoni*, quando ocorre transferência de massa ao longo de uma interface entre dois fluidos devido ao gradiente de tensão superficial.

Para fins elucidativos, amostras pré-tratadas com etanol obtiveram maior coeficiente de transferência de massa, o que significa que isto facilitou a difusão da umidade para a fase gasosa. Em outras palavras, o pré-tratamento com etanol teve maior influência na diminuição da resistência externa das amostras do que o com água (ROJAS; AUGUSTO; CÁRCEL, 2020). Blasco et al. (2006) descrevem que a resistência externa varia de acordo com a interação entre o ar e a espessura, tamanho e superfície da amostra.

Quando há a aplicação do etanol, ocorrem diversas modificações estruturais como remoção do ar intercelular, afinamento da parede celular e diminuição da resistência externa, e de composição como a extração de alguns compostos e conseqüentemente entrada do solvente na matriz. Isso faz com que haja uma vaporização instantânea do etanol logo no início da secagem, já que sua pressão de vapor é maior que a da água. A partir daí, um gradiente de tensão superficial é formado dentro da amostra promovendo o efeito *Marangoni* (FENG et al., 2019; WANG et al., 2019; ROJAS; AUGUSTO; CÁRCEL, 2020).

Outra variável que pode ter proporcionado uma maior perda de umidade foi a maciez da amostra. Da Silva Júnior et al. (2018) verificaram que, na secagem de mamão (var. formosa), as amostras tratadas com ultrassom obtiveram maiores taxas de secagem e perda de umidade em relação as amostras controle. Cunha et al. (2020) ao associar o uso do etanol ao ultrassom por 10 minutos observou o aumento da perda de água durante a secagem em estufa convectiva estava relacionada à formação de microcanais em melão (var. cantaloupe).

Já Santos et al. (2021), obtiveram resultados diferentes ao avaliar a secagem convectiva de fatias de cenoura pré-tratadas com ultrassom e etanol. Os autores relatam que, ao estudar as mudanças estruturais da amostra, não foi evidenciada a influência do US na formação destes microcanais, o que corrobora com o fato de que matrizes alimentares mais rígidas sofrem pouca influência das ondas ultrassônicas. Porém, estas análises não foram realizadas para as amostras de mamão a qual trata este trabalho.

É possível perceber na Tabela 5 que, independentemente de as amostras serem submetidas ou não aos pré-tratamentos ou do tipo de pré-tratamento, o infravermelho por si só foi capaz de reduzir o tempo de secagem do mamão.

Tabela 5 – Percentual de redução do tempo de secagem do mamão desidratado entre os métodos de secagem

Método de secagem	Percentual de redução (%)
CONT EC x CONT IV	46,42%
US20 H2O EC X US20 H2O IV	34,55%
US20 ET EC x US20 ET IV	30,0%

Fonte: Autor, 2021.

Isto pode ser explicado pela ação da energia da radiação infravermelha, que gera calor em uma camada abaixo da superfície, sendo este, transferido de maneira contracorrente para o centro e exterior do material permitindo que o produto sofra um aquecimento mais rápido e homogêneo sem necessariamente um aquecimento da atmosfera circundante. Esse fator também viabiliza a desidratação sem necessariamente a utilização de equipamentos de alto consumo energético ou de agentes desidratantes como alternativas de pré-tratamentos, tornando o processo menos oneroso e diminuindo o seu impacto ambiental (SADEGHI;

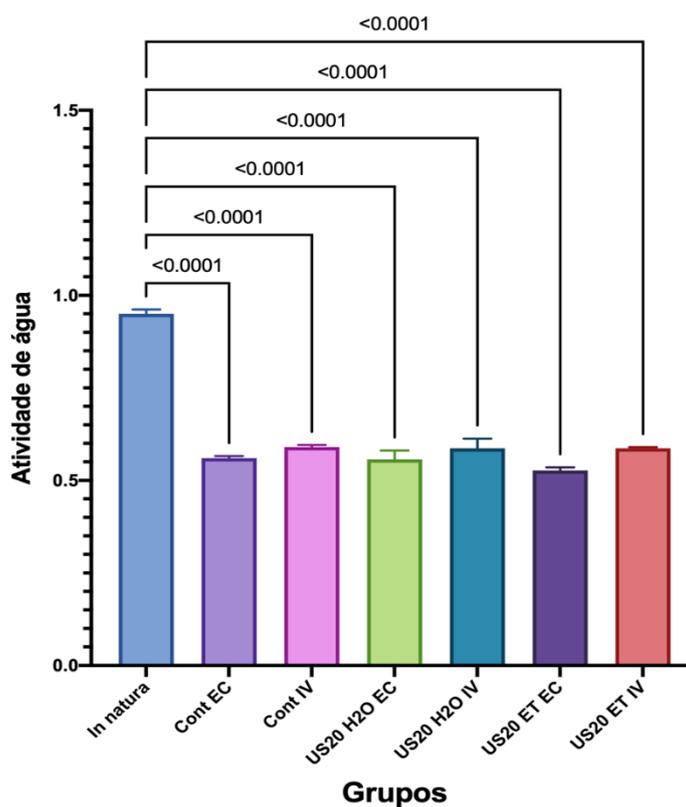
MOVAGHARNEJAD; HAGIGHI ASL, 2019; KIPCAK; DOYMAZ; MOROYDOR-
DERUN, 2019; JAFARI; MOVAGHARNEJAD; SADEGHI, 2020).

7.3 PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DE QUALIDADE

7.3.1 Atividade de água (Aw)

O mamão possui alta perecibilidade devido principalmente à sua alta atividade de água. Assim, a desidratação é uma das técnicas mais utilizadas para sua preservação, tendo como principal objetivo a redução da umidade e consequentemente da Aw (DA SILVA JÚNIOR et al., 2018). Na Figura 3 estão descritos os valores de Aw encontrados nas amostras de mamão *in natura* e desidratadas.

Figura 4 – Valores médios e erro padrão de atividade do mamão desidratado por diferentes métodos. Índices sobrescritos indicam diferença significativa pelo Teste de Tukey ($p < 0,05$).



Fonte: Autor, 2021.

A A_w das amostras *in natura* foi de 0,96. Valores semelhantes foram relatados por Chandra et al. (2020) em mamões da variedade *Disco*. Todas as amostras desidratadas apresentaram diferenças significativas em relação ao grupo *in natura*, estando estas abaixo de 0,60. Contudo, as amostras com e sem pré-tratamento secas por convecção demonstraram valores ligeiramente menores de A_w quando comparadas às secas por infravermelho. Dados similares foram encontrados por Reis et al. (2018) em mamões da variedade *Tainung* que foram desidratados em estufa convectiva.

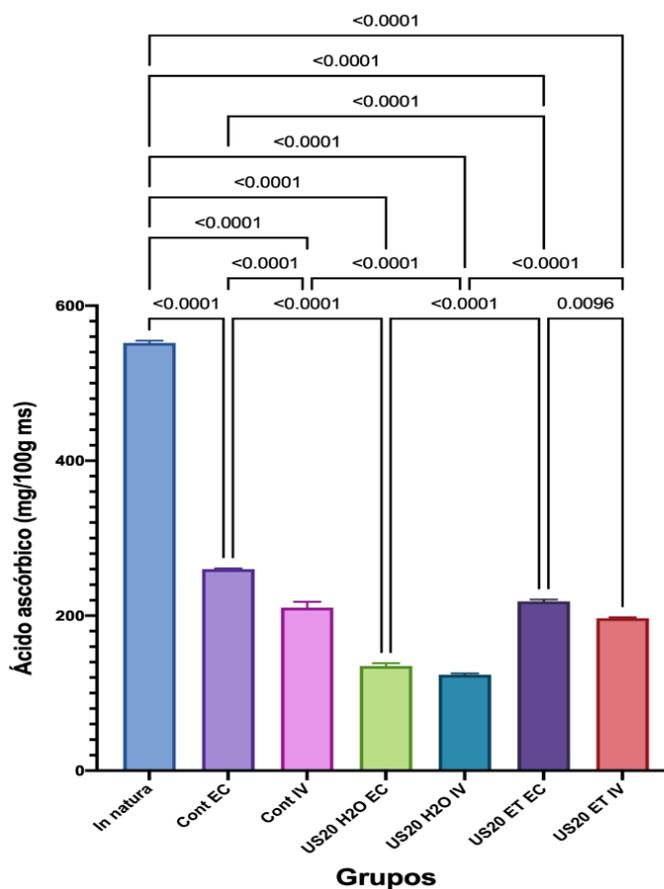
Também pode ser observado que os valores de A_w das amostras tratadas com ultrassom associado ou não ao etanol foram menores do que os dos grupos controle. Os efeitos de contração e rarefação gerados durante a aplicação do ultrassom promovem a cavitação, que pode romper as células e criar microcanais no fruto, facilitando assim a liberação de material intracelular e tornando mais fácil a evaporação. O etanol também tem seu papel, onde, através do efeito *Marangoni*, cria um influxo na amostra, e através da diferença de tensão superficial, promove uma maior saída de água. Isso demonstra que o processo de secagem foi eficaz na redução da umidade e A_w , permitindo assim uma maior estabilidade do mamão, visto que bactérias e fungos patogênicos e deteriorantes não encontram condições favoráveis para seu crescimento em produtos com atividade de água de abaixo de 0,85 e 0,62 respectivamente (SAMOTICHA; WOJDYLO; LECH, 2016; ISLAM et al., 2019; CHANDRA et al., 2020; ROJAS; AUGUSTO; CÁRCEL, 2020).

