



EDVALDO VIEIRA DA SILVA JÚNIOR

SECAGEM DE MAMÃO ASSISTIDA DE ULTRASSOM E VÁCUO

RECIFE

2018

EDVALDO VIEIRA DA SILVA JÚNIOR

SECAGEM DE MAMÃO ASSISTIDA DE ULTRASSOM E VÁCUO

Projeto de Dissertação apresentado ao Programa de Pós-graduação em Nutrição do Centro de Ciências da Saúde da Universidade Federal de Pernambuco, para obtenção do título de Mestre em Nutrição.

Orientador: Prof^a. Dra^a. Patrícia Moreira Azoubel

RECIFE

2018

S586s Silva Júnior, Edvaldo Vieira da.
 Secagem de mamão assistida de ultrassom e vácuo / Edvaldo Vieira da Silva Júnior. – 2018.
 100 f.: il.; tab.; 30 cm.

 Orientadora: Patrícia Moreira Azoubel.
 Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco, CCS. Programa de Pós-Graduação em Nutrição. Recife, 2016.

 Inclui referências, apêndices e anexos.

 1. Papaia. 2. Desidratação. 3. Tecnologia não convencional. I. Azoubel, Patrícia Moreira (Orientadora). II. Título.

612.3 CDD (23.ed.) UFPE (CCS2018-133)

EDVALDO VIEIRA DA SILVA JÚNIOR

SECAGEM DE MAMÃO ASSISTIDA DE ULTRASSOM E VÁCUO

Dissertação aprovada em: 08 de fevereiro de 2018

Banca examinadora:

Prof^a. Dra^a Neila Mello dos Santos Cortez
Departamento de Engenharia Química/UFPE

Prof^a. Dra^a Jenyffer Medeiros Campos Guerra
Departamento de Engenharia Química/UFPE

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

Recife
2018

A minha avó, Maria Ribeiro, que
mesmo enferma e com algumas
dificuldades, sempre esteve comigo,
dedico-lhe esta conquista.

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus, que pôs em meu caminho boas pessoas, que me encorajaram em meus objetivos.

A meus pais, Elizabete e Edvaldo, por estarem sempre ao meu lado e por sua dedicação para que eu tenha um bom futuro profissional. A meus irmãos Everton e Estella e meus sobrinhos por estarem sempre por perto para qualquer dificuldade. A minha avó pelo companheirismo. E a meu papagaio Téo por estar sempre comigo.

A minha orientadora Patrícia Moreira Azoubel pelo conhecimento compartilhado, a paciência e pelo voto de confiança em me aceitar como orientando.

Ao Laboratório de Engenharia de Alimentos do Departamento de Engenharia Química - CTG/UFPE e ao Laboratório de Experimentação em Análise de Alimentos, por disponibilizar instalações, equipamentos e materiais para realização das análises. E a todos os funcionários pela grande hospitalidade e sugestões nos trabalhos, incluindo os técnicos Ana Maria Ribeiro, Alexandre Ramos, Vivaldo Araújo e Sebastião Camilo, por me auxiliarem nas análises.

Aos companheiros de laboratório e de mestrado Livia Melo, João Henrique, Marina Barros, Zilmar Pimenta, Rafael Medeiros, Eryka Alves, Emanuele Batista, Roberta Mendes e Alberto Costa pelo convívio, motivação e auxílio nas análises.

Ao companheirismo e alegrias proporcionadas por meus grandes amigos das duas graduações: Vitor Lima, Kézia Moura, Edlley Marx, Antonio Campos, Anselmo Jiro, Gabriella Yandra, Fábio Nogueira e todos os outros não menos importantes.

Ao grupo de amigos composto por Rafaella Miranda, Yan Brandão, Alessandra Monteiro, Ueverton Miranda, Gabriel Tavares e Maria Joana pelas alegrias e alívio do estresse por eles proporcionados.

A casa espírita O Redentor e todos os seu membros que me confortaram espiritualmente e me receberam de braços abertos.

Não poderia deixar de agradecer a meus amigos Alan Rodrigues, Moacir Gonçalves, Edilando Tenório e todos os amigos feitos no intercâmbio, pelos conselhos e por me proporcionarem grandes alegrias.

A Universidade Federal de Pernambuco, por me proporcionar formação acadêmica. E a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

Resumo

A secagem é uma operação unitária bastante empregada na conservação de alimentos. Porém, os métodos convencionais de secagem apresentam algumas desvantagens, como oxidação de pigmentos e redução do valor nutritivo. Portanto, um processo de secagem alternativo ao convencional que possa melhorar a qualidade do produto seco é muito importante para a indústria. Emergentes tecnologias têm sido propostas para reduzir as limitações relacionadas à técnica de secagem convencional, e uma em teste é a que utiliza ultrassom juntamente com o vácuo. Deste modo, o objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência de um método de secagem de mamão (*Carica papaya* L.) que utiliza a combinação de ultrassom e vácuo, analisando sua cinética de secagem e suas características físico-químicas, microbiológicas e nutricionais. A secagem do mamão foi realizada na temperatura de 60°C, utilizando quatro técnicas separadamente: secagem assistida por ultrassom e vácuo, secagem a vácuo, secagem com ultrassom e secagem controle. Foi verificado que as amostras submetidas à secagem a vácuo assistida com ultrassom resultaram nos menores tempos de processamento (270 minutos) e maior razão de reidratação. A qualidade microbiológica não foi alterada após a secagem do material. Independente da técnica de secagem utilizada, o teor de ácido ascórbico e carotenoides foram reduzidos. As amostras que apresentaram menores perdas de ácido ascórbico foram as que sofreram secagem com o auxílio do vácuo, de aproximadamente 41,5% de perda. Já as amostras secas com a utilização do ultrassom apresentaram menores porcentagens de perda de carotenoides, de aproximadamente 10% de perda. Os produtos secos diferiram significativamente do produto in natura na análise de cor, tendo uma tendência de incremento do tom vermelho e redução da luminosidade e da cor amarela, independente da técnica de secagem utilizada. As amostras desidratadas apresentaram valores de dureza entre 35 e 42 N, sendo a amostra controle com o valor mais elevado (42 N) e a amostra seca por vácuo assistida com ultrassom com o menor valor (35 N). Os resultados sugerem que o uso combinado de vácuo e ultrassom influencia na aceleração da secagem e reidratação do produto e minimiza as perdas de compostos bioativos e de cor.

Palavras-chave: Papaia. Desidratação. Tecnologia não convencional.

Abstract

Drying is a unitary operation quite employed in food preservation. However, conventional drying methods have some disadvantages, such as pigment oxidation and reduced nutritional value. Therefore, an alternative process to conventional drying that can improve dried product quality is very important for the industry. Emerging technologies have been proposed to reduce the limitations related to the conventional drying technique, and one in test uses ultrasound together with vacuum. Thus, the aim of this study was to evaluate the efficiency of a method for papaya drying (*Carica papaya* L.) using the combination of ultrasound and vacuum, analyzing its drying kinetics and its physico-chemical, microbiological and nutritional characteristics. Papaya drying was performed at 60°C using four techniques separately: drying assisted by ultrasound and vacuum, vacuum drying, drying with ultrasound and control drying. It was verified that the samples submitted to drying assisted by ultrasound and vacuum resulted in the shortest processing times (270 minutes) and higher ratio of rehydration. The microbiological quality was not altered after drying of the material. Regardless of the drying technique used, the content of ascorbic acid and carotenoids was reduced. The samples that presented lower losses of ascorbic acid were those that had been dried with the aid of vacuum, approximately 41.5% of loss. On the other hand, dried samples with ultrasound showed lower percentages of carotenoid loss after drying, approximately 10% of loss. The dried products differed significantly from the fresh product in relation to color analysis. Dried samples by all drying methodologies used had a tendency to increase the red tone and reduce brightness and yellow color. The dehydrated samples had hardness values between 35 and 42 N, with the control sample having the highest value (42 N), and the dried sample assisted by ultrasound and vacuum presenting the lowest value (35 N). The results suggested that the use of the combination of vacuum and ultrasound influences the acceleration of drying and rehydration of the product and minimizes the loss of bioactive compounds and color.

Keywords: Papaya. Dehydration. Unconventional technology.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

	Página
Figura 1 - Fluxograma do processamento do mamão	33
Figura 2 - Mamão in natura cortado nas dimensões de 5,0 x 3,0 x 0,4 cm	34
Figura 3 - Esquema da secagem assistida com ultrassom e vácuo	34
Figura 4 - Adimensional de umidade (ADM) em função do tempo para o processo de secagem do mamão por diferentes técnicas: vácuo = secagem a vácuo; US + vácuo = secagem assistida por ultrassom e vácuo; Controle = secagem controle; US = secagem assistida por ultrassom	39
Figura 5 - Variação da umidade na secagem do mamão por diferentes técnicas: vácuo = secagem a vácuo; US + vácuo = secagem assistida por ultrassom e vácuo; Controle = secagem controle; US = secagem assistida por ultrassom.....	40
Figura 6 - Resultados das medidas de cor obtidas (CIELAB) para o mamão in natura e seco por diferentes métodos: US = secagem assistida por ultrassom; Vácuo = secagem a vácuo; US + Vácuo = secagem assistida por ultrassom e vácuo; Controle = secagem controle.....	50
Figura 7 - Regressão linear entre a variação da cor vermelha (a^*) e a variação dos níveis de carotenoides nas amostras de mamão secos (Ultrassom = secagem assistida por ultrassom; Vácuo = secagem a vácuo; US + Vácuo = secagem assistida por ultrassom e vácuo; Controle = secagem controle).....	52
Figura 8 - Razão de reidratação a 25 °C (a) e a 80 °C (b) dos mamões desidratados por diferentes técnicas de secagem em função do tempo (US = secagem assistida por ultrassom; Vácuo = secagem a vácuo; US + Vácuo = secagem assistida por ultrassom e vácuo; Controle = secagem controle).....	55

LISTA DE TABELAS

Página

Tabela 1 - Composição do mamão por 100 g da parte comestível 15

Tabela 2 - Rendimento dos mamões secos por diferentes métodos: US = secagem assistida por ultrassom; Vácuo = secagem a vácuo; US + Vácuo = secagem assistida por ultrassom e vácuo; Controle = secagem controle 42

Tabela 3 - Parâmetros físico-químicos dos mamões in natura e secos por diferentes métodos: US = secagem assistida por ultrassom; Vácuo = secagem a vácuo; US + Vácuo = secagem assistida por ultrassom e vácuo; Controle = secagem controle 43

Tabela 4 - Conteúdo de ácido ascórbico em base seca e sua porcentagem de perda para o mamão in natura e seco por diferentes métodos: US = secagem assistida por ultrassom; Vácuo = secagem a vácuo; US + Vácuo = secagem assistida por ultrassom e vácuo; Controle = secagem controle 45

Tabela 5 - Conteúdo de carotenoides em base seca e sua porcentagem de perda para o mamão in natura e seco por diferentes métodos: US = secagem assistida por ultrassom; Vácuo = secagem a vácuo; US + Vácuo = secagem assistida por ultrassom e vácuo; Controle = secagem controle 47

Tabela 6 - Dureza das amostras de mamão in natura e secas por diferentes metodologias: US = secagem assistida por ultrassom; Vácuo = secagem a vácuo; US + Vácuo = secagem assistida por ultrassom e vácuo; Controle = secagem controle 53

SUMÁRIO

	Página
1 INTRODUÇÃO	12
2 REVISÃO DA LITERATURA	14
2.1 MAMÃO (<i>Carica papaya</i> L.)	14
2.1.1 Aspectos botânicos	14
2.1.2 Propriedades nutricionais	14
2.1.3 Mercado produtivo	17
2.1.4 Processamento	18
2.2 SECAGEM	19
2.2.1 Aspectos gerais	19
2.2.2 Frutas desidratadas	20
2.2.3 Formas de secagem	23
2.2.4 Aspectos negativos da secagem	24
2.2.5 Secagem com ultrassom	25
2.3.6 Secagem a vácuo	29
2.3.7 Secagem combinada de ultrassom e vácuo	31
3 OBJETIVOS	32
3.1 OBJETIVOS GERAIS	32
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	32
4 MATERIAL E MÉTODOS	33
4.1 MATÉRIA PRIMA	33
4.2 SECAGEM	34
4.3 AVALIAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA	35
4.4 ANÁLISE MICROBIOLÓGICA	38
4.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA	38
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
5.1 SECAGEM	38
5.2 RENDIMENTO	41
5.3 AVALIAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA	42
5.4 TEOR DE ÁCIDO ASCÓRBICO	45
5.5 TEOR DE CAROTENOIDES TOTAIS	47
5.6 COR	49
5.7 TEXTURA	53

5.8 RAZÃO DE REIDRATAÇÃO	55
5.9 AVALIAÇÃO MICROBIOLÓGICA	58
6 CONCLUSÃO	59
REFERÊNCIAS.....	60
APÊNDICE - Artigo original enviado ao periódico Food Chemistry	77

1 INTRODUÇÃO

O Brasil produz cerca de 43 milhões de toneladas de frutas tropicais durante o ano, o que mostra seu destaque internacional no suprimento de frutas frescas e processadas (FACHINELLO et al., 2011). Um conhecido exemplo de fruta tropical é o mamão, o qual é comercializado internacionalmente, sendo o Brasil o segundo principal produtor mundial, ficando atrás apenas da Índia. O mamão é uma fruta popular entre as pessoas devido ao seu sabor, sua cor e ao seu alto valor nutritivo (DURIGAN; DURIGAN, 2014). Além de ser popular seu consumo in natura, ele também está sendo amplamente utilizado como uma matéria-prima na indústria de processamento em formulações de outros produtos alimentares (SARAN; SOLANKI; CHOUDHARY, 2016).

Porém, apesar de sua alta demanda no mercado, o mamão é um fruto que possui um ciclo de amadurecimento muito rápido e alta perecibilidade, o que dificulta sua conservação e comercialização. Deste modo, é interessante o desenvolvimento de novas tecnologias de processamento deste fruto (DURIGAN; DURIGAN, 2014). Uma tecnologia antiga, menos onerosa e muito utilizada pela indústria alimentícia é a desidratação de frutos. Ela aumenta a durabilidade do material, garante sua oferta no mercado nacional e internacional durante seu período de safra e entressafra e agrega valor ao produto (MACHADO; SOUZA; NOVAES, 2015).

São muitos os métodos atuais de secagem de alimentos, mas a secagem utilizando secador convectivo ainda é a mais utilizada (CORNEJO; NOGUEIRA; WILBERG, 2003). Apesar de ser barata e ter fácil aplicação, a secagem convectiva pode apresentar algumas desvantagens, como encolhimento e deformações no formato da matriz sólida, oxidação de pigmentos, perda de vitaminas e minerais, redução do valor nutritivo e sensorial, baixa capacidade de reidratação do produto final, entre outras (MUJUMDAR, 2015). Dessa forma, um processo de secagem alternativo ao convencional que possa reduzir custos e melhorar a qualidade do produto seco é muito importante para a indústria alimentícia.