7.3.2 Teor de ácido ascórbico

Após a secagem, houve um decréscimo dos teores de ácido ascórbico em todas as amostras como descrito na Figura 5. Wang et al. (2018) e Wang et al. (2019) descreveram que durante a aplicação do ultrassom, há o rompimento de estruturas como a parede celular. Isso faz com que haja uma maior concentração de ácido ascórbico no espaço extracelular do mamão, e que pela natureza hidrossolúvel deste nutriente, esse se dissolva e seja lixiviado pela água utilizada no pré-tratamento. Além disso, os mesmos autores enfatizam que a utilização do pré-tratamento com etanol diminui o contato do ácido ascórbico com o ar, minimizando assim reações oxidativas,

o que justificam maiores teores de ácido ascórbico nos grupos submetidos a este pré-tratamento em relação aos que utilizaram água destilada.

Figura 5 – Valores médios e erro padrão de ácido ascórbico do mamão desidratado por diferentes métodos. Índices sobrescritos indicam diferença significativa pelo Teste de Tukey ($p < 0,05$).



Fonte: Autor, 2021.

Da Cunha et al. (2020), Da Silva et al. (2019) e Da Silva Júnior et al. (2018), obtiveram resultados semelhantes a estes ao desidratar melão, mamão e nectarina, respectivamente, utilizando ultrassom ou a associação de etanol com ultrassom e secagem convectiva, observando que há uma redução do teor de ácido ascórbico após a desidratação em relação às amostras frescas, revelando a natureza termossensível deste nutriente, sendo os percentuais de retenção deste nutriente após desidratação descritos na tabela 6.

Tabela 6 – Teores de ácido ascórbico e seus percentuais de retenção em mamões desidratados por diferentes métodos.

Amostra	Ácido ascórbico (mg/100g ms)	Percentual de retenção (%)
<i>In natura</i>	551,33	-
CONT EC	260,03	47,16%
US20 H2O EC	134,96	24,47%
US20 ET EC	218,57	39,64%
CONT IV	210,32	38,14%
US20 H2O IV	123,43	22,38%
US20 ET IV	196,60	35,65

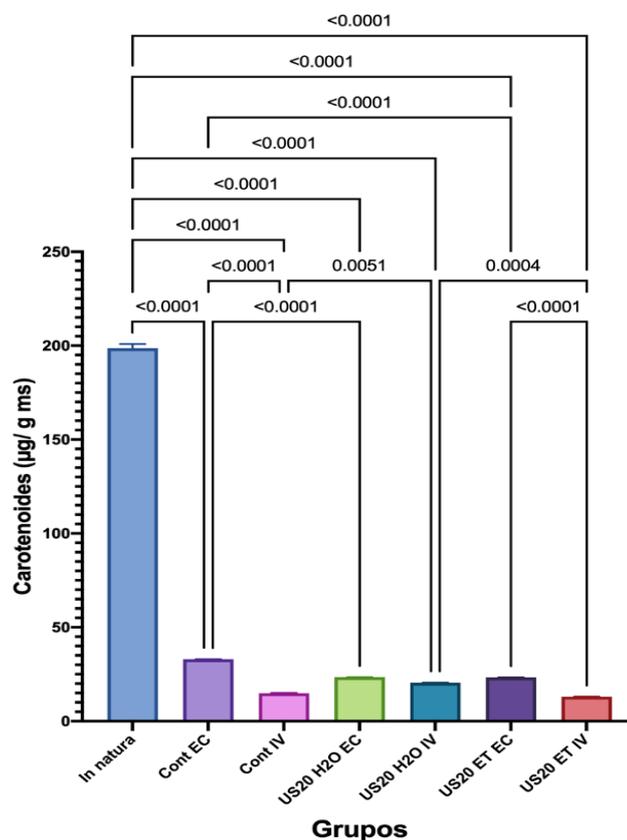
Fonte: Autor, 2021.

Pode haver também uma diminuição do teor de ácido ascórbico resultante de fatores como aplicação de luz, já que este nutriente é muito lábil quando exposto à luz, o que justificam resultados menores em relação às amostras desidratadas por convecção. Um fator relevante a ser considerado é que durante o período de pré-tratamento, radicais livres em excesso podem ser formados por meio de reações sonoquímicas potencializando assim os processos oxidativos (WANG; VANGA; RAGHAVAN, 2019). Aguilari et al. (2017) evidenciaram que durante a utilização do ultrassom, se realizada na presença de oxigênio, este seria o principal fator de degradação de vitamina C seguido da produção de radicais livres.

7.3.3 Teor de carotenoides totais

Os carotenoides são compostos lipofílicos com reconhecida capacidade antioxidante. Alguns dos compostos dessa classe de nutrientes tem atividade provitamina A, como o β -caroteno, importante no controle de doenças do sistema cardiovascular (RAMOS-PARRA et al., 2019). Na Figura 6 estão descritos os teores de carotenoides encontrados nas amostras.

Figura 6 – Teor médio e erro padrão de carotenoides em mamão desidratado por diferentes métodos. Índices sobrescritos indicam diferença significativa pelo Teste de Tukey ($p < 0,05$).



Fonte: Autor, 2021.

Observa-se no gráfico que, o grupo *in natura* apresentou o maior teor de carotenoides entre as amostras e as demais demonstrando um decréscimo, sugerindo uma relação com os pré-tratamentos e o processamento térmico. Resultados parecidos foram relatados por Reis et al. (2018) ao quantificarem este nutriente em mamão *in natura*.

As amostras submetidas ao pré-tratamento com etanol e secagem por infravermelho apresentaram menores teores de carotenoides quando comparadas as amostras em que a água era o meio de transmissão do ultrassom ou que foram secas em estufa convectiva. Da Cunha (2020) observou uma redução do teor de carotenoides ao utilizar pré-tratamento ultrassônico e etanol em melão cantaloupe.

Rojas et al. (2018), ao avaliar a microestrutura de batatas submetidas a dois pré-tratamentos com ultrassom, não observaram a formação de microcanais na matriz da amostra quando a água era o meio condutor das ondas acústicas. O contrário foi

evidenciado nas amostras submersas em etanol, sugerindo que a ação do etanol pode ter potencializado o efeito do ultrassom, e conseqüentemente uma maior extração de compostos bioativos, incluindo os carotenoides que possam ter se solubilizado nele. Os percentuais de retenção deste nutriente está descrito na tabela 7.

Tabela 7 – Teores de carotenoides totais e seus percentuais de retenção em mamões desidratados por diferentes métodos.

Amostra	Carotenoides totais ($\mu\text{g/g ms}$)	Percentual de retenção (%)
<i>In natura</i>	198,63	-
CONT EC	32,94	16,58%
US20 H2O EC	23,43	11,79%
US20 ET EC	23,28	11,72%
CONT IV	14,83	7,46%
US20 H2O IV	21,98	11,06%
US20 ET IV	13,01	6,54%

Fonte: Autor, 2021.

Outra correlação pode ser feita ao uso da luz, durante a secagem por infravermelho, e uma menor concentração de carotenoides nas amostras em relação à secagem em estufa. Os carotenoides apresentam uma cadeia de hidrocarbonetos poli-insaturados composta por um longo sistema de ligações duplas conjugadas, o que os tornam muito susceptíveis a isomerização, oxidação e degradação química quando expostos a condições que envolvem a presença de calor e luz (CHEN; ZHONG, 2015).

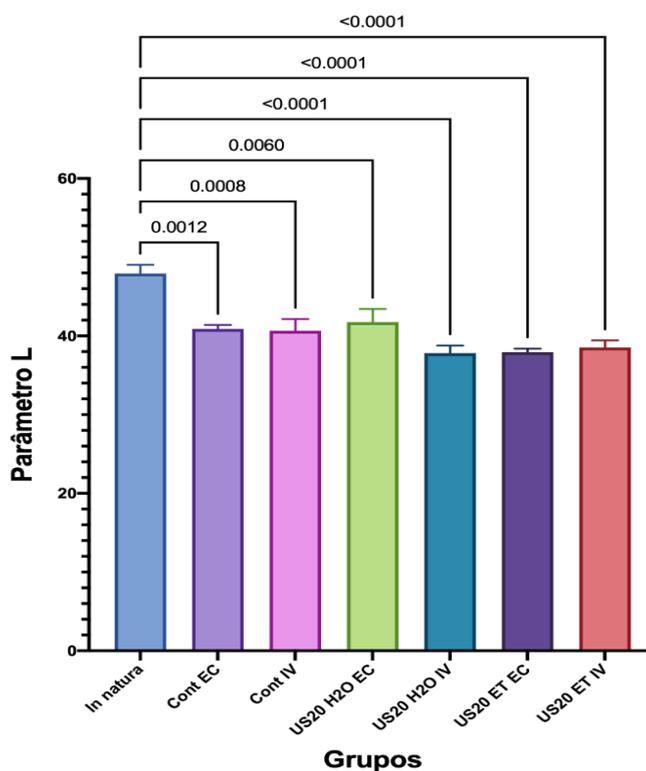
7.3.4 Determinação instrumental da cor

É imprescindível que hajam formas de minimizar as perdas de pigmentos durante a secagem. Nas Figuras 7, 8 e 9 estão descritos os parâmetros colorimétricos do mamão desidratado por diferentes métodos.

No que diz respeito ao parâmetro de luminosidade, notou-se uma diminuição de (L^*) à medida que as amostras foram secas, indicando uma diminuição do brilho e conseqüente escurecimento das amostras em relação ao grupo *in natura*, podendo

estes resultados estarem relacionados com reações de escurecimentos enzimático e não-enzimático.

Figura 7 – Parâmetro colorimétrico (L^*) e erro padrão de mamões desidratados por diferentes métodos. Índices sobrescritos indicam diferença significativa pelo Teste de Tukey ($p < 0,05$).



Fonte: Autor, 2021.

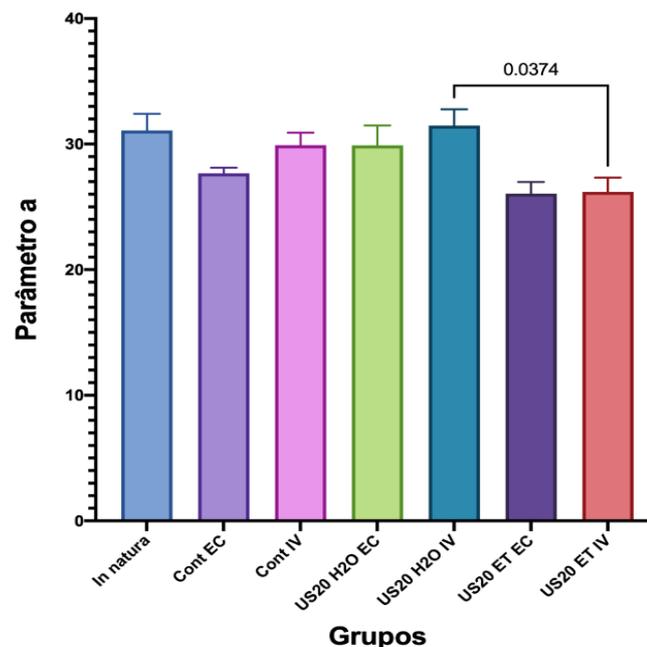
Durante o aquecimento, o aumento da temperatura das amostras gera a Reação de *Maillard*, que ocorre através do ataque nucleofílico do grupo α -carbonílico de um açúcar redutor, ao grupo amino das proteínas. Ao final da reação, há a produção de hidroximetilfurfural que se polimeriza com alguns compostos que contém grupamentos amina formando pigmentos marrons conhecidos como melanoidinas. Um outro fator que pode ter levado ao escurecimento do mamão é a oxidação do ácido desidroascórbico. Ao ser exposto a altas temperaturas ele se hidrolisa para formar 2,3-diacetogulônico, que sofre polimerização com alguns aminoácidos como a lisina, propiciando o desenvolvimento de pigmentos escuros (REIS et al., 2018).

Silva Júnior et al. (2018), ao avaliarem mamões desidratados por ultrassom e vácuo, relataram um decréscimo nos valores de (L^*), contudo, as amostras que foram tratadas a vácuo obtiveram uma coloração mais clara que os demais grupos. Os autores explicam que as amostras tratadas com vácuo foram menos expostas ao

oxigênio fazendo com a degradação de ácido ascórbico e as reações enzimáticas fossem prevenidas. Silva et al. (2019) avaliaram nectarinas secas pelo mesmo método e evidenciaram uma redução do parâmetro (L^*) sugerindo que altas temperaturas resultam em amostras mais escuras.

Quanto ao parâmetro (a^*), que se refere à coloração avermelhada, apenas os grupos pré-tratados com ultrassom e água e ultrassom e etanol após a secagem por infravermelho demonstraram diferença significativa entre eles. Como pode ser observado, apenas a variável etanol ocasionou um decréscimo do vermelho na amostra US₂₀ETIV, possivelmente pelo efeito Marangoni sobre a amostra potencializado pelo uso do ultrassom. Durante a cavitação, estruturas como o cromoplasto e a parede celular são destruídas, fazendo com que o conteúdo de carotenoides, responsáveis pela coloração avermelhada do fruto, extravasem, fazendo com que o etanol, ao aumentar o gradiente de pressão osmótica, ocasione a extração de alguns compostos da amostra (CAMPOLI et al, 2018; ROJAS et al., 2016).

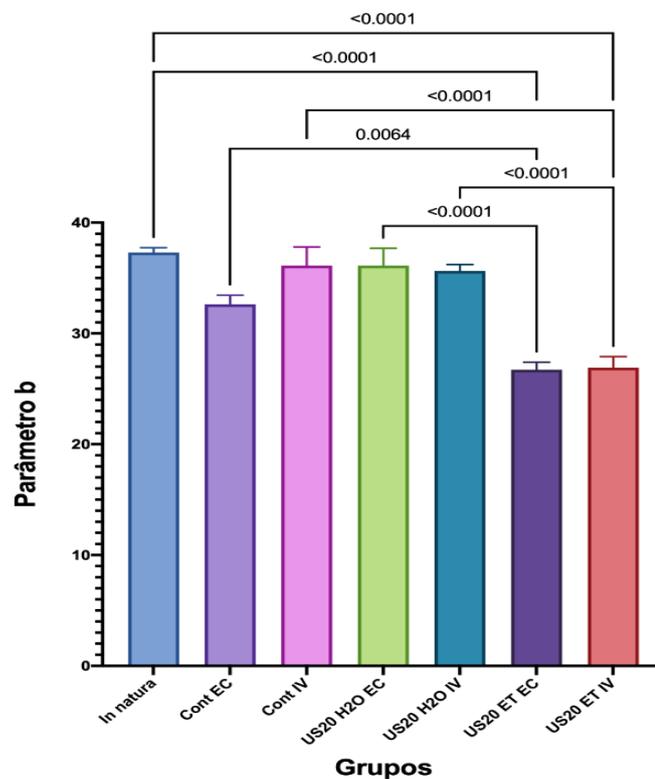
Figura 8 – Parâmetro colorimétrico (a^*) e erro padrão de mamões desidratados por diferentes métodos. Índices sobrescritos indicam diferença significativa pelo Teste de Tukey ($p < 0,05$).



Fonte: Autor, 2021.

Em relação ao parâmetro (b^*), relacionado à expressão de amarelo, todas as metodologias de secagem diferiram significativamente entre si e do grupo *in natura*. De maneira geral, a utilização de etanol durante o pré-tratamento afetou negativamente este parâmetro, como explicitado anteriormente, já que a coloração amarela advém dos carotenoides presentes no mamão e estes compostos são mais facilmente extraídos após a amostra sofrer ação do ultrassom associada ao etanol.

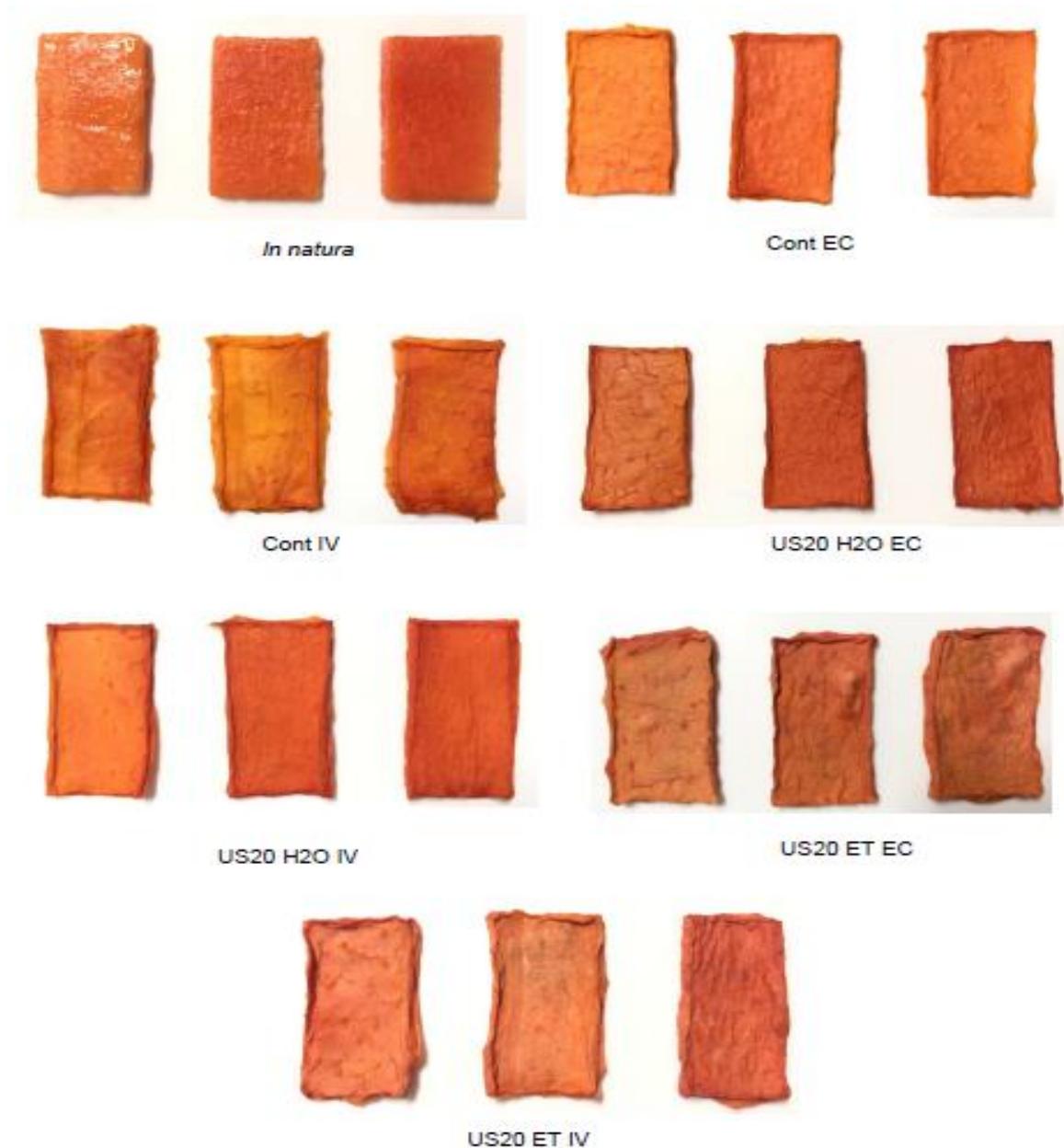
Figura 9 – Parâmetro colorimétrico (b^*) e erro padrão de mamões desidratados por diferentes métodos. Índices sobrescritos indicam diferença significativa pelo Teste de Tukey ($p < 0,05$).