A secagem a vácuo é um método alternativo de desidratação especialmente adequado para produtos que são propensos a danos causados pelo calor, como frutas e legumes (JAYA; DAS, 2003). Ela tem a vantagem de obter menor tempo de secagem,

utilizar baixa temperatura, gastar menos energia, e diminuir a oxidação dos compostos do alimento pela remoção do oxigênio durante a secagem (AGHBASHLO et al., 2013), portanto, as qualidades sensoriais e nutritivas dos alimentos podem ser mantidas. Outra tecnologia de secagem é a desidratação assistida por ultrassom. Nesta, são utilizadas ondas ultrassônicas que criam canais microscópicos que podem facilitar a remoção da água. Ainda, o ultrassom produz uma cavidade que pode auxiliar na remoção da água fortemente ligada presente no material (TARLETON, 1992; TARLETON; WAKEMAN, 1998; FUENTE-BLANCO et al., 2006).

A associação entre técnicas de secagem para otimizar o processo de desidratação não é nova, porém não há trabalhos sobre a utilização da secagem assistida por ultrassom e vácuo para frutas. Encontram-se na literatura apenas os estudos de Başlar, Kiliçli e Yalinkiliç (2015) com salmão, Başlar et al. (2014) com carne bovina e de frango, Chen, Guo e Wu (2016) com cenoura e Tekin et al. (2017) com vagens. Esta técnica foi inicialmente reportada por Başlar et al. (2014) para carne bovina e de frango e baseia-se no tratamento ultrassônico assistido ao vácuo para reduzir o tempo de processo. Nesta técnica, a secagem a vácuo cria uma pressão no ambiente menor que a atmosférica e, assim, a água evapora em uma temperatura menor. Ainda, o uso do vácuo também aumenta a taxa de secagem pela aceleração da transferência de água. O tratamento ultrassônico, que é a outra componente da técnica, simultaneamente ajuda na transferência de calor e acelera a transferência de água do interior para a superfície do material usando ondas mecânicas. Dessa forma, essa nova técnica é então composta da secagem a vácuo, que reduz a pressão ambiental e promove maior taxa de secagem, e de um processo ultrassônico, que acelera a transferência de calor e de massa (BAŞLAR; KILIÇLI; YALINKILIÇ, 2015).

Portanto, são necessários estudos para averiguar a eficácia deste novo método de secagem, pela combinação do ultrassom e do vácuo, aplicado a frutas. Além de se verificar se este método pode se sobressair na conservação das qualidades físico-químicas e nutricionais de frutos desidratados em relação aos métodos convencionais de desidratação.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 MAMÃO (*Carica papaya* L.)

2.1.1 Aspectos botânicos

O mamoeiro pertence à família botânica Caricaceae, o qual possui 6 gêneros e 35 espécies. A espécie *Carica papaya* L., a que produz o conhecido mamão, é a espécie mais importante econômica e socialmente (BADILLO, 2000). Ela é caracterizada por possuir alta produtividade, rápido desenvolvimento, tronco oco, contendo grandes folhas na região apical. Quanto à reprodução, *C. papaya* apresenta, basicamente, três tipos de flores: hermafroditas, femininas ou masculinas. As mais cultivadas e mais desejáveis comercialmente são as plantas hermafroditas, as quais são capazes de se autofecundar, não carecendo de pólen de outras flores ou plantas para produzir seus frutos e sementes (MARTINS; COSTA, 2003).

Seu fruto, o mamão, é uma baga ovóide, piriforme, de tamanho comum entre 2 e 30 cm de comprimento e de 1 a 6 cm de largura, com casca fina de coloração do amarelo ao laranja. A cor da polpa comumente é amarela, alaranjada ou avermelhada, geralmente oca ou preenchida por sementes pequenas, esféricas, negras, contendo um sarcotesta mucilaginoso (BADILLO, 2000). Seu rendimento é alto em relação a outros frutos, pois pode atingir até 50 cm de comprimento e pesar até 10 kg (RUGGIERO; MARIN; DURIGAN, 2011).

O mamoeiro é caracterizado por ser uma planta tipicamente tropical. Entretanto, sua origem ainda é discutida. É provável que seja do noroeste da América do Sul, já que foi de lá que se originaram as outras espécies da mesma família, principalmente na ala oriental dos Andes, com diversidade genética máxima na Bacia Amazônica Superior (MARTINS; COSTA, 2003; LORENZI et al., 2006).

2.1.2 Propriedades nutricionais

A polpa do mamão, além de apresentar aceitáveis características sensoriais (textura, cor e aroma), apresenta também um excelente equilíbrio entre açúcares e

ácidos orgânicos e boas propriedades digestivas. Seu valor nutricional está relacionado basicamente ao seu teor de açúcares, ácidos, carotenóides e vitamina C (Tabela 1).

Tabela 1: Composição do mamão por 100 g da parte comestível.

Características	Quantidade
Energia (kcal)	47,0
Umidade (%)	87,0
Proteína (g)	0,8
Lipídeos (g)	0,1
Carboidrato (g)	11,6
Fibra alimentar (g)	1,8
Cinzas (g)	0,6
Cálcio (mg)	24,9
Ferro (mg)	0,2
Fósforo (mg)	10,9
Vitamina A (RE)	86,0
Ácido ascórbico (mg)	78,6

Fonte: Tabela Brasileira de Composição de Alimentos - TBCA (2017)

Quanto a sua composição nutricional, sua polpa possui alto grau de umidade (83 a 92%), o que acarreta em uma alta perecibilidade; aproximadamente 11,6 g de carboidratos gerais em 100 g de fruto; e baixos níveis de proteínas (0,82 g em 100 g de fruto) e lipídeos (0,12 g em 100 g de fruto). Dos minerais, possui quantias consideráveis de sódio, potássio, cálcio, magnésio, fósforo, ferro, cobre, zinco e magnésio (SARAN; SOLANKI; CHOUDHARY, 2016; TBCA, 2017). Contudo, esta composição pode variar em função de vários fatores pré-colheita, como a época da colheita, a fertilidade do solo, a presença de injúrias bióticas e abióticas, a variedade e o estágio de maturação do fruto, entre outros fatores (MARTINS; COSTA, 2003).

Em relação ao seu conteúdo de açúcares, o mamão possui de 7,0 a 13,5% de sólidos solúveis totais. Quando maduro, a sacarose pode ser responsável por até 80% dos açúcares solúveis do fruto. Entretanto, comumente sua composição de açúcares é de 48,3% de sacarose, 29,8% de glicose e 21,9% de frutose. No 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).

Seu conteúdo de fibras totais é de 0,5 a 1,8 g/100g, formado principalmente por celulose e pectina. Esta baixa taxa de fibras é decorrente da degradação das paredes celulares pela enzima glicosidase enquanto o fruto amadurece, o que contribui para sua desejável maciez. Porém, isto também contribui para problemas pós-colheita e perdas durante seu armazenamento e comercialização (SARAN; SOLANKI; CHOUDHARY, 2016). Esta textura suave da polpa do mamão também é causada pela ação do etileno (FABI et al., 2009) e devido ao amolecimento causado pela progressiva transformação das protopectinas (formas menos solúveis) em pectinas ou ácido péctico (formas mais solúveis) (PROCTOR; CAYGILL, 1985).

O mamão é uma das frutas tropicais com o maior pH (em média de 5,5 - 5,9), com teor de acidez entre 0,05 a 0,18% (expresso em ácido cítrico). Seus principais ácidos orgânicos são, em ordem: ácido cítrico, ácido málico, ácido ascórbico e ácido acetoglutárico. Apesar da baixa acidez interferir negativamente no seu processamento (necessita a adição de acidulantes) e na sua conservação (mais propenso ao ataque microbiano), contribuiu positivamente na aceitabilidade por criança, idosos e pessoas com problemas gástricos (MARTINS; COSTA, 2003).

A coloração da polpa do mamão define o quanto ele terá de substâncias pró-vitamina A. Os mamões de coloração amarelada apresentam maiores teores de criptoxantina, que é o carotenóide que apresenta atividade de pró-vitamina A. Já os mamões vermelhos são mais ricos em licopeno, o que lhes confere esta coloração. Porém, no contexto geral, ambos possuem altos níveis de carotenóides totais: mamão amarelo com 3,7 mg/100 g e mamão vermelho com 4,2 mg/100 g. E este teor de carotenóides totais aumenta à medida que o fruto amadurece, o que demonstra uma melhoria do teor nutricional do fruto mais maduro (MARTINS; COSTA, 2003; SARAN; SOLANKI; CHOUDHARY, 2016). Com alto teor de carotenóides, o mamão pode ser considerado um alimento com efeitos benéficos à saúde humana, pois, além de possuírem atividade pró-vitáminica A, estes compostos tem capacidade de aumentar a resposta imunológica, capacidade antioxidante e pode reduzir o risco de doenças degenerativas como câncer, degeneração macular, catarata e doenças cardiovasculares (BOWEN; STACEWICZ-SAPUNTZAKIS; DIWADKAR-NAVSARIWALA, 2015; SARAN; SOLANKI; CHOUDHARY, 2016).

O mamão também é uma boa fonte de vitamina C, e, diferente dos carotenoides, não há mudanças em seu teor durante o amadurecimento dos frutos (SOUZA et al., 2008). O fruto possui de 35,5 a 71,3 mg de ácido ascórbico/100 g, ou seja, uma fatia pequena de mamão já cobriria toda a recomendação diária de vitamina C (SARAN; SOLANKI; CHOUDHARY, 2016).

Além do aspecto nutricional, o mamão tem implicações importantes para a saúde. É descrito como um potente antioxidante, graças a seu grande conteúdo de carotenóides, vitamina C (SARAN; SOLANKI; CHOUDHARY, 2016), e ácidos fenólicos, contendo consideráveis quantias de ácido caféico, ferúlico e p-cumárico (LÓPEZ-MARTÍNEZ et al., 2015). Comprovado possuir fitoquímicos com propriedades anti-inflamatórias e imunomoduladoras e que, por isto, possa prevenir o reumatismo, a acidez urinária e o desenvolvimento de câncer (ASGHAR et al., 2016; PANDEY et al., 2016; NGUYEN et al., 2013). No Paquistão, por exemplo, os médicos receitam aos pacientes com o vírus da dengue para comerem o mamão devido ao seu reforço imunológico, antiviral e propriedades antioxidantes (ASGHAR et al., 2016).

2.1.3 Mercado produtivo

A cultura do mamão se disseminou para várias regiões do mundo, sendo cultivado em mais de 40 países. Os maiores produtores, considerando a área de plantio, são: Nigéria, Índia, Brasil, Indonésia, México, Peru, República Democrática do Congo e Tailândia. O Brasil é o segundo principal produtor mundial, com produção de 1.463.770 de toneladas, perdendo apenas para a Índia. A maior parte desta produção (98,7%) é destinada ao mercado interno, entretanto o Brasil exporta a fruta para os Estados Unidos, Hong Kong, Japão e Alemanha (MARTINS; COSTA, 2003; FAO, 2016).

Assim, o mamoeiro brasileiro é cultivado tanto para abastecer os mercados nacionais como os mercados internacionais. Segundo a FAO (2016), a exportação mundial de mamão *Papaya in natura* teve início em 1965, com crescimento expressivo e contínuo nas décadas seguintes. Com demanda de aproximadamente 154.000 toneladas ao ano, o mercado internacional de mamão cresce em uma taxa média de

5,3% ao ano. O Brasil ainda não é um grande exportador, exportando apenas cerca de 1,90% da produção total. A causa disto é por este comércio internacional esbarrar em várias dificuldades, como grande sensibilidade do mamão ao frio de armazenamento (suportando apenas até 12,5°C) e as restrições quarentenárias impostas por alguns países (AGRIANUAL, 2016).

No Brasil, o cultivo do mamoeiro é efetuado em todos os estados, tendo a região nordeste a maior área de plantio, com cerca de 30 mil ha (MARTINS; COSTA, 2003). Os Estados da Bahia, Espírito Santo e Ceará são os responsáveis por cerca de 90% da produção nacional de mamão (RUGGIERO; MARIN; DURIGAN, 2011). Esta produção nacional é baseada no cultivo das variedades Formosa e Solo (ou mais comumente chamado de Havaí ou Papaya), sendo o Formosa mais destinado ao mercado interno e o Solo tanto ao mercado interno quanto ao externo. Este comércio para o mercado externo do mamão Solo é devido a suas características que se adaptam melhor as exigências do mercado internacional e ao transporte internacional, porém o mamão Formosa vem apresentando tendência crescente para a exportação (REIS et al., 2015).

Este comércio é de grande importância para a economia nacional. No ano de 2016, o Brasil lucrou US\$ 43.088.633 com as exportações da fruta (AGRIANUAL, 2016). Este cultivo do mamoeiro apresenta também uma grande importância social, tendo em vista que gera empregos diretos e indiretos. Por possuir produtividade durante o ano todo, o mamoeiro gera uma renda segura aos seus produtores, garantindo a permanência do homem do campo na zona rural, evitando assim o aumento do êxodo rural (DANTAS; LUCENA; VILAS BOAS, 2015).

2.1.4 Processamento

Para conservar a qualidade dos frutos e evitar perdas pós-colheita, o mamão pode ser processado em uma extensa gama de produtos e subprodutos, que podem ser utilizados na indústria de alimentos, farmacêutica e de ração (RUGGIERO; MARIN; DURIGAN, 2011). São já conhecidos no mercado os derivados do mamão formando polpa, néctares, mamão em calda, mamão desidratado, doce em massa, geleia, doces cristalizadas, entre outros (MARTINS; COSTA, 2003).

A tendência para esse mercado de produtos derivados do mamão é crescente, isto porque os consumidores buscam cada vez mais comodidade e conveniência em sua alimentação. Além desta vantagem, os mamões industrializados podem apresentar uma maior taxa de fibras, concentrar nutrientes, apresentar maior prazo de validade e maior valor agregado (DURIGAN; DURIGAN, 2014).

O mamão é um fruto de sabor suave, agradável e de baixa acidez, características estas raras para frutos tropicais (RUGGIERO; MARIN; DURIGAN, 2011). Porém, esta baixa acidez aliada ao seu rápido amadurecimento e a baixa resistência mecânica exigem várias práticas e cuidados para seu manuseio e sua comercialização in natura que, por vezes, não são executados, contribuindo para as perdas pós colheita. Além disto, são muitos os critérios mínimos estabelecidos pelo Padrão Codex para a comercialização in natura do mamão, por exemplo: apresentar aparência fresca, firme e sadia; serem extremamente limpos; inteiros; livres de doenças de colheita e pós colheita; sem danos causados por baixas ou altas temperaturas; livres de umidade externa; e possuir pedúnculo que não exceda o comprimento de 1 cm (FAO/OMS, 2000). Desta forma, se fazem necessárias alternativas de processamento desta fruta, que aumente sua estabilidade e sua disponibilidade. Um destes métodos já bem estabelecido para mamão é sua desidratação (SARAN; SOLANKI; CHOUDHARY, 2016).

2.2 SECAGEM

2.2.1 Aspectos Gerais

A desidratação é um dos mais antigos meios de conservar os alimentos (GAVA, 1984), e ainda é a forma mais comum de remover água dos alimentos (WOJDYLO et al., 2016). Ela consiste na remoção de um fluido do alimento, basicamente água, na forma de vapor para o ar não saturado (FELLOWS, 2009). Esta vaporização ocorre pela diferença de temperatura entre o ar quente e o alimento, no caso da secagem por ar quente, determinando uma diferença de pressão de vapor entre o ar e a superfície do alimento, o que ocasiona uma transferência de massa de água, na forma de vapor, para

o ar. Ademais, durante a secagem, é na superfície do material que ocorre a evaporação da água livre, a qual foi transportada do interior do sólido. Os mecanismos mais importantes desse transporte são: difusão líquida, difusão de vapor e fluxo de líquido e de vapor (PARK; BIN; BROD, 2001; PARK; YADO; BROD, 2001).