Fonte: Autor, 2021.

Para ilustrar as diferenças de cor dos mamões *in natura* e desidratados por ambos os métodos de secagem propostos, com e sem pré-tratamento, foram agrupadas três amostras de cada grupo como pode ser observado na figura 10.

Figura 10 – Amostras de mamão *in natura* e desidratados por diferentes métodos.



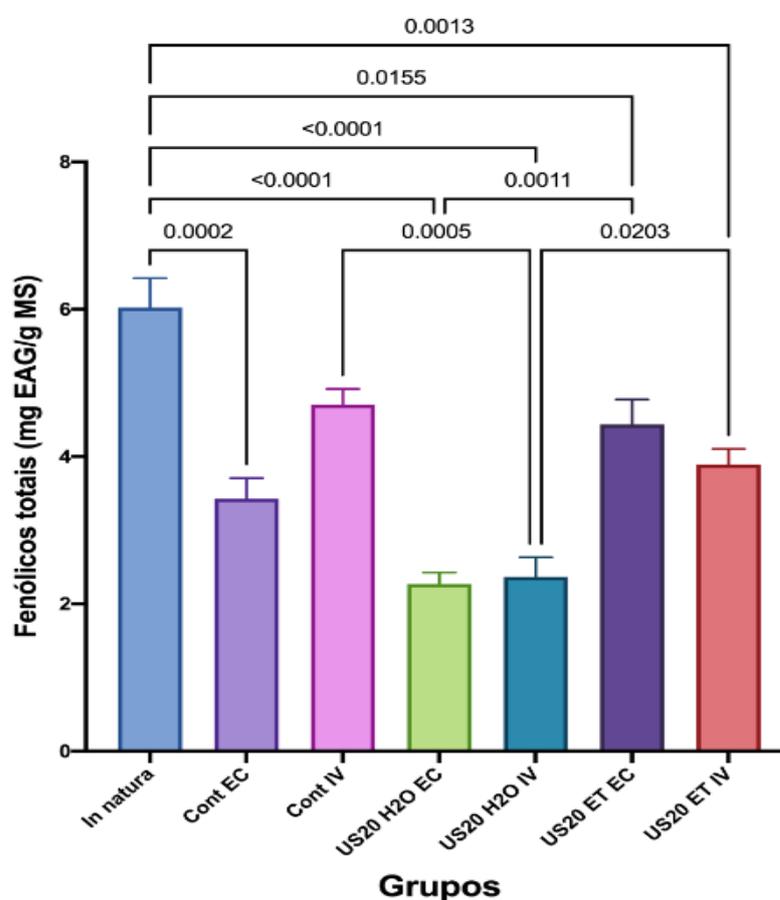
Fonte: Autor, 2021.

Cont EC = controle estufa convectiva; Cont IV = controle infravermelho; US20 H2O EC = ultrassom com água por 20 minutos e estufa convectiva; US20 H2O IV= ultrassom com água por 20 minutos e infravermelho; US20 ET EC = ultrassom com etanol por 20 minutos e estufa convectiva; US20 ET IV = ultrassom com etanol por 20 minutos e infravermelho.

7.3.5 Teor de fenólicos totais (TFT)

Os teores de fenólicos totais estão descritos na figura 11. Inicialmente, o TFT foi de 6,02 mg EAG/g MS para a amostra *in natura*. Addai, Abdullah e Mutalib (2013) encontraram, em extratos metanólicos preparados com o solvente nas concentrações de 50%, 70% e 100%, valores médios de 4,66 - 6,75 mg EAG/g MS, 4,55 - 6,56 mg EAG/g MS e 2,16 - 2,67 mg EAG/g MS em *Carica papaya* L. cultivares *Hongkong* e *Eksotika in natura* em estágio de maturação grau 5, respectivamente.

Figura 11 – Fenólicos totais e erro padrão de mamões desidratados por diferentes métodos. Índices sobrescritos indicam diferença significativa pelo Teste de Tukey ($p < 0,05$)



Fonte: Autor, 2021.

Véga-Gálvez et al. (2019) também encontraram resultados similares, 7,02 mg EAG/g MS em *Vasconcellea pubescens*. Estas variabilidades podem estar correlacionadas à fatores como cultivar, método de extração e/ou quantificação, e atividade enzimática, como é o caso da polifenoloxidase.

Houve uma redução no TFT de todas as amostras desidratadas em relação ao grupo *in natura*, com diferenças significativas entre elas exceto no grupo Cont IV. Os percentuais de retenção de fenólicos totais estão descritos na tabela 8.

Tabela 8 – Teores de fenólicos totais e seus percentuais de retenção em mamões desidratados por diferentes métodos.

Amostra	Fenólicos totais (mg EAG/g ms)	Percentual de retenção (%)
<i>In natura</i>	6,02	-
CONT EC	3,42	56,81%
US20 H2O EC	2,26	37,54%
US20 ET EC	4,43	73,58%
CONT IV	4,70	78,07%
US20 H2O IV	2,36	39,20%
US20 ET IV	3,89	64,61%

Fonte: Autor, 2021.

Véga-Gálvez et al. (2019) também não encontraram diferenças estatísticas significativas entre mamão papaya fresco e seco por infravermelho sem pré-tratamento, sendo o método que menos impactou no TFT quando comparado aos demais grupos estudados.

Kayacan et al. (2020) ao avaliarem o impacto de diferentes tipos de secagem de caqui revelaram que, independentemente do método de secagem, as amostras submetidas ao processamento térmico apresentaram uma redução do TFT. Ma et al. (2021), ao secarem pele de maçã por três métodos diferentes, observaram menores TFT nas amostras desidratadas por convecção à 75°C quando comparadas com amostras liofilizadas. Da Cunha et al. (2020) também relataram uma redução do teor destes compostos em melão pré-tratados submetidos à secagem convectiva a 60°C. Da Silva et al. (2018) observaram que o TFT de nectarinas desidratadas diminuiu após serem submetidas ao calor e observaram que houve uma maior retenção desses compostos no grupo que foi submetido ao método que utilizava ultrassom e vácuo associados, o que resultou em um tempo de secagem menor em relação às outras amostras.

Estes resultados podem estar relacionados à termossensibilidade e à oxidação dos compostos fenólicos presentes no mamão, que são passíveis de maiores taxas de degradação na presença de calor e oxigênio (LIU et al., 2015). Outro fator importante é que durante à secagem, podem ocorrer a formação de compostos provenientes da complexação dos compostos fenólicos e polissacarídeos ou proteínas presentes naturalmente nos alimentos, fazendo com que estes não sejam detectados pelo método de quantificação utilizado neste estudo (MA et al., 2021).

Um outro achado importante está relacionado aos grupos US20 H2O EC e US20 H2O IV, que dentre todas as amostras, apresentaram os menores valores de fenólicos totais, 2,36 mg EAG/g MS e 2,26 mg EAG/g MS, respectivamente. Embora o grupo US20 H2O EC não tenha apresentado diferença estatística significativa, ao contrário do grupo US20 H2O IV, em relação aos grupos Cont EC (3,42 mg EAG/g MS) e Cont IV (4,70 mg EAG/g MS), seu valor de TFT foi quantitativamente inferior ao grupo correspondente sem pré-tratamento. Os percentuais de retenção de compostos fenólicos das amostras estão listados na tabela 8.

Este achado pode estar correlacionado com variáveis como, intensidade do ultrassom e meio de transmissão das ondas. Li et al. (2021) reportaram uma diminuição do teor de fenólicos em ameixas cv. *Sanhua* pré-tratadas com ultrassom, sendo esta redução ainda maior nos grupos em que a intensidade do US aumentou. Isso se deve ao fato de que o US é responsável por aumentar as taxas de transferência de água da amostra, já que os efeitos químicos, mecânicos e físicos causados pela sonicação alteram diversas propriedades do material por meio da cavitação acústica, sendo capazes de dar origem a poros no tecido vegetal e romper estruturas como a membrana celular fazendo com que haja um extravasamento do conteúdo intracelular, resultando em uma rápida perda dessas substâncias. A formação de radicais livres durante o pré-tratamento também podem afetar negativamente os compostos bioativos (MOTHIBE et al., 2014; AMAMI et al, 2017; TARONE et al, 2021).

Além disso, Dorta et al. (2012) reforçam que a água, juntamente com o etanol, estão entre os solventes mais utilizados para a extração de compostos fenólicos de matrizes alimentares, podendo os conteúdos inferiores de TFT das amostras serem explicados por isto.

Quando comparados entre si, as quantidades de fenólicos dos grupos tratados com etanol foram superiores às aquelas apresentadas pelos grupos tratados com água. Em um estudo anterior, com fatias de batata, observou-se que após associação entre o pré-tratamento ultrassônico durante 3 minutos e imersão em etanol, houve um enrugamento das células, afinamento das membranas e uma diminuição do ar intercelular. Em outras palavras, durante a sonicação, o solvente penetrou primeiramente nos espaços intercelulares, sendo o oxigênio e a água expelidos. Alguns solutos da parede celular também foram extraídos durante o processo, fazendo com que as células perdessem turgidez e ficassem mais compactadas, reduzindo assim a superfície de contato (ROJAS; AUGUSTO, 2018).

Entretanto, ao que parece ser, mesmo sendo visível a redução do TFT o etanol o propiciou um efeito protetivo, provavelmente pela menor exposição destes compostos às reações oxidativas já que durante a imersão, grande parte do oxigênio presente na amostra foi removido. Este resultado confronta os obtidos por Rojas, Augusto e Cárcel (2020) que relataram uma redução de 47% dos TFT de maçã após imersão em etanol 96% v/v por 30 minutos sem a utilização de ultrassom.

Como já foi citado, altos tempos de secagem podem causar maior degradação dos compostos fenólicos, o que explica os teores ligeiramente maiores de fenólicos nas amostras que foram submetidas à secagem por infravermelho, com exceção grupo US20 ET IV, porém sem diferenças estatísticas quando comparado ao grupo controle. A densidade da energia infravermelha pode ser até 10 vezes maior que a energia gerada na secagem convectiva e a irradiação é transferida da fonte de aquecimento diretamente para o material que está sendo desidratado sem aquecer o ar circundante, fazendo com que quase toda a energia produzida seja emitida e absorvida pela amostra e diminuindo os tempos necessários à desidratação (GUCLU et al., 2021)

Além disso, a radiação infravermelha é capaz de aumentar a energia necessária para estimular a atividade dos polifenóis promovendo um aumento sua extração e quantificação (KRISHNAMURTHY et al., 2008). Meng et al. (2017) e Yao, Fan e Duan (2020) explicam que ligações covalentes podem ser rompidas durante a secagem por infravermelho, liberando assim uma maior quantidade de compostos fenólicos, flavonas, carotenoides e ascorbato, fortemente ligados a componentes estruturais como a parede celular. Boateng, Yang e Li (2021) reforçam que o

infravermelho possui uma alta capacidade de penetração, de forma que pode quebrar mais células e assim liberar mais fenólicos. Zhou et al. (2017) indicam que há uma transição de nível de energia a nível molecular, convertendo energia cinética em térmica, liberando assim mais compostos.

Nove compostos fenólicos foram identificados em mamão fresco (*Vasconcellea pubescen*), sendo eles, ácido gálico, ácido clorogênico, tirosol, catequina, ácido caféico, hidrato de rutina, naringina, ácido *p*-cumárico e ácido trans-ferúlico. Outros autores relatam a existência de outros além destes como ácido cumárico, ácido ferúlico, quercetina, apigenina, kaempherol e miricetina (SIMIRGIOTIS; CALIGARI; SCHMEDA-HIRSCHMANN, 2009; RIVERA-PASTRANA; YAHIA; GONZÁLES-AGUILAR, 2010; URIBE et al., 2015; VEGA-GÁLVEZ et al., 2019). Vega-Gálvez et al. (2019) associam a secagem por infravermelho a um maior TFT devido a destruição da parede celular da fruta.

O ácido ascórbico também exerce efeito protetor sobre os fenólicos totais devido à sua estrutura cíclica, limitando a oxidação. Criando um link com o tópico de ácido ascórbico deste estudo, este achado pode ser também uma justificativa para a redução do teor deste nutriente nas amostras desidratadas por infravermelho. Durante a secagem, por este método, precursores fenólicos são convertidos em compostos fenólicos através de reações não enzimáticas e o ácido ascórbico é responsável por diminuir a atividade da polifenoxidase e retardar a degradação destes compostos (SOONG; BARLOW, 2004; YAO; FAN; DUAN, 2020).

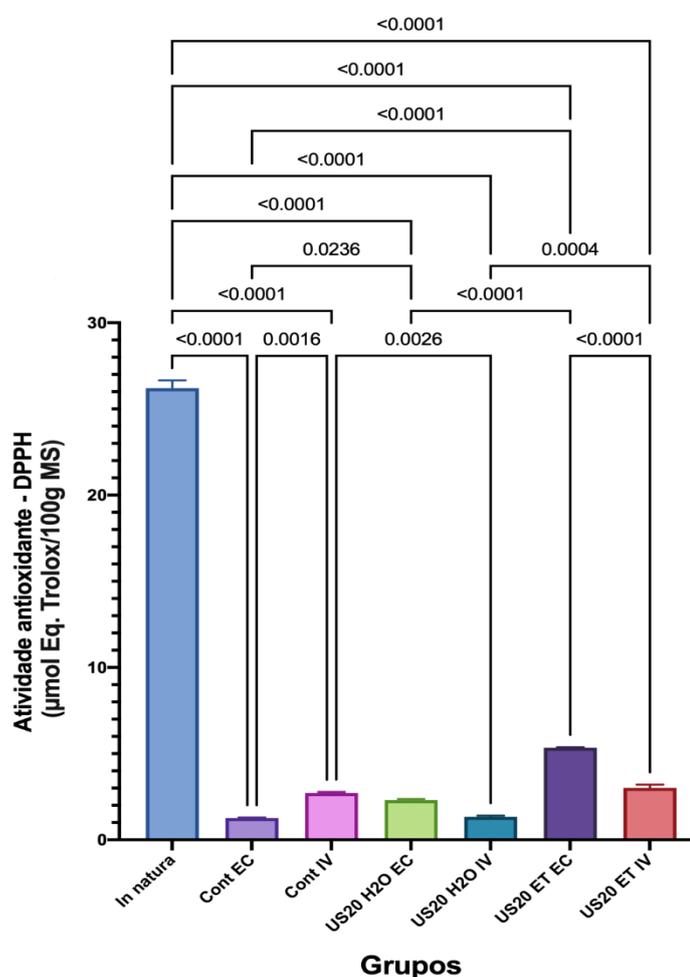
7.3.6 Atividade antioxidante total – DPPH (2,2 Difenil-1-picrilhidrazil)

Assim como no teor de fenólicos totais, os processamentos afetaram a atividade antioxidante total (AAT) de todas as amostras. Inicialmente, a amostra *in natura* apresentou um teor de 26,20 $\mu\text{mol EqT}/100\text{g MS}$, valor abaixo do relatado por Vega-Gálvez et al. (2021) ($39,07 \pm 5,68 \mu\text{mol EqT/g MS}$) e por Vega-Gálvez et al. (2019) ($81,23 \pm 1,23 \mu\text{mol EqT/g MS}$) para mamões da espécie *Vasconcellea pubescens*. Esta variabilidade é muito comum quando se trata de frutos, pois em função de fatores intrínsecos como cultivar e variedade ou extrínsecos como condições climáticas e edáficas, apresentam em termos qualitativos e quantitativos,

um perfil fitoquímico diferente (MELO et al., 2008). Além disso, à medida que os tratamentos foram aplicados, houve uma redução na AAT, com diferenças significativas entre todos os grupos em relação ao grupo *in natura* e entre os grupos Cont EC e Cont IV, Cont Ec e US20 H2O EC, Cont EC e US20 ET EC, Cont IV e US20 H2O IV, US20 H2O EC e US20 ET EC e US20 H2O IV e US20 ET IV, como pode ser observado na figura 12.

Em comparação entre os grupos controle e com tratamentos similares, apenas o grupo Cont IV apresentou conteúdo maior de AAT. Estes resultados podem estar correlacionados com a capacidade do IV em quebrar ligações covalentes, assim liberando mais compostos bioativos que antes estavam ligados à matriz celular e a um tempo menor de processamento em relação ao grupo Cont EC.

Figura 12 - Atividade antioxidante total – DPPH e erro padrão de mamões desidratados por diferentes métodos. Índices sobrescritos indicam diferença significativa pelo Teste de Tukey ($p < 0,05$)



Fonte: Autor, 2021.