Este processo de secagem diminui a atividade de água e teor de umidade do alimento, o que estabiliza o produto e reduz as perdas de qualidade (LAW; CHEN; MUJUMDAR, 2014), pois os microrganismos não podem crescer e se multiplicar na ausência de água, além de muitas enzimas que causam mudanças químicas nos alimentos não poderem exercer atividade enzimática sem a presença da água (ROMERO, 1997). Entre as vantagens de se utilizar esse tipo de tecnologia, se tem o barateamento e a facilidade para se transportar e armazenar estes alimentos secos (TAHERI-GARAVAND; RAFIEE; KEYHANI, 2011), aumento da segurança na estocagem por longos períodos de tempo, mesmo em temperatura ambiente (GARCÍA-ALVARADO; PACHECO-AGUIRRE; RUIZ-LÓPEZ, 2014; ORTIZ-GARCÍA-CARRASCO et al., 2015), minimiza mudanças físicas e químicas de um vegetal fresco (MAYOR; SERENO, 2004), estabilidade dos componentes aromáticos à temperatura ambiente por longos períodos de tempo, proteção contra degradação enzimática e oxidativa, a disponibilidade do produto durante qualquer época do ano (PARK; YADO; BROD, 2001), diversifica o produto, dando a ele um valor agregado, reduz os custos de embalagem e diminui seu desperdício (KAMILOGLU et al., 2015).

2.2.2 Frutas desidratadas

As frutas são de grande importância em todo o mundo, no que se refere aos aspectos social, econômico e alimentar. A fruticultura é, hoje, um dos segmentos de maior importância da agricultura nacional, respondendo por mais de 40% da produção agrícola (MACHADO et al., 2014). O Brasil é o terceiro maior produtor mundial de frutas, com uma produção que superou 44 milhões de toneladas em 2014 (MACHADO; SOUZA; NOVAES, 2015), o que representa cerca de 5% da produção mundial. Com esse saldo, o país fica atrás apenas da China e da Índia (SANTANA-NETA et al., 2013).

Todavia, muito dessa produção é perdida por desperdício ou não se destina ao consumo humano, por pouca disponibilidade e baixa qualidade destes ao longo do ano. A maior causa de perdas dos frutos produzidos é a sua alta taxa de deterioração, pois são alimentos com grande quantidade de água livre, portanto altamente perecíveis. Estima-se que cerca de 40% dos frutos produzidos no Brasil são desperdiçados. E este índice pode ser ainda maior no tocante aos frutos tropicais, que apresentam características únicas, como alta sensibilidade ao armazenamento ao frio (MACHADO; SOUZA; NOVAES, 2015).

Desta forma, se faz necessário o uso de tecnologias como uma maneira prática e simples de evitar este desperdício e facilitar a aquisição de frutas, ou derivados destas, por parte dos consumidores, além de aproveitar o excesso de frutas produzidas na safra e tornar a matéria-prima disponível pelo restante do ano (SANTANA-NETA et al., 2013). Uma destas alternativas é a desidratação, que é um método de conservação que impede a deterioração e perdas do valor comercial dos frutos (MUJUMDAR, 2015).

A desidratação de frutos consiste na redução do teor de água para um nível em que a deterioração microbiana e a deterioração por reações químicas e enzimáticas são minimizadas (MUJUMDAR, 2015). Isto porque, apesar da água ser importante nos frutos por conferi-los peso, textura e palatibilidade, sua presença em quantidades expressivas interfere negativamente em sua conservação (CELESTINO, 2010). Assim, aumenta-se o prazo de validade comercial da fruta, além da significativa diminuição de volume, facilitando o armazenamento e o transporte (VEGA-GÁLVEZ et al., 2012). A tecnologia de desidratação também visa reduzir a produção de resíduos por parte da agroindústria, aproveitando aquelas frutas levemente danificadas ou que não atendem as especificações requeridas para o comércio, que exige frutas perfeitas (RIBEIRO; NUNES; NUNES, 2015).

Entende-se por fruta seca ou dessecada o produto obtido pela perda parcial da água da fruta madura, inteira ou em pedaços, por processos tecnológicos (BRASIL, 1977). De tudo que é produzido pela fruticultura no Brasil, apenas 3% é destinado ao mercado de frutas processadas (SANTANA-NETA et al., 2013), o que é incoerente, já que a aplicação da desidratação nas frutas proporciona um amplo espectro de sabores atrativos, agrega valor ao produto, confere estabilidade e favorece a distribuição

(EBRAHIMI et al., 2012). Esta tecnologia também promove mudanças no fruto, mudanças essas químicas (o que conseqüentemente modifica o sabor, cor e odor) e físicas (afetando a textura e o tamanho) (CELESTINO, 2010).

As frutas desidratadas apresentam vantagens nutricionais em comparação com as frutas frescas em termos de energia total, densidade de nutrientes, teor de carotenóides, teor em fibra, atividade antioxidante e concentração de outros nutrientes (BENNETT et al., 2011). Além de aumentar a concentração de nutrientes em virtude da perda de umidade, a desidratação provoca algumas alterações visuais, como a redução do volume do fruto e em sua tonalidade (ZOTARELLI; PORCIUNCULA; LAURINDO, 2012).

Nos últimos anos, a presença de frutas desidratadas no mercado tem aumentado consideravelmente (VEGA-GÁLVEZ et al., 2012). Isto tem ocorrido devido à demanda por produtos de conveniência, prontos para consumir, de considerável valor nutricional e que contenham compostos com efeitos benéficos para o bem-estar e saúde (COREY et al., 2011). Desta forma, a fruta desidratada tem sido alvo de elevado interesse e aceitação por parte do consumidor (MÉGIAS-PÉREZ et al., 2014).

Na indústria alimentar, a técnica de desidratação vem recebendo bastante destaque (MÉGIAS-PÉREZ et al., 2014). Este crescimento se deve não apenas para suprir a demanda de consumidores diretos (com maçã, banana, abacaxi, mamão e manga desidratados), mas também para responder às necessidades da indústria de processamento alimentar para a formulação de novos produtos alimentares como sorvetes, laticínios com adição de frutas processadas, doces, cereais, *snacks*, entre outros que incluem a fruta desidratada como ingrediente (FIOREZE, 2004; VEGA-GÁLVEZ et al., 2012). Em termos econômicos, seu consumo foi avaliado em 2.300 milhões Euros e 871 mil toneladas em 2006, sendo a União Europeia responsável por quase metade deste consumo, em torno de 428 mil toneladas de frutas desidratadas (MÉGIAS-PÉREZ et al., 2014).

Para Zhang et al. (2015), a qualidade de um produto alimentar desidratado é determinada principalmente pelos seis parâmetros seguintes: retenção de substâncias aromatizantes que influenciam a qualidade sensorial dos produtos secos; conservação de nutrientes, principalmente as substâncias sensíveis ao oxigênio e ao calor, como as

vitaminas A, C e tiamina; inibição do escurecimento para manter a cor desejável; reidratação, que representa a capacidade de restabelecer as propriedades do produto fresco quando o material seco é reidratado; uniformidade, que pode ser medida com base na temperatura, teor de umidade, diferença de cor, encolhimento, entre outros parâmetros de qualidade; e aparência e textura, que são resultados de complexas interações entre componentes alimentares em níveis macro-estruturais e micro-estruturais. Desta forma, o estudo das tecnologias de secagem é essencial para manter esses atributos de qualidade dos alimentos.

2.2.3 Formas de secagem

Dentre os métodos mais usados para a secagem de alimentos, tem-se a desidratação com exposição solar direta (secagem de forma natural) e as desidratações com ar quente, microondas, vácuo e liofilização (secagem de forma artificial) (KAMILOGLU et al., 2015). Na desidratação com exposição solar direta, ocorrem grandes perdas de energia e de produto, especialmente pela deficiência de controle dos parâmetros de secagem e das condições de processamento, o que acarreta em um produto final com grande quantidade de impurezas (EMBRAPA, 2003). Apesar disto, há a grande economia de energia e de gastos com equipamentos e possui a vantagem de produzir menores danos mecânicos e térmicos ao alimento (KAMILOGLU et al., 2015).

Os já mencionados processos de secagem artificial e alguns outros, como secagem com bomba de calor, com infravermelho, com ultrassom, osmótica, ou a combinação destes e outros métodos, são os mais aplicados industrialmente para matérias vegetais (CHUYEN et al., 2016). A escolha entre estes métodos é determinada pela natureza do produto a ser desidratado, pela disponibilidade do secador, pela forma que se deseja dar ao produto processado, pelo fator econômico, pelas condições de operação e pela qualidade desejada ao produto final (SAGAR; SURESH-KUMAR, 2010). Dentre essas, a técnica mais utilizada pelas indústrias para desidratação de alimentos é a secagem convectiva forçada com ar quente (DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2010).

A secagem convectiva é um método convencional que é geralmente utilizado para a desidratação da fruta devido à sua simplicidade e baixo custo. Durante o processo, o material é exposto ao ar quente, e este calor é transferido a partir da superfície para o interior da amostra (MICHALSKA; LYSIAK, 2015). O aumento da temperatura reduz o tempo de secagem, e este tempo é ainda mais reduzido quando a pressão reduz (DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2010). Esta taxa de secagem ainda pode ser influenciada pela temperatura e umidade relativa do ambiente, temperatura e fluxo do ar de secagem, umidade inicial, final e de equilíbrio do produto, bem como a variedade e o manuseio do produto (BROOKER; BAKKER-ARKEMA; HALL, 1992). Os valores usualmente utilizados para essa secagem é entre 40°C e 80°C e a velocidade do ar varia de 0,5 a 5 m/s, o que consequentemente varia o tempo de secagem do material (PARK; BIN; BROD, 2001).

2.2.4 Aspectos negativos da secagem

O meio de secagem utilizando altas temperaturas ainda é o mais utilizado industrialmente devido ao seu baixo custo. Entretanto, a exposição de um alimento, especialmente de origem vegetal, a altas temperaturas, ao oxigênio, e por um longo tempo, pode provocar alterações físicas e químicas, especialmente através da oxidação e pirólise (NUNES et al., 2016). Ou seja, este método tem as desvantagens de consumir um longo período de tempo na secagem e provocar mudanças, tais como oxidação, escurecimento, gelatinização do amido, perda da capacidade de reidratação, encolhimento, diminuição da capacidade de retenção de água, perda por evaporação de substâncias aromáticas voláteis e perda de propriedades nutricionais (ORDONEZ, 2005; VEGA-GÁLVEZ et al., 2009; BECK et al., 2014). A microestrutura do alimento também é modificada, o que pode reduzir sua maciez e sua capacidade de reidratação (RODRÍGUEZ et al., 2014).

Em relação às perdas nutricionais, a secagem convectiva com altas temperaturas pode danificar uma gama de substâncias. O calor empregado degrada significativamente os conteúdos de polifenóis, taninos e ácidos orgânicos (SENICA et al., 2015). As antocianinas também são facilmente degradadas e oxidadas (SI et al.,

2015). A degradação dos carotenóides durante a secagem tem sido atribuída a sua elevada sensibilidade à oxidação (KAMILOGLU et al., 2015). No estudo de UdomkUNET al. (2015), por exemplo, foi verificado que a secagem com ar aquecido reduzia drasticamente os valores de β -caroteno, β -criptoxantina e licopeno dos mamões secos. Há ainda uma grande perda de vitamina C devido à oxidação do ácido ascórbico sob condições de secagem a alta temperatura, bem como a depleção deste composto, devido a sua utilização para a proteção da oxidação dos polifenóis durante a secagem (TOOR; SAVAGE, 2006; JOSHI; RUPASINGHE; KHANIZADEH, 2011). Como consequência destas perdas, a capacidade antioxidante é drasticamente reduzida.

Tendo em vista o acima relatado, é evidente que a aplicação do mais utilizado meio de desidratação de frutos, a secagem convectiva, ocasiona alterações nas propriedades dos frutos, o que influencia a qualidade dos produtos finais. Logo, a otimização de secagem é especialmente importante para os gêneros alimentícios sensíveis ao calor, como as frutas, pois a crescente demanda por produtos secos de alta qualidade e vida de prateleira longa requer uma maior eficiência das condições do processo (BANGA et al., 2003). Assim, para desempenhar com eficiência a secagem, encurtar tempos de operação e melhorar a qualidade dos produtos finais, cada vez mais estudam-se novos métodos de secagem e a combinação destes (ZHANG; JIANG; LIM, 2010; JANGAM, 2011).

2.2.5 Secagem com ultrassom

- Aspectos Gerais

Novas tecnologias de processamento não térmico têm ganhado atenção para seu uso em escala industrial, dentre elas o processamento ultrassônico tem se destacado. O desenvolvimento de modernos e eficientes geradores de ultrassons resultou em um grande interesse na secagem ultrassônica (CÁRCEL et al., 2014). Além disto, foi provado que o ultrassom pode funcionar com eficácia sinergicamente com outras técnicas de secagem para acelerar esta operação, o que impulsionou mais estudos sobre esta tecnologia (MUSIELAK; MIERZWA; KROEHNKE, 2016).

O ultrassom é definido como uma forma de energia gerada por ondas de frequências de som de 20 kHz ou mais em alta intensidade (potência entre 10-1000 W/cm²) (KWIATKOWSKA et al., 2011). É uma ciência emergente, que tem por objetivo otimizar processos, aumentar a qualidade e garantir a segurança de produtos alimentícios. Podem causar alterações no material em que se aplica, através de efeitos físicos, químicos e mecânicos (TORLEY; BHANDARI, 2004).

- Mecanismo de Ação

Na secagem de alimentos, a umidade é transportada do interior do material para a sua superfície e depois há o fluxo de umidade externa, onde esta é descarregada para o meio ambiente. E, em ambos os fluxos, a técnica do ultrassom pode exercer alguma função, aumentando a eficiência destes. O que promove a transferência de umidade do interior para a superfície da amostra é o chamado "efeito de esponja" que as ondas ultrassônicas produzem no alimento. Este fenômeno é causado devido à compressão e expansão sucessiva, similar a uma esponja quando espremida e liberada rapidamente (MUSIELAK; MIERZWA; KROEHNKE, 2016).

Também similar às esponjas com seus poros, são criados microcanais no material submetido a esta tecnologia devido à desordem que o ultrassom provoca em suas células, que aumenta a transferência convectiva de massa no alimento (FUENTE-BLANCO et al., 2006). Então, as forças envolvidas neste mecanismo podem ser maior do que a tensão superficial que mantém as moléculas de água no interior dos capilares criados, o que promove a transferência de umidade (CORRÊA et al., 2016; MUSIELAK; MIERZWA; KROEHNKE, 2016). Dessa forma, observa-se aumento da difusividade efetiva da água e, conseqüentemente, redução o tempo de secagem (FERNANDES; LINHARES; RODRIGUES, 2008).

Outro mecanismo que se destaca no uso do ultrassom é a cavitação acústica. Este fenômeno ocorre em líquidos e é definido como um ciclo de formação, crescimento e colapso de bolhas micrométricas durante a sonificação. Uma gama de fatores interfere na ocorrência e na extensão da cavitação, como: a intensidade e frequência das vibrações, tensão superficial, pressão de vapor, viscosidade do meio, presença de

bolhas de gás, natureza e concentração de gás dissolvido e a pressão e temperatura ambiente (TORLEY; BHANDARI, 2004).