Entretanto, essa tendência não foi observada entre os grupos US20 H2O EC e US20 H2O IV e US20 ET EC e US20 ET IV. O que podemos inferir é que, o teor de AAT dos grupos tratados com água destilada foram menores que os tratados com etanol devido ao maior tempo de secagem à que foram expostos. Durante o processo de secagem, vários compostos com capacidade antioxidante como flavonoides, carotenoides e ácido ascórbico podem sofrer degradação térmica, impossibilitando assim a sua detecção pelo método de quantificação utilizado neste estudo. Noshad e Ghasemi (2020) ao avaliarem a atividade antioxidante de uvas pré-tratadas por congelamento e desidratadas em secadora convectiva, observaram que à medida que o tratamento térmico foi aplicado, a atividade antioxidante das amostras diminuiu. Os autores também estabelecem correlação direta entre a redução de compostos fenólicos à diminuição do percentual de inibição do radical DPPH.

Contudo, nota-se que as amostras pré-tratadas e que posteriormente foram desidratadas por IV apresentaram um leve decréscimo no teor de AAT quando comparadas às submetidas à secagem por convecção. Isso pode estar ligado ao fato do ultrassom, através do efeito esponja, romper algumas estruturas na matriz alimentar, aumentando assim o conteúdo de compostos bioativos livres. Somado a isto, compostos como ácido ascórbico e carotenoides, podem ter sofrido reações oxidativas devido à luz utilizada na secagem por IV. Os percentuais de retenção de antioxidantes das amostras está descrito na tabela 6.

Tabela 9 – Teores de atividade antioxidante – DPPH e percentual de retenção de compostos bioativos de mamões desidratados por diferentes métodos.

Amostra	DPPH ($\mu\text{mol EqT}/100\text{g MS}$)	Percentual de retenção (%)
<i>In natura</i>	26,20	-
CONT EC	1,26	4,80
US20 H2O EC	2,31	8,81
US20 ET EC	5,34	20,38
CONT IV	2,71	10,34
US20 H2O IV	1,33	5,07
US20 ET IV	3,01	11,48

Fonte: Autor, 2021.

O grupo Cont EC exibiu o menor percentual de retenção de bioativos enquanto os grupos pré-tratados com ultrassom e etanol apresentaram os maiores valores. Ao que parece, a associação entre ultrassom e etanol permitiu uma maior retenção de compostos bioativos nas amostras estudadas. Silva et al. (2018) relataram percentuais de retenção de compostos bioativos entre 14 e 21% em nectarinas desidratadas utilizando como método de secagem ultrassom, vácuo e a associação de ambos e demonstraram que as amostras submetidas a este último método, retiveram uma maior quantidade de antioxidantes.

Kayacan et al. (2020) e Cunha et al. (2020) ao avaliarem a atividade antioxidante de caqui e melão, respectivamente, também estabeleceram uma relação entre o aumento da temperatura de secagem à um menor potencial de redução do radical DPPH.

8 CONCLUSÃO

Os resultados deste trabalho sugerem que a associação do pré-tratamento com ultrassom e etanol e a utilização do infravermelho tiveram impacto positivo na diminuição do tempo de secagem de mamão, sendo este um resultado promissor e de grande interesse para a indústria de alimentos, já que houve uma diminuição substancial no tempo de desidratação das amostras.

Todas as amostras demonstraram valores de A_w abaixo de 0,60 e independentemente do método de secagem, foram observados decréscimos nos parâmetros de qualidade do mamão decorrentes dos fatores envolvidos no processamento.

Em relação aos teores de ácido ascórbico, carotenoides totais e cor, os grupos com e sem pré-tratamento submetidos à secagem convectiva obtiveram resultados ligeiramente superiores aos grupos desidratados por infravermelho. As amostras desidratadas por infravermelho sem pré-tratamento exibiram um maior percentual de retenção de compostos fenólicos em comparação às amostras *in natura* e desidratadas pelos demais métodos, configurando assim uma maior preservação destes nutrientes. Entretanto a maior atividade antioxidante foi encontrada no grupo US20 ET EC.

Assim, torna-se necessário o estudo de novos tipos de pré-tratamentos e secagens, propondo com isso, novas formas de consumo de frutas e vegetais, reduzindo o desperdício, melhorando as condições nutricionais da população e permitindo o avanço das Ciências dos Alimentos com a criação de novos produtos a partir de tecnologias que gerem a preservação de nutrientes e menor impacto no meio ambiente.

REFERÊNCIAS

- ADAK, N.; HEYBELI, N.; ERTEKIN, C. Infrared drying of strawberry. **Food chemistry**, v. 219, p. 109-116, 2017.
- ADDAI, Z. R.; ABDULLAH, A.; MUTALIB, S. A. Effect of extraction solvents on the phenolic content and antioxidant properties of two papaya cultivars. **Journal of Medicinal Plants Research**, v. 7, n. 46, p. 3354-3359, 2013.
- AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA - ANVISA. RDC nº 263, de 22 de setembro de 2005. **Regulamento técnico para produtos de cereais, amidos, farinhas e farelos**. Brasil, 2005.
- ALLAHDAD, Z. et al. 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. et al. Effect of ultrasound-assisted osmotic dehydration pretreatment on the convective drying of strawberry. **Ultrasonics sonochemistry**, v. 36, p. 286-300, 2017.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS - AOAC. **Official methods of analysis of the association of the analytical chemists**. 18th ed. Washington: AOAC, 2005.
- BADILLO, V. M. *Carica L.* vs. *Vasconcella St.-Hil.* (Caricaceae) com la rehabilitación de este último. **Ernstia**, v. 10, n. 2, p. 74-79, 2000.
- BARRAGÁN-IGLESIAS, J.; MÉNDEZ-LAGUNAS, L. L.; RODRÍGUEZ-RAMÍREZ, J. Ripeness indexes and physicochemical changes of papaya (*Carica papaya* L. cv. Maradol) during ripening on-tree. **Scientia Horticulturae**, v. 236, p. 272-278, 2018.
- BARROS, W. K. F. C. et al. Utilização de revestimentos alternativos na conservação pós-colheita de mamão 'sunrise solo'. **AGRI-ENVIRONMENTAL SCIENCES**, v. 5, 2019.
- BAŞLAR, 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.
- BLASCO, M. et al. Effect of blanching and air flow rate on turmeric drying. **Food Science and Technology International**, v. 12, n. 4, p. 315-323, 2006.
- BOATENG, I. D.; YANG, X.; LI, Y. Optimization of infrared-drying parameters for *Ginkgo biloba* L. seed and evaluation of product quality and bioactivity. **Industrial Crops and Products**, v. 160, p. 113108, 2021.
- BRAND-WILLIAMS, W.; CUVÉLIER, M.; BERSET, C. L. W. T. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. **LWT-Food science and Technology**, v. 28, n. 1, p. 25-30, 1995.
- BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução RDC nº12. Aprova o regulamento técnico sobre os padrões microbiológicos para alimentos**. Brasília, 2001.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Atenção à Saúde. Departamento de Atenção Básica. **Guia Alimentar para População Brasileira**. 2 ed., 1. Reimpr. – Brasília: Ministério da Saúde, 2014. 156p.

BÜYÜKTUNCE, 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 sciences**, v. 2014, 2014.

CIIAGRO - **Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas** Disponível em: http://www.ciiagro.sp.gov.br/znmt_macro_16.html. Acessado em: 29 jul. 2020.

CHAN-LEÓN, A. C. et al. The high content of β -carotene present in orange-pulp fruits of *Carica papaya* L. is not correlated with a high expression of the CpLCY- β 2 gene. **Food Research International**, v. 100, p. 45-56, 2017.

CHENG, Y. et al. Effect of ultrasound pretreatment with mono-frequency and simultaneous dual frequency on the mechanical properties and microstructure of whey protein emulsion gels. **Food hydrocolloids**, v. 89, p. 434-442, 2019.

CHEN, Q. et al. Drying kinetics and quality attributes of jujube (*Zizyphus jujuba* Miller) slices dried by hot-air and short-and medium-wave infrared radiation. **LWT-Food Science and Technology**, v. 64, n. 2, p. 759-766, 2015.

CHEN, H.; ZHONG, Q. Thermal and UV stability of β -carotene dissolved in peppermint oil microemulsified by sunflower lecithin and Tween 20 blend. **Food chemistry**, v. 174, p. 630-636, 2015.

DA SILVA BRUNI, A. R et al. Caracterização sensorial e físico-química de sorvete com polpa de mamão. **Ambiência Guarapuava**, v.13 n.3, 2017.

DA SILVA JÚNIOR, E. V. et al. Influence of ultrasound and vacuum assisted drying on papaya quality parameters. **LWT**, v. 97, p. 317-322, 2018.

DA SILVA, E. S. et al. Ultrasound-assisted vacuum drying of nectarine. **Journal of food engineering**, v. 246, p. 119-124, 2019.

DA SILVA, G. D. et al. Pretreatments for melon drying implementing ultrasound and vacuum. **LWT**, v. 74, p. 114-119, 2016.

DANTAS, J. L. L.; JUNGHANS, D. T.; LIMA, J. F. **Mamão: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. 2. ed. Brasília: Embrapa, 2013.