As forças de cisalhamento e as mudanças rápidas de pressão criadas pelas ondas de ultrassom também são eficazes na destruição de células microbianas. Cameron, McMaster e Britz (2008) também atribuem à morte celular à presença de radicais H_2O_2 formados durante a cavitação. A eficácia do ultrassom na inativação de microrganismos é uma função da linhagem microbiana, tempo de exposição/contato, amplitude e potência ultrassônica, volume processado, composição do alimento, assim como da temperatura (PIYASENA; MOHAREB; MCKELLAR, 2003).

É comprovada a eficácia do ultrassom para a inativação de enzimas em sistemas alimentícios, sem que haja perda do sabor ou textura do alimento (JANG; MOON, 2011). E esta taxa de inativação enzimática aumenta proporcionalmente com a potência ultrassônica (ERCAN; SOYSAL, 2011). A intensidade cavitacional tem sido um dos principais mecanismos propostos de inativação enzimática de alimentos submetidos a este tratamento. A formação de bolhas de cavitação resulta em força de atrito que pode desnaturar as proteínas. Mas, as enzimas também podem ser desnaturadas pelos radicais livres formados durante a cavitação (SUSLICK, 1989). Vale ressaltar que a estabilidade das enzimas ao tratamento ultrassônico varia de acordo com o tipo de enzima, das condições de tratamento, da composição do meio, do pH e do tipo de ligação que elas estabelecem com outras moléculas (O'DONNELL et al., 2010).

- Aplicabilidade

Há, atualmente, uma gama de aplicações no processamento de alimentos para o ultrassom, como por exemplo na alteração da viscosidade, na formação de emulsões, na ruptura celular, na polimerização, na desgaseificação de alimentos líquidos, na extração de enzimas e de proteínas, na inativação de microrganismos, no controle de cristalização, na extração de compostos bioativos, em mudanças na textura e viscosidade, no melhoramento do congelamento e descongelamento, na cristalização, na filtração, na pasteurização e esterilização, na desidratação osmótica de frutas, etc. (FERNANDES; LINHARES; RODRIGUES, 2008; MUSIELAK; MIERZWA; KROEHNKE, 2016).

Este método vem sendo empregado para melhorar as condições do processamento de desidratação de muitos produtos, como: secagem convectiva assistida por ultrassom de batatas (KROEHNKE; MUSIELAK; BORATYŃSKA, 2014) e maçãs (KOWALSKI; PAWŁOWSKI, 2015); secagem por convecção-microondas assistida por ultrassom em pimenta (SZADZIŃSKA; LECHTAŃSKA; KOWALSKI, 2015); na otimização da desidratação osmótica de mamão seguido de secagem convectiva (FERNANDES et al., 2006); como pré-tratamentos para a secagem de melão (SILVA et al., 2016); no pré-tratamento da desidratação osmótica de manga (MEDEIROS et al., 2016), no pré-tratamento osmótico de mamão (AZOUBEL et al., 2015), entre outros. Ademais, já há várias revisões comprovando sua eficácia (CÁRCEL et al., 2014; MURALIDHARA et al., 1986; SIUCIŃSKA; KONOPACKA, 2014; WITROWA-RAJCHERT et al., 2014; MUSIELAK; MIERZWA; KROEHNKE, 2016).

Entretanto, vale ressaltar que o processamento ultrassônico, em determinadas situações, também pode acarretar em perdas de constituintes nutricionais e modificações não desejáveis no material final. Por exemplo, pode levar à perda de ácido ascórbico (ADEKUNTE et al., 2010) e de compostos fenólicos em casos específicos (FONTELES et al., 2012). A degradação da vitamina C é resultado de reações sonoquímicas e das condições de temperatura e pressão extremas que ocorrem durante a sonicação. Radicais livres, íons H^+ e peróxido de hidrogênio, que podem ser formados durante a cavitação, também podem afetar a atividade do ácido ascórbico e de compostos fenólicos (WAN et al., 2005). Em relação à cor, Adekunte et al. (2010) reportaram mudanças na cor de suco de tomate após tratamento ultrassônico, com escurecimento deste suco, resultante da degradação de licopeno. Características de textura também podem ser modificadas, pois, após o tratamento, as células podem demonstrar redução da pressão de turgescência, devido à mudança de pressão durante a sonicação (DAY et al., 2012). Shamaei, Emam-Djomeh, Moini (2012) constataram um aumento na maciez de *cranberry* desidratada osmoticamente quando submetida ao pré-tratamento ultrassônico. Este efeito variou de acordo com a frequência ultrassônica utilizada. Em frequências mais baixas (35 kHz) observou-se a formação de canais microscópicos, porém a utilização da frequência de 130 kHz causou danos e rupturas mais intensas ao tecido, levando ao colapso da estrutura celular.

2.2.6 Secagem a vácuo

- Aspectos Gerais

Outro processamento que utiliza baixa temperatura para a desidratação de alimentos é a secagem a vácuo. Este é um método intermediário entre a secagem tradicional e a liofilização, pois permite trabalhar a pressões baixas com temperaturas menores que 100°C (ARÉVALO-PINEDO; MURR, 2005). É considerado o processo mais adequado para desidratar alimentos muito sensíveis ao calor, como frutas, uma vez que altas temperaturas poderiam causar danos às propriedades destes materiais (ZHANG et al., 2003).

- Mecanismo de Ação

A técnica consiste em diminuir a pressão de vapor do líquido para uma pressão menor que a atmosférica. Isto reduz o ponto de ebulição dos líquidos no interior do alimento, sobretudo das frutas (STEMPNIAK, 2002). Então, em uma condição sob vácuo, a evaporação da água ocorre em temperaturas mais brandas (entre 30°C e 60°C) e o líquido contido nos materiais processados é evaporado e é extraído como vapor. Assim, durante a secagem a vácuo, as moléculas de água de alta energia difundem para a superfície e evaporam devido à baixa pressão. O vapor de água se concentra na superfície e a baixa pressão faz com que o ponto de ebulição da água reduza. Estes criam grandes gradientes de pressão de vapor entre o interior de alimentos e superfície, resultando em taxas de secagem significativamente rápidas (CHEN; MUJUMDAR, 2008).

Outro fato que contribui para uma secagem mais eficaz é a expansão do ar e do vapor d'água presentes no alimento que o vácuo causa, dando origem a uma estrutura macia e expandida, o que facilita a liberação dos gases por poros produzidos (SAGAR; SURESH-KUMAR, 2010). Esta estrutura expandida possui uma alta razão área/volume, que resulta em elevadas taxas de secagem e posterior reidratação (JAYA; DAS, 2003).

- Aplicabilidade

São diversas as aplicações do vácuo na indústria de alimentos, como em embalagens (ROBERTSON, 2012), na desidratação osmótica (SILVA et al., 2016), na fortificação por impregnação a vácuo (BETORET et al., 2015) e na secagem propriamente dita (ARÉVALO-PINEDO; MURR, 2005).

Pela ausência de ar, e consequentemente de oxigênio, a metodologia de secagem a vácuo se torna bastante adequada para a desidratação de frutos, proporcionando-lhes maior estabilidade frente a algumas reações de deterioração, como o escurecimento e a oxidação (ZHANG et al., 2015). E por utilizar baixas temperaturas, a secagem a vácuo se torna adequada para produtos que são sensíveis ao calor, como frutas com alto teor de açúcar e certos vegetais de alto valor agregado (ZHANG et al., 2006). Além disto, em comparação com a secagem convencional, a secagem a vácuo também pode resultar em melhor manutenção dos compostos voláteis, o que é extremamente importante para preservar o aroma de produtos secos (SAGAR; SURESH-KUMAR, 2010).

Sahari, Hamidi-Esfehani e Samadlui (2008) verificaram menor consumo de energia e maior viabilidade econômica quando otimizaram a secagem de tâmara a vácuo. Madamba e Liboon (2001) otimizaram a secagem a vácuo de aipo utilizando a metodologia de superfície de resposta e obtiveram melhores resultados para coeficiente de reidratação, densidade e umidade final do produto. Reis, Masson e Waszczynskyj (2006) também obtiveram melhores respostas de reidratação quando fatias de berinjela eram submetidas ao vácuo. Chuyen et al. (2016), estudando quatro métodos de secagem diferentes (convectiva, a vácuo, com bomba de calor e liofilização), obtiveram os melhores resultados de capacidade antioxidante e retenção de licopeno e β -caroteno quando utilizaram o vácuo. Esta retenção de carotenoides também foi encontrada por Yi et al. (2016) quando pré-tratava *chips* de jaca com o vácuo. Além disto, alcançaram menor tempo de secagem e maior retenção de ácido ascórbico e de compostos fenólicos. Similarmente, Michalska e Lysiak (2015) conseguiram reter maior conteúdo de compostos fenólicos, antocianinas e ácido ascórbico quando submetiam os mirtilos a secagem a vácuo.

2.2.7 Secagem combinada de ultrassom e vácuo

Como os processos de secagem individuais têm diferentes impactos sobre os custos de produção e sobre a qualidade do produto obtido, a combinação de alguns deles parece ser mais eficiente energética e economicamente (MICHALSKA e LYSIAK, 2015). Muito já foi estudado na combinação do vácuo com ultrassom ou com outras metodologias de secagem. Entretanto, não há trabalhos sobre a utilização da secagem assistida por ultrassom e vácuo para frutas. Encontram-se na literatura apenas os estudos de Başlar, Kiliçli e Yalinkiliç (2015) com salmão e truta, Başlar et al. (2014) com carne bovina e de frango, Chen, Guo, Wu (2016) com cenoura e Tekin et al. (2017) com vagens.

Başlar et al. (2014) iniciou os estudos de secagem assistida por ultrassom e vácuo na secagem de carne vermelha e de carne de frango, constatando que o uso desta técnica diminuiu o tempo de secagem das carnes e o consumo de energia. Başlar, Kiliçli e Yalinkiliç (2015) também obtiveram os mesmos resultados quando estudaram a cinética de secagem de peixes usando a secagem assistida por ultrassom e vácuo. Chen, Guo, Wu (2016) observaram que cenouras desidratadas com essa metodologia apresentavam melhor textura e maior retenção de β -caroteno, ácido ascórbico e cor, além de maior difusividade efetiva da umidade. Já Tekin et al. (2017) conseguiram aumentar a taxa de secagem, melhorar a eficiência energética e maiores mudanças de cor em vagens desidratadas com esta técnica.

Estes bons resultados obtidos até o momento se deve a harmonização destas duas técnicas, que combina o incremento da taxa de secagem e a ausência de oxigênio da secagem a vácuo com a ampliação da transferência de calor e de água proporcionada pelo ultrassom (BAŞLAR; KILIÇLI; YALINKILIÇ, 2015; TEKIN et al., 2017). Entretanto, é necessário mais pesquisas sobre o efeito da técnica de secagem assistida com ultrassom e vácuo nos parâmetros de qualidade de alimentos, principalmente de frutos, que nunca antes foi estudado.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL:

Avaliar a eficiência de um método de secagem de mamão que utiliza a combinação de ultrassom e vácuo.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Estudar e comparar as cinéticas de secagem do mamão assistida por ultrassom e vácuo, secagem a vácuo, secagem com ultrassom e secagem controle (sem ultrassom e vácuo);
- Verificar a influência do processamento nas características físico-químicas, nutricionais e microbiológicas do mamão.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 MATÉRIA-PRIMA

Foram utilizados mamões maduros da variedade Formosa (*Carica papaya* L.), adquiridos no mercado local (Recife, PE). Para a escolha do estágio de maturação para realização dos experimentos, foram adotados como critérios: firmeza da polpa e coloração da casca, estando esta acima de 75% da superfície amarela, indicando o estágio 5 de maturação (último estágio).

O fluxograma de preparo da matéria-prima encontra-se na Figura 1. A matéria-prima foi previamente selecionada, lavada em água corrente, higienizada com solução de cloro ativo na concentração de 100 ppm por 15 minutos, enxaguada em água corrente e descascada manualmente até a remoção completa das cascas. A polpa foi separada das sementes e cortada em retângulos de (5,0 x 3,0 cm) de 0,4 cm de espessura (Figura 2), e peso aproximado de $4,7 \pm 0,1$ g, utilizando-se facas e cortadores, sanitizados, projetados para este fim, sendo então submetidas ao processamento.

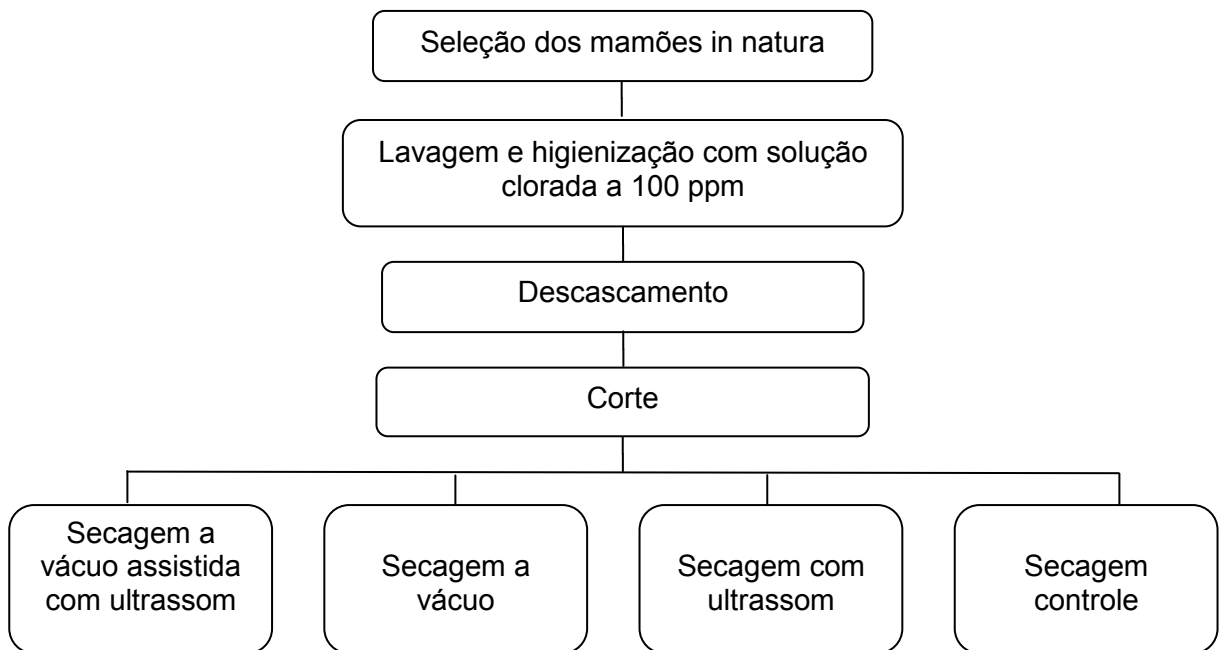


Figura 1: Fluxograma do processamento do mamão.



Figura 2: Mamão in natura cortado nas dimensões de 5,0 x 3,0 x 0,4 cm.

4.2 SECAGEM

A secagem do mamão foi realizada na temperatura de 60°C, utilizando quatro técnicas: secagem assistida por ultrassom e vácuo, secagem a vácuo, secagem com ultrassom e secagem controle (sem vácuo e ultrassom).

A técnica de secagem assistida por ultrassom e vácuo foi composta de um banho com ultrassom e uma bomba de vácuo, conforme mostrado na Figura 3, adaptada de Başlar, Kiliçli e Yalinkiliç (2015). Um total de seis pedaços de mamão foram colocados em um frasco cônico, que foi conectado a uma bomba a vácuo. As amostras foram submetidas ao vácuo e a ondas ultrassônicas (25 kHz). A temperatura da água do banho ultrassônico foi controlada em 60°C e flutuações desta temperatura foram evitadas pela circulação da água. Todas as secagens foram feitas em triplicata.

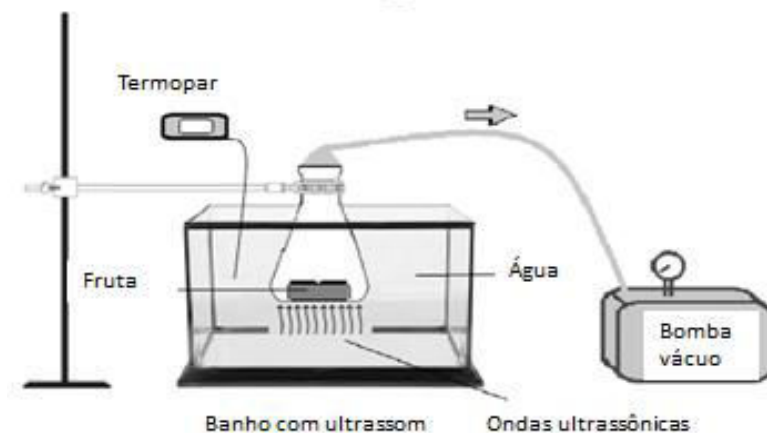


Figura 3: Esquema da secagem assistida com ultrassom e vácuo (adaptada de BAŞLAR; KILIÇLI; YALINKILIÇ, 2015).

Para todas as outras metodologias de secagem, foi utilizado o mesmo equipamento descrito para a secagem a vácuo assistida com ultrassom. Entretanto, para a secagem a vácuo das amostras, apenas a bomba a vácuo foi ligada, e para o processo de secagem com ultrassom apenas o ultrassom foi utilizado. Para o grupo controle, ambos equipamentos (vácuo e ultrassom) foram desligados e as amostras eram secas apenas pelo aquecimento do banho com o ultrassom desativado.

A pesagem das amostras foi realizada em uma balança semi-analítica, sendo a secagem iniciada logo após de seu corte e a pesagem iniciando no tempo zero. Os intervalos de tempo utilizados na pesagem foram de 15 em 15 minutos, durante a primeira hora de processo, e depois feita de 30 em 30 minutos até que a condição de equilíbrio fosse atingida (peso constante).

O estudo da cinética de secagem foi realizado a partir dos dados do adimensional de umidade (ADM) (Equação 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).

4.3 AVALIAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E NUTRICIONAL

Foram determinadas para as amostras in natura e secas: atividade de água, pH, acidez titulável, sólidos solúveis, cor, textura, rendimento, potencial de reidratação, teor de carotenoides totais e teor de ácido ascórbico. A legislação brasileira para frutas secas estabelece que produtos de frutos secos ou desidratados apresentem um valor máximo de umidade de 25% (BRASIL, 2005). Para o mamão em estudo, foi padronizado a secagem até aproximadamente 16% de umidade (0,19 kg de água/kg

em base seca). Todas as análises foram feitas em triplicata, exceto no caso da cor, que foi feita em quintuplicata.

A atividade de água foi medida utilizando um aparelho portátil (Decagon, Paw Kit) à temperatura de 25°C.

A determinação do pH foi realizada em pHmetro digital, com o equipamento calibrado com soluções padrão pH 7 e 4, de acordo com AOAC (2002).

A acidez titulável foi determinada por titulação com solução NaOH 0,1 N, utilizando-se uma solução de fenolftaleína 1% como indicador (AOAC, 2002). Os resultados foram expressos em % de ácido cítrico, calculados conforme a Equação 2 abaixo:

$$AT = \frac{V \cdot N \cdot E}{10 \cdot M} \quad (2)$$

Onde:

V = volume de NaOH gasto na titulação (mL);

N = normalidade do NaOH (0,01N);

M = massa da amostra(g);

E = equivalente grama do ácido cítrico.

Para a determinação dos sólidos solúveis, as amostras foram maceradas e colocadas em um refratômetro de bancada (Atago, modelo Pocket PAL-3). Os valores obtidos nas leituras foram expressos em °Brix (AOAC, 2002).

A cor das amostras foi avaliada através do sistema de leitura de três parâmetros, CIELAB. Os parâmetros L^* , a^* e b^* foram obtidos utilizando-se um colorímetro previamente calibrado. A coordenada L^* (luminosidade) refere-se ao nível entre escuro e claro, indo do preto ($L^*=0$) a branco ($L^*=100$); a coordenada a^* refere-se à escala de verde (valores negativos) a vermelho (valores positivos); e a coordenada b^* refere-se à escala de azul (valores negativos) a amarelo (valores positivos) (PATHARE; OPARA; AL-SAID, 2013).

A textura das amostras foi mensurada como força de punção usando um texturômetro (Brookfield, modelo CT3), com as amostras em temperatura ambiente. Os

testes de penetração foram conduzidos com uma sonda cilíndrica de 12,7 mm de diâmetro. Os parâmetros utilizados foram: força de disparo de 5 g, velocidade constante de 1m/s e taxa de deformação de 60 %.

O rendimento (Re) do processo foi verificado por meio da Equação 3:

$$\text{Re} = \frac{\text{Peso das amostras secas}}{\text{Peso inicial das amostras}} \times 100 \quad (3)$$

A razão de reidratação foi avaliada imergindo 5 g da amostra em água destilada nas temperaturas de 25° C e 80° C. Para as amostras imersas a 25° C, seu peso foi mensurado a cada 5 min, durante a primeira hora de hidratação, e depois realizada de 30 em 30 minutos até que a condição de equilíbrio fosse atingida (peso constante). Já para as amostras imersas a 80° C, seu peso foi mensurado a cada um minuto de hidratação até que a massa da amostra não mais variasse com o tempo (CHEN; GUO; WU, 2016). A razão de reidratação (RR) foi calculada de acordo com a Equação 4 abaixo:

$$\text{RR} = \frac{\text{Massa da amostra reidratada}}{\text{Massa da amostra seca}} \quad (4)$$

A extração e quantificação dos carotenoides totais das amostras frescas e processadas foram determinadas de acordo com a metodologia descrita por Rodriguez-Amaya (1999). Esse método consiste em extrair os carotenoides com acetona e posterior separação e diluição com éter de petróleo. Ao final, procede-se a leitura em espectrofotômetro a 450 nm de absorbância. Os resultados foram expressos em mg por 100g de matéria seca.

O teor de ácido ascórbico (vitamina C) foi determinado de acordo com a AOAC (2002). Amostras de 5 g de mamão frescos e desidratados foram diluídas em 100 mL de ácido oxálico a 0,5% e, em seguida, filtrada com papel de filtro. Uma alíquota de 5mL do filtrado foi titulada com indicador 2,6-diclorofenol-indofenol (DFI) até o ponto final da titulação. O teor de ácido ascórbico foi expresso como mg de ácido ascórbico por 100 g da amostra seca.

4.4 ANÁLISE MICROBIOLÓGICA

Com o objetivo de determinar o grau indicativo das condições higiênico sanitárias do processo de obtenção de mamão desidratado, foram realizados os ensaios analíticos indicados ao tipo de alimento em estudo. As determinações microbiológicas do Número Mais Provável (NMP.g-1 de polpa) de bactérias do grupo Coliformes a 45 °C, bem como a análise de *Salmonella* sp. (expressa em presença ou ausência em 25 g), foram realizadas seguindo as diretrizes gerais da RDC nº. 12, de 2 de janeiro de 2001, da Agência de Vigilância Sanitária do Ministério da Saúde (BRASIL, 2001). As análises foram realizadas em triplicata com base nas metodologias de Downes e Ito (2001) tanto para o produto in natura como para os produtos desidratados.

4.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os resultados obtidos foram avaliados utilizando Análise de Variância (ANOVA) e teste de Tukey, admitindo-se um intervalo de confiança de 99%, ou seja, a um nível de significância de 1% ($p < 0,01$).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 SECAGEM

A Figura 4 apresenta as alterações do conteúdo de umidade do mamão com o tempo de secagem nas quatro metodologias testadas. Algumas diferenças nas taxas de processo foram relatadas de acordo com o tipo de metodologia utilizada. Porém, em todos os casos há uma curva decrescente de secagem dividida em duas fases: uma primeira fase quase constante de perda de água rápida, e uma segunda fase caracterizada por um declive na curva, que mostra uma redução na taxa de secagem até o final do processamento. Comportamento semelhante foi obtido por Tekin et al. (2017) na secagem de vagens.

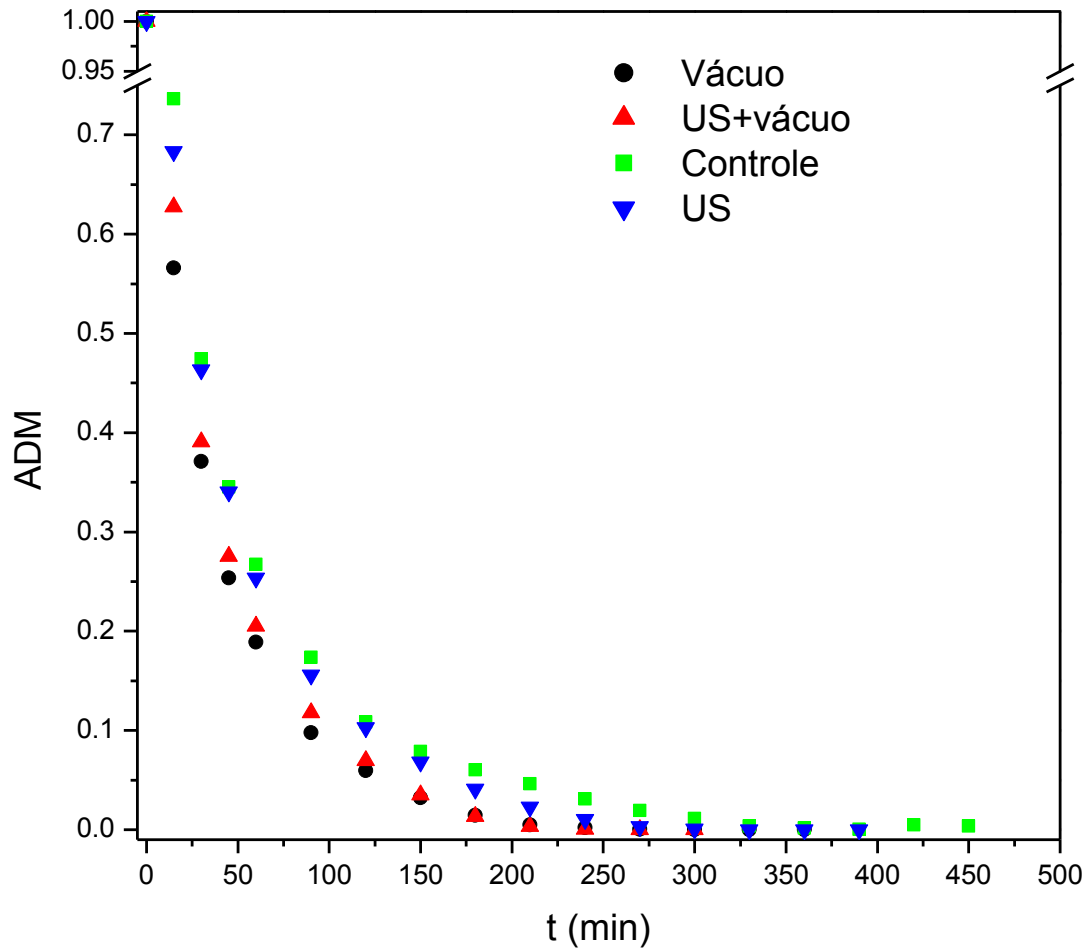


Figura 4: Adimensional de umidade (ADM) em função do tempo para o processo de secagem do mamão por diferentes técnicas: vácuo = secagem a vácuo; US+vácuo = secagem assistida por ultrassom e vácuo; Controle = secagem controle; US = secagem assistida por ultrassom.

Quando a secagem foi realizada utilizando o ultrassom, o vácuo ou o ultrassom com o vácuo, foi verificada uma maior taxa de secagem comparada a secagem controle (sem auxílio de qualquer nova tecnologia de secagem) (Figura 4). Em um contexto quantitativo, as mudanças na difusividade tiveram grande significância durante a secagem. Por exemplo, para obtenção de mamões com um conteúdo de umidade de 0,19 kg H₂O/kg massa seca (16%, base úmida), valor este abaixo do máximo permitido pela legislação brasileira para frutas secas (BRASIL, 2005), verifica-se que as amostras

submetidas à secagem a vácuo assistida com ultrassom resultaram nos menores tempos de processamento (Figura 5).

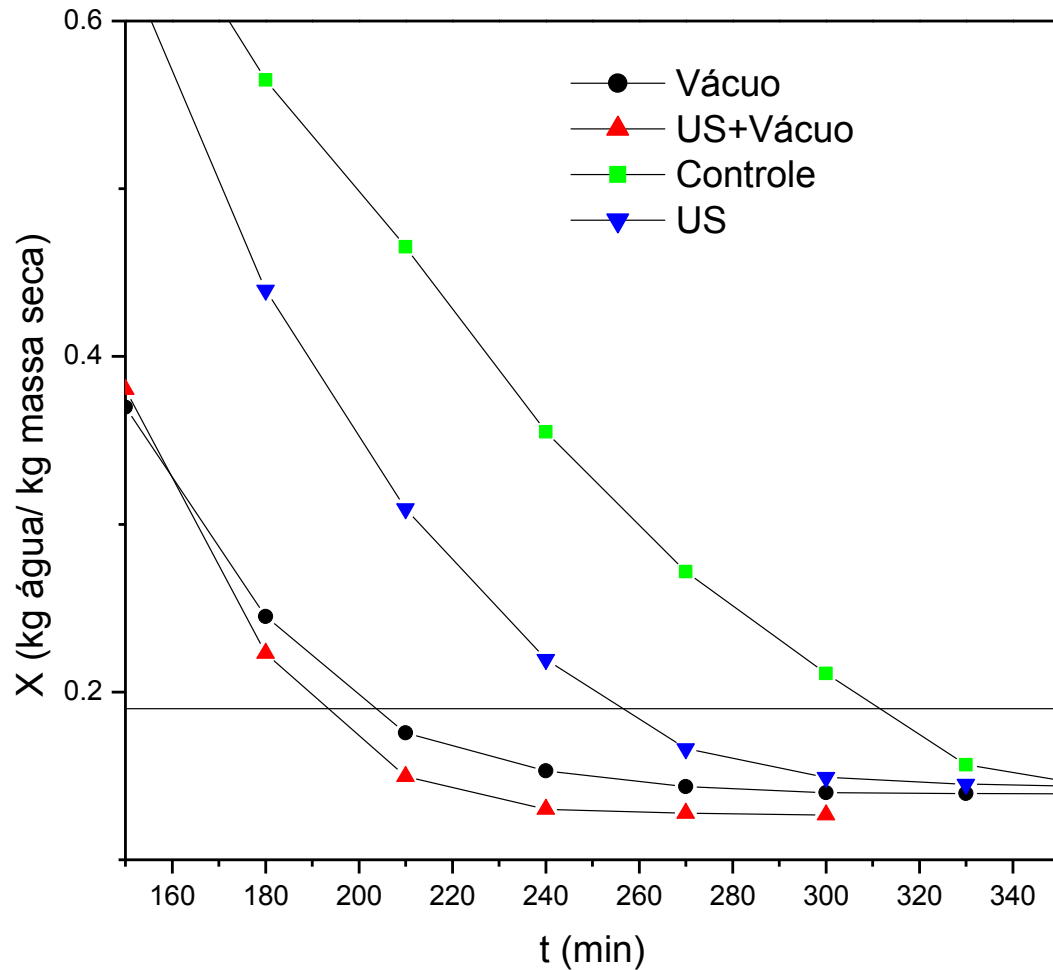


Figura 5: Variação da umidade na secagem do mamão por diferentes técnicas: vácuo = secagem a vácuo; US+vácuo = secagem assistida por ultrassom e vácuo; Controle = secagem controle; US = secagem assistida por ultrassom.