DANTAS, J.L.L; NETO, M.T.C. **Aspectos Botânicos e Fisiológicos, Mamão Produção, Frutas do Brasil**, 2007.

DE CARVALHO et al. **ANUÁRIO DE HORTI&FRUTI 2020**. Editora Gazeta Santa Cruz. 2019.

DEHGHANNYA, J.; GORBANI, R.; GHANBARZADEH, B. Influence of combined pretreatments on color parameters during convective drying of Mirabelle plum (*Prunus domestica* subsp. *syriaca*). **Heat and Mass Transfer**, v. 53, n. 7, p. 2425-2433, 2017.

DENG, L. et al. Chemical and physical pretreatments of fruits and vegetables: Effects on drying characteristics and quality attributes—a comprehensive review. **Critical reviews in food science and nutrition**, v. 59, n. 9, p. 1408-1432, 2019.

- DORTA, E.; LOBO, M. G.; GONZALEZ, M. Reutilization of mango byproducts: study of the effect of extraction solvent and temperature on their antioxidant properties. **Journal of Food Science**, v. 77, n. 1, p. C80-C88, 2012.
- DOS SANTOS, K. F. T. et al. FRUTICULTURA: estudo do comércio internacional do mamão. **Revista Interface Tecnológica**, v. 15, n. 2, p. 323-335, 2018.
- DOYMAZ, İ. Infrared drying of kiwifruit slices. **International Journal of Green Energy**, v. 15, n. 11, p. 622-628, 2018.
- DOYMAZ, İ.; KARASU, S.; BASLAR, M. Effects of infrared heating on drying kinetics, antioxidant activity, phenolic content, and color of jujube fruit. **Journal of Food Measurement and Characterization**, v. 10, n. 2, p. 283-291, 2016.
- DREHER, M. L. Whole fruits and fruit fiber emerging health effects. **Nutrients**, v. 10, n. 12, p. 1833, 2018.
- EMBRAPA. **A Cultura do Mamão**. 3ª Edição, Brasília, 2009.
- FENG, Y. et al. Improvement of the catalytic infrared drying process and quality characteristics of the dried garlic slices by ultrasound-assisted alcohol pretreatment. **LWT**, v. 116, p. 108577, 2019.
- GOMES, W. F. et al. Effect of freeze-and spray-drying on physico-chemical characteristics, phenolic compounds and antioxidant activity of papaya pulp. **Journal of food science and technology**, v. 55, n. 6, p. 2095-2102, 2018.
- GUCLU, G. et al. Impact of production and drying methods on the volatile and phenolic characteristics of fresh and powdered sweet red peppers. **Food Chemistry**, v. 338, p. 128129, 2021.
- GUO, Y. et al. Effects of power ultrasound enhancement on infrared drying of carrot slices: Moisture migration and quality characterizations. **LWT**, p. 109312, 2020.
- HONORÉ, M. N. et al. Effects of the size of papaya (*Carica papaya* L.) seedling with early determination of sex on the yield and the quality in a greenhouse cultivation in continental Europe. **Scientia Horticulturae**, v. 265, p. 109218, 2020.
- INSTITUTO ADOLF LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. 4. ed. São Paulo, 2005.
- ISLAM, M. Z. et al. Influence of Osmotic Dehydration on Mass Transfer Kinetics and Quality Retention of Ripe Papaya (*Carica papaya* L.) during Drying. **AgriEngineering**, v. 1, n. 2, p. 220-234, 2019.
- JAFARI, F.; MOVAGHARNEJAD, K.; SADEGHI, E. Infrared drying effects on the quality of eggplant slices and process optimization using response surface methodology. **Food Chemistry**, v. 333, p. 127423, 2020.
- JAMAL, P. et al. Quantification of Total Phenolic compounds in Papaya fruit peel. **Pertanika Journal of Tropical Agricultural Science**, v. 40, n. 1, 2017.
- KANWATE, B. W.; BALLARI, R. V.; KUDRE, T. G. Influence of spray-drying, freeze-drying and vacuum-drying on physicochemical and functional properties of gelatin from *Labeo rohita* swim bladder. **International journal of biological macromolecules**, v. 121, p. 135-141, 2019.

- KAUR, P.; GHOSHAL, G.; JAIN, A. Bio-utilization of fruits and vegetables waste to produce β -carotene in solid-state fermentation: Characterization and antioxidant activity. **Process biochemistry**, v. 76, p. 155-164, 2019.
- KAYACAN, S. et al. Effect of different drying methods on total bioactive compounds, phenolic profile, in vitro bioaccessibility of phenolic and HMF formation of persimmon. **LWT**, v. 118, p. 108830, 2020.
- KELEBEK, H. et al. Comparative evaluation of volatiles, phenolics, sugars, organic acids and antioxidant properties of Sel-42 and *Tainung* papaya varieties. **Food chemistry**, v. 173, p. 912-919, 2015.
- KIPCAK, A. S.; DOYMAZ, İ.; MOROYDOR-DERUN, E. Infrared drying kinetics of blue mussels and physical properties. **Chemical Industry and Chemical Engineering Quarterly**, v. 25, n. 1, p. 1-10, 2019.
- KRISHNAMURTHY, K. et al. Infrared heating in food processing: an overview. **Comprehensive reviews in food science and food safety**, v. 7, n. 1, p. 2-13, 2008.
- LI, L. et al. Effect of ultrasound-assisted osmotic dehydration pretreatment on the drying characteristics and quality properties of Sanhua plum (*Prunus salicina* L.). **LWT**, v. 138, p. 110653, 2021.
- LI, M.; LI, J.; ZHU, C. Effect of ultrasound pretreatment on enzymolysis and physicochemical properties of corn starch. **International journal of biological macromolecules**, v. 111, 848-856, 2018.
- LIMA, L. L. C. et al. Índice de germinação de sementes de duas variedades de mamão (*Carica papaya* L.) em substrato Bioplant®. **Diversitas Journal**, v. 3, n. 1, p. 45-50, 2018.
- LIMA, P. C. C. et al. Aproveitamento agroindustrial de resíduos de mamão 'formosa' minimamente processados. **Revista Agrogeoambiental**, v. 10, n. 3, 2018.
- LIU, Y. et al. Drying characteristics and modeling of vacuum far-infrared radiation drying of *Flos Lonicerae*. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 39, n. 4, p. 338-348, 2015.
- LUCAS, B. F.; ZAMBIAZI, R. C.; COSTA, J. A. V. Biocompounds and physical properties of açai pulp dried by different methods. **LWT**, v. 98, p. 335-340, 2018.
- LORENZI, H.; BACHER, L.; LACERDA, M.; SARTORI, S. **Frutas brasileiras e exóticas cultivadas**. São Paulo: Instituto Plantarum, 640p, 2006.
- MA, Q. et al. Stability of phenolic compounds and drying characteristics of apple peel as affected by three drying treatments. **Food Science and Human Wellness**, v. 10, p. 174-182, 2021.
- MARTIAL-DIDIER, A. K. et al. Phytochemical properties and proximate composition of papaya (*Carica papaya* L. var solo 8) peels. **Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology**, v. 5, n. 6, p. 676-680, 2017.
- MARTINS, D. S.; COSTA, A. F.S. A cultura do mamoeiro: tecnologias de produção. **Vitória: Incaper**, p. 497, 2003.

- MELO, E. A. et al. Capacidade antioxidante de frutas. **Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas**, v. 44, n. 2, p. 193-201, 2008.
- MENG, Q. et al. Effect of drying methods on physico-chemical properties and antioxidant activity of *Dendrobium officinale*. **Journal of Food Measurement and Characterization**, v. 12, n. 1, p. 1-10, 2018.
- MIANO, A. C.; IBARZ, A.; AUGUSTO, P. E. D. Mechanisms for improving mass transfer in food with ultrasound technology: Describing the phenomena in two model cases. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 29, p. 413-419, 2016.
- MIANO, A. C.; IBARZ, A.; AUGUSTO, P. E. D. Ultrasound technology enhances the hydration of corn kernels without affecting their starch properties. **Journal of Food Engineering**, v. 197, p. 34-43, 2017.
- MOTHIBE, K. J. et al. Effects of ultrasound and microwave pretreatments of apple before spouted bed drying on rate of dehydration and physical properties. **Drying Technology**, v. 32, n. 15, p. 1848-1856, 2014.
- NOSHAD, M.; GHASEMI, P. Influence of freezing pretreatments on kinetics of convective air-drying and quality of grapes. **Food Bioscience**, v. 38, p. 100763, 2020.
- NOWACKA, M. et al. Effect of ultrasound treatment on the water state in kiwifruit during osmotic dehydration. **Food Chemistry**, v. 144, p. 18-25, 2014.
- NOWACKA, M. et al. Influence of ultrasound-assisted osmotic dehydration on the main quality parameters of kiwifruit. **Innovative food science & emerging technologies**, v. 41, p. 71-78, 2017.
- NUNES, A. D. et al. Armazenamento de mamão formosa revestido à base de fécula de mandioca. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 40, n. 1, p. 254-263, 2017.
- OUAABOU, R. et al. Valorization of solar drying process in the production of dried Moroccan sweet cherries. **Solar Energy**, v. 172, p. 158-164, 2018.
- PACHECO-ANGULO, H.; HERMAN-LARA, E.; GARCÍA-ALVARADO, M. A.; RUIZ-LÓPEZ, I. I. Mass transfer modeling in osmotic dehydration: Equilibrium characteristics and process dynamics under variable solution concentration and convective boundary. **Food and Bioproducts Processing**, v.97, p.88-99, 2016.
- PANDEY, S. et al. Anti-inflammatory and immunomodulatory properties of *Carica papaya*. **Journal of immunotoxicology**, v. 13, n. 4, p. 590-602, 2016.
- QUINTAL, S. S. R. et al. Divergência genética entre acessos de mamoeiro por meio de variáveis morfoagronômicas. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 33, n. 1, p. 131-142, 2012.
- RAHMANI, A. H.; ALDEBASI, Y. H. Potential role of *Carica papaya* and their active constituents in the prevention and treatment of diseases. **Int J Pharm Pharm Sci**, v. 8, n. 1, p. 11-5, 2016.
- RAMOS-PARRA, P. A. et al. High hydrostatic pressure treatments trigger de novo carotenoid biosynthesis in papaya fruit (*Carica papaya* cv. Maradol). **Food chemistry**, v. 277, p. 362-372, 2019.

- RAMOS-PARRA, P. A. et al. Folate levels and polyglutamylation profiles of papaya (*Carica papaya* cv. Maradol) during fruit development and ripening. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 61, n. 16, p. 3949-3956, 2013.
- REIS, R. C. et al. Stability and sensory quality of dried papaya. **Food and Nutrition Sciences**, v. 9, n. 05, p. 489, 2018.
- REIS, R. C. et al. Aceitação sensorial e estabilidade do mamão desidratado enriquecido com frutooligossacarídeo. **Embrapa Mandioca e Fruticultura-Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento (INFOTECA-E)**, 2018.
- REN, F. et al. Impact of ultrasound and blanching on functional properties of hot-air dried and freeze dried onions. **LWT**, v. 87, p. 102-111, 2018.
- RIVERA-PASTRANA, D. M.; YAHIA, E. M.; GONZÁLEZ-AGUILAR, G. A. Phenolic and carotenoid profiles of papaya fruit (*Carica papaya* L.) and their contents under low temperature storage. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 90, n. 14, p. 2358-2365, 2010.
- RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. A guide to carotenoid analysis in foods. ILSI Press: SCOTT, J., REBEILLE, F., FLETCHER, J. Folic acid and folates – the feasibility for nutritional enhancement in plant foods. **Journal of Science of Food and Agriculture**, v. 6, p.56-67, 1999.
- ROJAS, M. L.; AUGUSTO, P. E. D. Ethanol pre-treatment improves vegetable drying and rehydration: Kinetics, mechanisms and impact on viscoelastic properties. **Journal of food engineering**, v. 233, p. 17-27, 2018.
- ROJAS, M. L.; AUGUSTO, P. E. D.; CÁRCEL, J. A. Ethanol pre-treatment to ultrasound-assisted convective drying of apple. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, p. 102328, 2020.
- SADEGHI, E.; MOVAGHARNEJAD, K.; HAGHIGHI ASL, A. Mathematical modeling of infrared radiation thin-layer drying of pumpkin samples under natural and forced convection. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 43, n. 12, p. e14229, 2019.
- SAMOTICHA, J.; WOJDYŁO, A.; LECH, K. The influence of different the drying methods on chemical composition and antioxidant activity in chokeberries. **LWT-Food Science and Technology**, v. 66, p. 484-489, 2016.
- SANTANA, L. R. R. et al. Genótipos melhorados de mamão (*Carica papaya* L.): avaliação sensorial e físico-química dos frutos. **Food Science and Technology**, v. 24, n. 2, p. 217-222, 2004.
- SANTANA, L. F. et al. Nutraceutical potential of *Carica papaya* in metabolic syndrome. **Nutrients**, v. 11, n. 7, p. 1608, 2019.
- SANTOS, G. M. G. C. et al. Barreiras percebidas para o consumo de frutas e de verduras ou legumes em adultos brasileiros. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 24, p. 2461-2470, 2019.
- SANTOS, K. C. et al. Enhancing carrot convective drying by combining ethanol and ultrasound as pre-treatments: Effect on product structure, quality, energy

consumption, drying and rehydration kinetics. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 70, p. 105304, 2020.

SERRANO, L. A. L.; CATTANEO, L. F. O cultivo do mamoeiro no Brasil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 32, n. 3, p. 0-0, 2010.

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**, v. 92, p. 548-555, 2018.

SILVA, G. G.; DINIZ, R. G.; SILVA, M. E. Avaliação química do mamão papaia (*Carica papaya* L.) em diferentes estádios de maturação. **Revista Capixaba de Ciência e Tecnologia**, v. 3, p. 1-7, 2007.

SILVA, O. F.; SOARES, A. G. **Recomendações para prevenção de perdas pós-colheita do mamão**. Rio de Janeiro: Embrapa Agroindústria de Alimentos, 2001.

SIMIRGIOTIS, M. J.; CALIGARI, P. D. S.; SCHMEDA-HIRSCHMANN, G. Identification of phenolic compounds from the fruits of the mountain papaya *Vasconcellea pubescens* A. D. C. grown in Chile by liquid chromatography–UV detection–mass spectrometry. **Food Chemistry**, v. 115, n. 2, p. 775-784, 2009.

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

SLAVIN, J. L.; LLOYD, B. Health benefits of fruits and vegetables. **Advances in nutrition**, v. 3, n. 4, p. 506-516, 2012.

SMITH, A. Uma investigação sobre a natureza e a causa da riqueza das nações. Londres. 1776.

SOONG, Y.; BARLOW, P. J. Antioxidant activity and phenolic content of selected fruit seeds. **Food chemistry**, v. 88, n. 3, p. 411-417, 2004.

SPÍNOLA, V.; PINTO, J.; CASTILHO, P. C. Identification and quantification of phenolic compounds of selected fruits from Madeira Island by HPLC-DAD–ESI-MSn and screening for their antioxidant activity. **Food Chemistry**, v. 173, p. 14-30, 2015.

SRINIVAS, M. S.; CHAMPAWAT, P. S.; JAIN, S. K. Evaluation of quality attributes of papaya dried by infrared drying. **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**, v. 7, n. 3, p. 2072-2075, 2018.

TABELA BRASILEIRA DE COMPOSIÇÃO DE ALIMENTOS (TBCA). Universidade de São Paulo (USP). **Food Research Center (FoRC)**. Versão 7.1. São Paulo, 2020. Acessado em 29 de julho de 2020.

TARONE, A. G. et al. 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.

TEIXEIRA, G. H. A. et al. Processamento mínimo de mamão 'Formosa'. **Food Science and Technology**, v. 21, n. 1, p. 47-50, 2001.

URIBE, E. et al. Extraction techniques for bioactive compounds and antioxidant capacity determination of chilean papaya (*Vasconcellea pubescens*) Fruit. **Journal of Chemistry**, v. 2015, 2015.

VEGA-GÁLVEZ, A. et al. Chemical and bioactive characterization of papaya (*Vasconcellea pubescens*) under different drying technologies: evaluation of antioxidant and antidiabetic potential. **Journal of Food Measurement and Characterization**, v. 13, n. 3, p. 1980-1990, 2019.

VERONESE, N. et al. Dietary fiber and health outcomes: an umbrella review of systematic reviews and meta-analyses. **The American journal of clinical nutrition**, v. 107, n. 3, p. 436-444, 2018.

VILAPLANA, R. et al. Combination of hot water treatment and chitosan coating to control anthracnose in papaya (*Carica papaya* L.) during the postharvest period. **Crop Protection**, v. 128, p. 105007, 2020.

WANG, J. et al. 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.

WANG, J. 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.; VANGA, S. K.; RAGHAVAN, V. High-intensity ultrasound processing of kiwifruit juice: Effects on the ascorbic acid, total phenolics, flavonoids and antioxidant capacity. **LWT**, v. 107, p. 299-307, 2019.

WANG, Q. et al. Quality evaluation and drying kinetics of shitake mushrooms dried by hot air, infrared and intermittent microwave–assisted drying methods. **LWT**, v. 107, p. 236-242, 2019.

WANG, X. et al. Effect of vacuum and ethanol pretreatment on infrared-hot air drying of scallion (*Allium fistulosum*). **Food chemistry**, v. 295, p. 432-440, 2019.

WU, X.; ZHANG, M.; LI, Z. Influence of infrared drying on the drying kinetics, bioactive compounds and flavor of *Cordyceps militaris*. **LWT**, v. 111, p. 790-798, 2019.

YAO, L.; FAN, L.; DUAN, Z. Effect of different pretreatments followed by hot-air and far-infrared drying on the bioactive compounds, physicochemical property and microstructure of mango slices. **Food chemistry**, v. 305, p. 125477, 2020.

ZERPA-CATANHO, D. et al. Transcription analysis of softening-related genes during postharvest of papaya fruit (*Carica papaya* L. 'Pococi' hybrid). **Postharvest Biol. Technol.** 125, 42–51.

ZHOU, L. et al. Drying of garlic slices (*Allium sativum* L.) and its effect on thiosulfonates, total phenolic compounds and antioxidant activity during infrared drying. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 41, n. 1, p. e12734, 2017.