Os mamões submetidos à secagem controle foram os que mais tardaram a atingir o equilíbrio na secagem (peso constante) - cerca de 450 minutos. Villamiel et al. (2017) relataram que, na secagem convencional, o tecido vegetal continua a apresentar células túrgidas com parede celular definida e organizada, o que dificulta a difusividade da água. Tekin et al. (2017), utilizando a mesma metodologia de secagem (ultrassom acoplado ao vácuo) para vagens, observaram resultados similares aos do mamão. Para

as amostras de mamão que sofreram secagem por ultrassom, vácuo e ultrassom acoplado ao vácuo, os tempos necessários para sua desidratação total foram de 360, 300 e 270 minutos, respectivamente. Assim, a metodologia de secagem que se mostrou mais efetiva para a secagem de mamões foi a que utilizou o ultrassom acoplado ao vácuo. Atribuem-se esses resultados à possível formação de canais microscópicos, causados pela aplicação de ultrassom, decorrentes dos fenômenos de cavitação e o efeito esponja que facilita a remoção da umidade, e ao uso conjunto do vácuo, que aumenta a taxa de secagem pela aceleração da transferência de água (BAŞLAR et al., 2014).

Esta nova tecnologia de secagem utilizando o vácuo assistida com ultrassom também foi testada por Tekin et al. (2017), o qual obtiveram uma taxa de secagem de vagens mais alta em comparação a secagem por vácuo sozinha sob as mesmas condições de processamento. Estes mesmos autores também testaram esta metodologia de secagem com carne bovina e carne de frango e filés de salmão e truta, e também alcançaram resultados positivos, onde o ultrassom com o vácuo produziu uma maior taxa de secagem, em comparação com a secagem a vácuo e em estufa (BAŞLAR et al., 2014; BAŞLAR; KILIÇLI; YALINKILIÇ, 2015). Chen, Guo e Wu (2016), também utilizando ultrassom e vácuo, relataram um menor período de secagem de cenouras com o uso do ultrassom e vácuo a 65°C, que foi aproximadamente 1,8 vezes mais rápida do que a técnica de secagem apenas a vácuo.

5.2 RENDIMENTO

Os rendimentos dos experimentos de secagem estão apresentados na Tabela 2. Os principais parâmetros que influenciam no rendimento do processo são temperatura de secagem e o conteúdo de sólidos solúveis (VASCONCELOS et al., 2005; FABI et al., 2009). Contudo, a temperatura dos tipos de secagem aqui estudados não variou (60°C para todas) e a quantidade de sólidos solúveis do produto final não diferiu significativamente entre os tratamentos de secagem utilizados. Logo, não houve diferença significativa no rendimento final das amostras de mamão secos pelos

métodos de secagem testados. O rendimento médio do mamão desidratado foi de 18,6%, acima do encontrado por Kandasamy et al. (2012) que obtiveram um rendimento de 14,7% na secagem de polpa de mamão a 60°C em secador convectivo.

Tabela 2: Rendimento dos mamões secos por diferentes métodos: US = secagem assistida por ultrassom; Vácuo = secagem a vácuo; US + Vácuo = secagem assistida por ultrassom e vácuo; Controle = secagem controle.

Amostras	Rendimento em %
US	18,91 $\pm$ 1,20 ^a
Vácuo	18,34 $\pm$ 0,74 ^a
US + Vácuo	18,85 $\pm$ 1,51 ^a
Controle	18,26 $\pm$ 1,14 ^a

Médias seguidas da mesma letra na vertical não diferem significativamente entre si ao nível de 1% de significância pelo teste Tukey.

5.3 AVALIAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA

Os valores de atividade de água (a_w) foram significativamente reduzidos após a secagem (Tabela 3). Isto revela que a desidratação foi um tratamento adequado para reduzir esse parâmetro e melhorar as características de estabilidade dos mamões. A fruta fresca apresentou uma atividade de água de 0,96, valor próximo ao obtido por García-Alvarado, Pacheco-Aguirre e Ruiz-López (2014), que foi de 0,991 para mamões frescos. Esta a_w foi reduzida a aproximadamente 0,58 em todas as amostras, não havendo diferenças estatisticamente significativas entre elas ($p > 0,05$). Valores similares foram encontrados por García-Alvarado, Pacheco-Aguirre e Ruiz-López (2014) e Udomkun et al. (2016a) para mamão desidratados por secagem convectiva.

Tabela 3: Parâmetros físico-químicos dos mamões in natura e secos por diferentes métodos: US = secagem assistida por ultrassom; Vácuo = secagem a vácuo; US + Vácuo = secagem assistida por ultrassom e vácuo; Controle = secagem controle.

Amostras	Atividade de água	Acidez (%)	pH	Sólidos solúveis (°Brix)
In natura	0,97 ±0,03 ^a	0,12 ±0,03 ^c	5,11 ±0,05 ^a	11,78 ± 0,30 ^b
US	0,58 ±0,00 ^b	0,81 ±0,01 ^a	4,26 ±0,04 ^b	65,18 ±0,72 ^a
Vácuo	0,57 ±0,02 ^b	0,78 ±0,01 ^b	4,23 ±0,05 ^b	65,49 ±1,35 ^a
US + Vácuo	0,57 ±0,01 ^b	0,80 ±0,01 ^a	4,28 ±0,07 ^b	64,83 ±0,98 ^a
Controle	0,58 ±0,01 ^b	0,77 ±0,01 ^b	4,27 ±0,03 ^b	64,81 ±0,61 ^a

Médias seguidas da mesma letra na vertical não diferem significativamente entre si ao nível de 1% de significância pelo teste Tukey.

Todas as amostras de mamão seco obtiveram valores de atividade de água (a_w) abaixo de 0,6, o que garante a estabilidade microbiológica do produto, devido à supressão do crescimento de microrganismos contaminantes em alimentos (TROLLER, 1980).

Os mamões, no geral, possuem baixa acidez, o que os tornam bastante suscetíveis à deterioração por bactérias (HONÓRIO, 1982). Esta taxa de ácidos orgânicos presentes no mamão varia com o grau de maturação e condições de crescimento (AROUCHA et al., 2010). O mamão em estudo apresentou acidez de 0,12% de ácido cítrico (Tabela 3), valor este intermediário ao encontrado na literatura, que varia de 0,086 a 0,21% (ABROL et al., 2014; KELEBEK et al., 2015; ADDAI et al., 2016). Todos os mamões desidratados diferiram, em quantidade de acidez, da amostra in natura. Corroborando com os dados apresentados para mamão seco, Abrol et al. (2014) encontraram valor de 0,83% para amostras de mamão desidratados a 60°C em secador solar, enquanto que Kumar et al. (2017) obtiveram valores maiores (0,89%) para barra de mamão seco.

As amostras de mamão que sofreram processo de sonicação (secagem a vácuo assistida com ultrassom e secagem com ultrassom) apresentaram valores maiores de acidez do que as que não foram submetidas às ondas ultrassônicas (secagem controle e secagem a vácuo) (Tabela 3). Os microcanais produzidos pelo uso do ultrassom no

tecido vegetal facilitam a liberação dos ácidos orgânicos para a solução extratora utilizada na análise de acidez. Ademais, os ciclos de expansão e contração causados pelo ultrassom provocam pequenas lesões na parede celular do mamão, favorecendo à penetração da solução extratora e a passagem dos ácidos orgânicos (TOMA et al., 2001; VILLAMIEL et al., 2017). Além disto, Muzaffar et al. (2016) demonstraram que a aplicação de ultrassom por um período de tempo maior em cerejas poderia retardar a degradação de ácidos orgânicos devido ao ultrassom ter causado a desativação de enzimas que estão envolvidas na decomposição de ácidos orgânicos em açúcares. Isto pode também justificar a maior acidez dos produtos sonicados.

Houve uma redução do pH das amostras quando desidratadas, entretanto nenhuma amostra desidratada diferiu significativamente entre si (Tabela 3). Estes valores conferem com os encontrados por outros autores, com apenas algumas diferenças, já que a medida do pH varia de acordo com o estado de maturação de frutas, o tipo de cultivo e o clima (WALKER; FAMIANI, 2017). Kandasamy et al. (2012) encontraram valores de pH do mamão in natura de 5,2, e pH de 4,7 para o pó de mamão desidratado. Já Pê et al. (2015) obtiveram valores de 5,07 e 4,93 para o mamão in natura e o mamão desidratado a 70°C, respectivamente.

Como esperado, as diferentes técnicas de secagem não afetaram na quantidade de sólidos solúveis totais das amostras. Todas as amostras desidratadas variaram de 64,81 a 65,49° Brix, enquanto que a amostra in natura obteve 11,78° Brix, ou seja, um incremento de aproximadamente 5 vezes na quantidade de sólidos solúveis quando o mamão é desidratado. Este elevado incremento se deve a retirada de água da amostra e consequente concentração dos sólidos solúveis na amostra (PÊ et al., 2015). Estes valores estão condizentes com a literatura, que variam de 11,74 a 15,27° Brix para amostras de mamão in natura e de 60,13 a 68,50° Brix para amostras de mamão desidratados (ABROL et al., 2014; VIANA et al., 2015; ADDAI et al., 2016).

5.4 TEOR DE ÁCIDO ASCÓRBICO

No presente estudo, as amostras de mamão in natura apresentaram valores de ácido ascórbico de aproximadamente 71,30g/100 g de amostra úmida (593,19 g/100g de amostra seca) (Tabela 4). Kelebek et al. (2015) encontraram valores de 71,70 mg/100 g de massa úmida (597,5 mg/100 g de massa seca), valores estes muito próximos ao obtido no presente trabalho. Já Kurozawa et al. (2014) relataram 498 mg de ácido ascórbico por 100 g de massa seca de mamão.

Tabela 4: Conteúdo de ácido ascórbico em base seca e sua porcentagem de perda para o mamão in natura e seco por diferentes métodos: US = secagem assistida por ultrassom; Vácuo = secagem a vácuo; US + Vácuo = secagem assistida por ultrassom e vácuo; Controle = secagem controle.

Amostras	Ácido ascórbico (g/100 g massa seca)	% de perda
In natura	593,19 $\pm$ 15,43 ^a	-
US	188,95 $\pm$ 6,79 ^c	68,15
Vácuo	343,02 $\pm$ 4,24 ^b	42,17
US + Vácuo	348,14 $\pm$ 5,17 ^b	41,31
Controle	161,26 $\pm$ 6,83 ^d	72,81

Médias seguidas da mesma letra na vertical não diferem significativamente entre si ao nível de 1% de significância pelo teste Tukey.

Os valores do conteúdo de ácido ascórbico das amostras processadas são apresentados na Tabela 4. Verifica-se uma redução bastante considerável em seu conteúdo com o processamento. Porém, 100 g do produto seco por todas as metodologias em estudo ainda excedem a recomendação diária de Vitamina C para adultos, que é de 75 mg para mulheres e de 90 mg para homens (MAHAN; ESCOTT-STUMP; RAYMOND, 2012). Segundo Mercali et al. (2014), a degradação de ácido ascórbico é fortemente influenciada pelas características do processo, sendo grande parte perdida pelo calor empregado e pela presença de oxigênio durante a secagem.

As amostras que apresentaram menores perdas foram as que sofreram secagem com o auxílio do vácuo, não diferindo significativamente entre si. O vácuo empregado evita o contato do ácido ascórbico presente na amostra com o oxigênio livre, prevenindo a sua oxidação (TU; NJUS; SCHLEGEL, 2017). As amostras secas com vácuo e com vácuo assistida com ultrassom tiveram uma perda de 42,17 e 41,31%, respectivamente. CHEN; GUO; WU (2016), em seu experimento com desidratação de cenouras, relataram que o vegetal seco a vácuo perdeu 64,5% de ácido ascórbico, enquanto as cenouras secas no vácuo acoplado ao ultrassom perderam aproximadamente 51% de seu conteúdo de ácido ascórbico, o que demonstra que a metodologia de vácuo assistida com ultrassom foi ainda mais efetiva na retenção de ácido ascórbico no caso das cenouras. No mamão ela não diferiu significativamente da secagem apenas com o vácuo.

Houve uma grande perda de ácido ascórbico na secagem utilizando apenas o ultrassom (perda de 68,15%), seguida pelo grupo controle, sendo esta última a menos efetiva em retenção de vitamina C, com perda de 72,81%. Em ambos os casos houve acesso do ácido ascórbico ao oxigênio do ar, porém, com o uso do ultrassom a secagem foi mais rápida, diminuindo assim o tempo de contato da amostra com o oxigênio circulante. O dano térmico sofrido por um produto durante a secagem também é diretamente proporcional ao tempo de processo (KUROZAWA et al., 2014). Logo, o grupo controle, que necessitou de mais tempo para sua secagem completa, obteve uma maior degradação deste nutriente.

O fato do ácido ascórbico no mamão ser altamente termolábil e oxidável já foi relatado por outros autores. Yi et al. (2017) e Lyu et al. (2017), na fabricação de chips de mamão por secagem convectiva, obtiveram perda de 57,4% e 62,95% do ácido ascórbico, respectivamente. Em secagem ao sol, Abrol et al. (2014) relataram perda de 77,75% do ácido ascórbico presente nos mamões. Já Kurozawa et al. (2014) obtiveram perdas de 66% em cubos de mamão desidratados a 60°C. E quanto maior a temperatura ou o tempo de exposição dos mamões na secagem, maior era a degradação do ácido ascórbico. Dados estes semelhantes aos aqui relatados.

5.5 TEOR DE CAROTENOIDES TOTAIS

Os mamões da variedade Formosa em estudo possuem uma cor laranja avermelhada bastante acentuada, característica do fruto, que indicam a presença dos carotenoides (ROJSANGA; SITHISARN; BURANAPHALIN, 2014). O fruto in natura apresentou quantidade de carotenoides de 3,24 mg/100 g de matéria seca (Tabela 5). Este resultado é similar ao encontrado por Abrol et al. (2014), Lyu et al. (2017) e Yi et al. (2017), que encontraram valores de 5,03, 3,87 e 2,56 mg/100 g de matéria seca, respectivamente. Essas diferenças podem ser atribuídas às práticas agrícolas, exposição solar, área de produção, estágio de amadurecimento, manuseio pós-colheita e metodologia utilizada para análise.

Tabela 5: Conteúdo de carotenoides em base seca e sua porcentagem de perda para o mamão in natura e seco por diferentes métodos: US = secagem assistida por ultrassom; Vácuo = secagem a vácuo; US + Vácuo = secagem assistida por ultrassom e vácuo; Controle = secagem controle.

Amostras	Carotenoides (mg/100g massa seca)	% de perda
In natura	3,24 $\pm$ 0,06 ^a	-
US	2,93 $\pm$ 0,06 ^b	9,70
Vácuo	2,35 $\pm$ 0,02 ^c	27,60
US + Vácuo	2,88 $\pm$ 0,05 ^b	11,02
Controle	1,89 $\pm$ 0,03 ^d	41,62

Médias seguidas da mesma letra na vertical não diferem significativamente entre si ao nível de 1% de significância pelo teste Tukey.

Quando secas, as amostras apresentaram redução de seu conteúdo de carotenoides (Tabela 5). Isto ocorreu por conta da exposição à uma temperatura mais alta (60°C) e pelo tempo de processamento, já que esses pigmentos são altamente instáveis e susceptíveis à degradação ou isomerização (GOULA; ADAMOPOULOS, 2010). O tratamento que mais reduziu o teor de carotenoides foi o controle, que teve uma taxa de perda de 41%. Este resultado pode ser atribuído ao maior tempo de

processamento dessas amostras (RODRIGUEZ-AMAYA; KIMURA; AMAYA-FARFAN, 2008; UDOMKUN et al., 2015). Kumar et al. (2017), utilizando temperatura de 60°C em secador convectivo para produzir mamão seco, obtiveram teores de carotenoides similares (1,59 mg/100 g), enquanto Yi et al. (2017) relataram uma perda ainda maior dos carotenoides - cerca de 63% - quando utilizou secagem convencional do mamão para produção de *chips*.

A quantidade de carotenoides das amostras secas a vácuo foi maior que a quantidade das amostras controle. Com o vácuo, foi observado uma quantidade de carotenoides de 2,35 mg/100 g e perda de 27,6% em relação a fruta in natura. Houve uma maior retenção desses pigmentos provavelmente devido à quantidade limitada de oxigênio e ao seu curto tempo de secagem em comparação a secagem do grupo controle. Chen, Guo e Wu (2016) também observaram pouca porcentagem de perda de carotenoides em um estudo com secagem a vácuo de cenoura. Eles obtiveram valores de aproximadamente 33% de perda de carotenoides em cenouras secas a vácuo a 65°C.

A cavitação produzida pelas ondas ultrassônicas desencadeia na formação de microcanais no tecido do mamão seco assistido por ultrassom. Estes microcanais permitem a passagem de compostos da amostra, como os carotenoides, para o solvente de extração utilizado na análise (CORBIN et al., 2015; DA SILVA; GARCIA; FRANCISCATO, 2016). Além disto, tais ciclos de expansão e contração causam ruptura na parede celular da matriz vegetal, favorecendo à penetração do solvente e a transferência de compostos, permitindo que o conteúdo intracelular seja liberado de forma mais eficiente (TOMA et al., 2001). Desta forma, as amostras secas com a utilização do ultrassom apresentaram as maiores taxas de carotenoides, e concomitantemente as menores porcentagens de perda de carotenoides após a secagem - 9,70% de perda para a secagem no ultrassom e 11,02% para a secagem a vácuo assistida com ultrassom - não diferindo significativamente entre si.

Outros estudos utilizando o ultrassom comprovam sua eficácia de retenção de carotenoides. Azoubel et al. (2015), estudando a desidratação osmótica de mamões pré-tratados com 20 minutos de ultrassom obtiveram perda de apenas 35,1% de carotenoides do mamão. Chen, Guo e Wu (2016), utilizando a mesma metodologia de

secagem com ultrassom acoplado ao vácuo, observaram perda de carotenoides em cenouras desidratadas de aproximadamente 21%. Silva et al. (2016), estudando a eficiência da desidratação osmótica do melão utilizando pré-tratamento ultrassônico e vácuo, também observaram menores perdas de carotenoides quando as frutas eram submetidas ao pré-tratamento. Os autores relataram que a associação do ultrassom com vácuo possibilita maior conservação dos carotenoides, possivelmente pelo aumento da extração destes pelo uso destas técnicas que agem reduzindo o oxigênio disponível para a formação de radicais livres, já que o mecanismo de ação dos carotenoides é quelar o oxigênio singlete e a sua cinética de degradação é favorecida pela presença de oxigênio e de elevada temperatura.

5.6 COR

Os resultados da cor do mamão in natura e desidratados são apresentados na Figura 6. Os produtos secos diferiram significativamente do produto in natura para os parâmetros de luminosidade (L^*), cor vermelha (a^*) e cor amarela (b^*). Silva et al. (2016) também relataram que a secagem está associada às mudanças nos valores referentes aos parâmetros a^* , b^* e L^* . E, de acordo com Ahmed, Shivhare e Kaur (2002), qualquer mudança observada nos valores de a^* e b^* refletem mudanças nos valores de L^* . Neste caso, o aumento da tonalidade vermelha (a^*) e a baixa tonalidade amarela (b^*) ocasionou um escurecimento das amostras que sofreram secagem, relatada com a redução dos valores do parâmetro L^* .

As amostras in natura apresentaram luminosidade significativamente maior que as amostras secas. Também foram encontradas reduções significativas no parâmetro L^* nos mamões secos por convecção a 80°C, segundo estudo de Udomkun et al. (2017). Este fato se justifica pela integridade dos pigmentos do alimento - ainda não degradados pelas altas temperaturas - e pela grande quantidade de água presente nas amostras in natura, o qual proporciona turgidez às células (desta forma, refletem mais a luz) e também solubiliza e dispersa os pigmentos que proporcionam cor, o deixando mais claro (PERERA, 2005; UDOMKUN et al., 2016b).

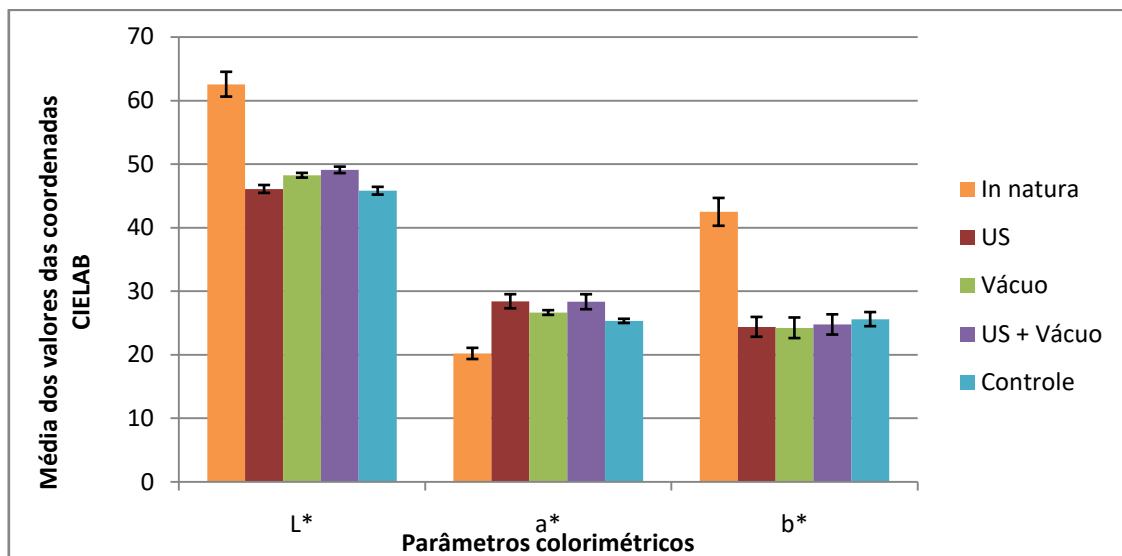


Figura 6: Resultados das medidas de cor obtidas (CIELAB) para o mamão in natura e seco por diferentes métodos: US = secagem assistida por ultrassom; Vácuo = secagem a vácuo; US + Vácuo = secagem assistida por ultrassom e vácuo; Controle = secagem controle.

O valor de luminosidade reduzida das amostras secas pode estar relacionado a muitos fatores de escurecimento. A oxidação enzimática, a reação de Maillard, caramelização, oxidação da vitamina C e a degradação de carotenoides são normalmente consideradas como os principais fatores que contribuem para mudanças de cor durante o processamento térmico (PERERA, 2005; ZOU et al., 2013). Contudo, no presente estudo, apenas o fato da perda de água e concentração dos sólidos e pigmentos do alimento já pode ter reduzido drasticamente a luminosidade do mamão seco. Este fato também foi relatado com as amostras de mamão secas no estudo de Udomkun et al. (2016b), em que houve uma diminuição da luz refletida e difusa, devido à redução da umidade durante a secagem. Além disso, a contração e deformação estrutural produzido pela secagem podem desviar os fótons e absorver mais luz, reduzindo assim o valor L^* .

Comparando apenas as amostras desidratadas, as que utilizaram o vácuo (ou seja, as amostras secas apenas com o vácuo ou secas a vácuo assistida com ultrassom) apresentaram-se mais claras (L^* significativamente maior) que as secas sem vácuo (amostra controle e seca apenas com o ultrassom). Mesmo sendo um produto com atividade de água baixo e pH ácido, ainda há a ação das enzimas de

escurecimento (principalmente a polifenoloxidase, no caso de mamões) (UDOMKUN et al., 2015). O vácuo aparentemente ajudou a evitar a ação destas enzimas pela falta de oxigênio necessário para que ocorram as reações de escurecimento enzimático. Assim como a falta de oxigênio proporcionada pela aplicação do vácuo não permitiu a degradação do ácido ascórbico a compostos escuros (ESKIN; HO; SHAHIDI, 2013).

Corroborando com os dados apresentados, Udomkun et al. (2016a), em seu estudo de armazenamento de mamão seco em diferentes embalagens, verificaram que a escassez de oxigênio evita o escurecimento enzimático e consequentemente o escurecimento das amostras. Entretanto, em um estudo similar, utilizando ultrassom acoplado ao vácuo na secagem de vagens, Tekin et al. (2017) relataram que as amostras secas apenas com vácuo apresentavam-se mais luminosas que as secas a vácuo assistida com ultrassom.

Nos valores de coloração avermelhada a^* e amarelada b^* , também observou-se mudanças significativas com a secagem (Figura 6). O valor a^* teve uma tendência em aumentar, enquanto que o valor b^* decresceu, independente do método de secagem utilizado. Dados similares também foram encontrados nos estudos de Udomkun et al. (2017) e Tekin et al. (2017) em secagens de mamão e vagem, respectivamente. Koca, Burdurlu e Karadeniz (2007) relataram que alterações nos valores de a^* e b^* em fatias de cenoura desidratadas eram correlacionadas com a redução do teor de β -caroteno. Diferente da cenoura, o mamão é mais rico no carotenoide licopeno, que tem tonalidade intensamente vermelha. Assim, o parâmetro mais modificado pela alteração do conteúdo de carotenoides é apenas o parâmetro a^* (vermelho) (GAYOSSO-GARCIA-SANCHO; YAHIA; GONZÁLEZ-AGUILAR, 2011).

O incremento nos valores de cor vermelha (a^*) nas amostras secas provavelmente está relacionado ao aumento da concentração dos pigmentos naturais do mamão. As amostras que perderam menos carotenóides durante a secagem, as secas por ultrassom e vácuo assistida com ultrassom, foram as que apresentaram maiores valores de a^* . Por outro lado, a que perdeu mais carotenoides (amostra controle) obteve os menores valores de a^* . Os valores de carotenoides e de a^* estão intimamente correlacionados, como pode ser demonstrado na Figura 7, que apresenta uma regressão linear entre essas duas variáveis, e evidencia a variação da cor

vermelha (a^*) pela variação dos níveis de carotenoides nas amostras de mamão secos. Pê et al. (2015), em seu estudo de osmo-desidratação do mamão seguida de secagem, igualmente verificaram incremento nos valores de a^* após a desidratação, e justificam esse incremento também devido ao aumento da concentração de carotenoides nas amostras desidratadas.

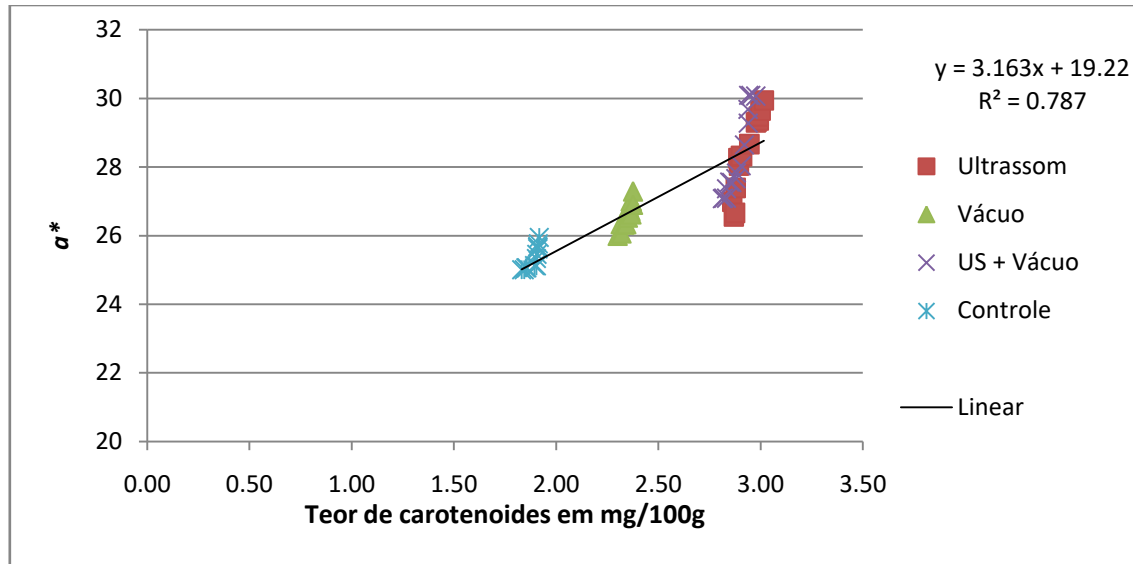


Figura 7: Regressão linear entre a variação da cor vermelha (a^*) e a variação dos níveis de carotenoides nas amostras de mamão secos (Ultrassom = secagem assistida por ultrassom; Vácuo = secagem a vácuo; US + Vácuo = secagem assistida por ultrassom e vácuo; Controle = secagem controle).

Os valores de cor amarela (b^*) não diferiram entre as metodologias de secagem, porém foram significativamente menores que a da amostra in natura. Isto constata que a amostra in natura apresentou-se mais amarela, e concomitantemente mais clara (valores de L^* maiores) que as amostras secas. Resultados similares foram encontrados por Tekin et al. (2017), em que suas amostras de vagem não diferiram significativamente no parâmetro b^* quando submetidas a secagem a vácuo assistida com ultrassom, secagem controle ou secagem a vácuo. A redução dos valores de cor amarela em amostras de mamão secas também foram encontradas por Canizares e Mauro (2015) e Yi et al. (2017). Esses autores atribuem esta diminuição a presença de compostos escuros derivados da degradação de compostos fenólicos e da vitamina C,

que atrapalharia a refração da fraca cor amarela. Também relatam que pode haver a isomerização ou maior retenção de alguns tipos de carotenoides em detrimento a outros, o que explica o aumento dos valores de a^* e redução dos valores de b^* aqui relatado.

5.7 TEXTURA

A dureza das amostras frescas e secas foi avaliada calculando a força máxima de penetração e expressas em Newton (Tabela 6). Os mamões frescos apresentaram valores de dureza de aproximadamente 6 N, textura um pouco maior que a encontrada por Addai et al. (2016), de 4,9 N para o cultivar Hongkong. Como esperado, todas as amostras desidratadas apresentaram um aumento substancial da dureza em relação à amostra in natura. Isto porque a transferência simultânea de calor e água durante a secagem leva a tensão e encolhimento, o que eleva a textura dos produtos desidratados (PORCIUNCULA; SEGURA; LAURINDO, 2016). Orikasa et al. (2014) relataram que esta tensão formada no produto seco é devido à desmetilação da pectina da parede celular pela pectina metil-esterase, que é ativada em temperaturas acima de 50°C e a subsequente formação de uma ligação entre os grupos carboxílico livres e íons cálcio.

Tabela 6: Dureza das amostras de mamão in natura e secas por diferentes metodologias: US = secagem assistida por ultrassom; Vácuo = secagem a vácuo; US + Vácuo = secagem assistida por ultrassom e vácuo; Controle = secagem controle.

Grupos	Dureza (N)
In natura	6,19 $\pm$ 0,32 ^a
US	35,34 $\pm$ 1,07 ^b
Vácuo	40,05 $\pm$ 0,92 ^c
US + Vácuo	35,91 $\pm$ 0,92 ^b
Controle	42,89 $\pm$ 1,52 ^d

Médias seguidas da mesma letra na vertical não diferem significativamente entre si ao nível de 1% de significância pelo teste Tukey.

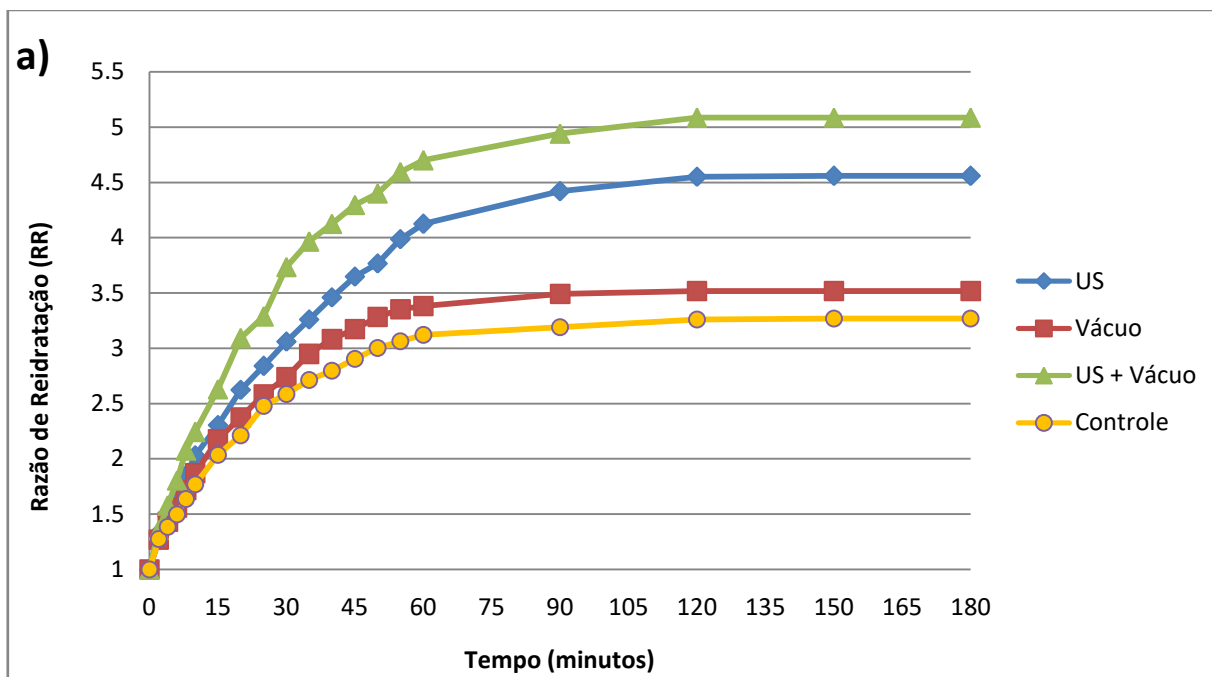
As amostras desidratadas apresentaram valores de dureza entre 35 e 42 N, sendo a amostra controle com o valor mais elevado de dureza. Oliveira (2014) demonstrou em seu estudo com diferentes metodologias de secagem de mamão que amostras desidratadas por secadores convencionais da indústria apresentam elevada textura de mastigação. Porém, quando a amostra a ser desidratada é pré-tratada ou é desidratada com formas alternativas de secagem (osmoticamente, a vácuo, pré-tratada com ultrassom, etc.), o resultado é uma textura mais macia.

Dentre as amostras que sofreram desidratação, as que apresentam menor textura (textura mais macia) foram as sonicadas - as secas por ultrassom e as secas assistidas por vácuo e ultrassom. Isto porque, nos mamões sonicados, boa parte das paredes celulares é quebrada durante a vibração ultrassônica e há a formação de uma rede de microcanais no tecido vegetal, o que favorece formação de um produto seco mais macio (VILLAMIEL et al., 2017). Similar resultado foi encontrado no trabalho de Silva et al. (2016), em que amostras de melão osmoticamente desidratadas pré-tratadas com ultrassom ou ultrassom mais vácuo obtiveram dureza menor (29,76 N e 28,76 N, respectivamente) que as pré-tratadas apenas com o vácuo (33,62 N) ou sem pré-tratamento (34,42 N).

Yi et al. (2017), na fabricação de chips de mamão, obtiveram uma dureza de 48,5 N em mamão seco, valor próximo ao encontrado na dureza do mamão do grupo controle (42,89 N). Este alto valor da textura do grupo controle pode estar relacionado ao elevado tempo de secagem em que esta amostra sofre que, conseqüentemente, leva a maiores danos na textura e maiores valores de dureza (SABAREZ et al., 2014). Além disto, na amostra controle, as estruturas celulares permaneceram intactas, não havendo quebra da parede celular por meio da força do vácuo ou das turbulências ocasionadas pela vibração do ultrassom. Esse fato deve ter influenciado no enrijecimento da estrutura das amostras de mamão secas por secagem controle.

5.8 RAZÃO DE REIDRATAÇÃO

As Figuras 8a e 8b mostram a razão de reidratação (RR) a 25°C e 80°C, respectivamente. Em ambas as temperaturas, as amostras apresentaram características típicas de produtos reidratados, com um aumento significativo da RR no estágio inicial do processo de reidratação e aumento gradual à medida que o processo se aproxima do estado de equilíbrio. Comportamento semelhante é reportado na literatura para outros vegetais (MARQUES; PRADO; FREIRE, 2009; CHEN; GUO; WU, 2016; ZIELINSKA; MARKOWSKI, 2016). Também é relatado na literatura que a reidratação ocorre principalmente nos primeiros 30 minutos, para as amostras reidratadas a 25°C, ou nos primeiros 10 minutos, para as amostras reidratadas a 80°C (MARQUES; PRADO; FREIRE, 2009; CHEN; GUO; WU, 2016; ZIELINSKA; MARKOWSKI, 2016). Apesar de depender do produto desidratado, na maioria das vezes é desejável uma taxa rápida e uma hidratação completa (KEYMAK-ERTEKIN, 2002; ZIELINSKA; MARKOWSKI, 2016).



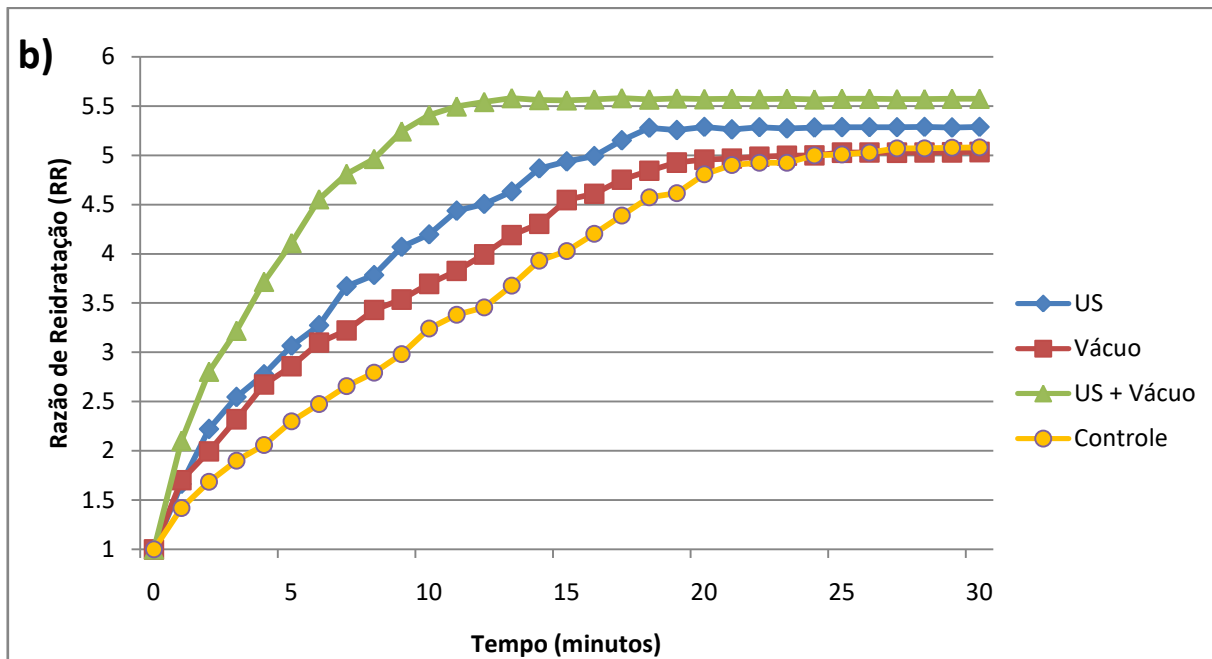


Figura 8: Razão de reidratação a 25 °C (a) e a 80 °C (b) dos mamões desidratados por diferentes técnicas de secagem em função do tempo (US = secagem assistida por ultrassom; Vácuo = secagem a vácuo; US + Vácuo = secagem assistida por ultrassom e vácuo; Controle = secagem controle).

A 80°C as amostras mostraram maior velocidade de reidratação comparada às amostras reidratadas a 25°C (Figura 8). Hawlader et al. (2006) relatam que esta maior velocidade de reidratação se deve a maior energia cinética apresentada pelas moléculas de água em elevadas temperaturas, que se movem mais rápido através dos poros dos produtos secos. Assim, em seu estudo com mamões e goiabas desidratados, verificaram que quanto maior a temperatura, mais rápida se dava a reidratação das frutas secas. Krokida e Marinos-Kouris (2003) também comprovam este fato ao relatarem comportamento análogo na reidratação de diferentes produtos vegetais a diferentes temperaturas.

Tanto a 25°C quanto a 80°C as diferentes amostras apresentaram distintas razões e velocidades de reidratação. Estes resultados mostram que o comportamento do produto seco durante a reidratação depende da técnica de secagem. Estas diferenças na velocidade e na razão de reidratação podem ser causadas por diferenças no grau de dano tecidual, no encolhimento celular, no endurecimento superficial e nas

mudanças físicas e químicas ocorridas nas amostras induzidas pelos diferentes métodos de desidratação.

O mamão desidratado pela metodologia de vácuo assistida com ultrassom apresentou a maior velocidade de reidratação e maior razão de reidratação (RR de 5,09 a 25°C e 5,57 a 80°C), seguida pela secagem por ultrassom, secagem a vácuo e secagem controle. Diversos fatores justificam a ocorrência deste fato. Primeiramente, a capacidade de reidratação está estreitamente correlacionada com a porosidade do material, ou seja, quanto mais porosos os produtos, mais rápido eles se reidratarão (KROKIDA; PHILIPPOPOULOS, 2005). O ultrassom é conhecido por produzir microcanais no tecido vegetal, o que influencia na transferência de massa (FUENTE-BLANCO et al., 2006). Logo, os produtos secos pelas metodologias que utilizaram o ultrassom (secagem a vácuo assistida com ultrassom e a secagem por ultrassom) apresentaram estrutura tecidual mais porosa, o que proporcionou uma mais rápida e maior razão de reidratação. Fato este também relatado por Lagnika et al. (2018) ao utilizarem 30 minutos de ultrassom como pré-tratamento na secagem de batata doce.

Outro parâmetro que influencia na razão de reidratação é a dureza do material (SCAMAN et al., 2014). Como já apresentado, as amostras em que foi utilizado ultrassom apresentaram-se mais macias, provavelmente por conta de sua microestrutura mais porosa. Por conseguinte, obtiveram razões de reidratação maiores. Outros autores também observaram menor capacidade de reidratação em produtos vegetais que apresentavam-se, em sua estrutura seca final, mais rígidos (SCAMAN et al., 2014; KUMAR et al., 2017).

As amostras secas por vácuo assistida com ultrassom também obtiveram as maiores taxas de reidratação. O vácuo proporciona uma expansão do ar e do vapor d'água presentes no alimento, chamado efeito *puffing*, e assim produz produto seco com estrutura mais fofa e expandida que facilita a reidratação (SAGAR; SURESH-KUMAR, 2010). Além disso, a saída forçada de ar e vapor d'água durante a secagem produz uma maior porosidade no produto, que contribui para sua reidratação. Hawlader et al. (2006) reportaram este efeito em seus estudos, indicando que o mamão seco a vácuo obteve uma alta porosidade justamente devido ao efeito *puffing*. Scaman et al. (2014) comprovaram o efeito *puffing* e a consequente maior porosidade e razão de

reidratação de materiais secos a vácuo com estudos microscópicos de maçãs e batatas desidratadas.

Já as amostras secas sem o uso do vácuo e/ou ultrassom apresentaram uma reidratação mais lenta e obtiveram uma razão de reidratação final baixa comparada as outras amostras (RR = 3,27 a 25°C e 5,08 a 80°C). Para Nowacka et al. (2012) e Scaman et al. (2014), amostras vegetais não tratadas e secas ao ar apresentam microestrutura mais densas e colapsadas, com pequenas cavidades e alta densidade do produto final, o que dificulta na reidratação do material. Esta baixa razão de reidratação também pode estar associada ao fato do tecido vegetal das amostras secas convencionalmente continuar a apresentar parede celular definida e organizada, o que pode interferir na difusividade da água durante a reidratação (VILLAMIEL et al., 2017).

5.9 AVALIAÇÃO MICROBIOLÓGICA

O resultado das análises microbiológicas dos produtos, tanto in natura como desidratados pelas quatro metodologias de secagem testadas, apontou ausência de *Salmonella* sp. em 25 g de amostra e valores inferiores a 10^1 NMP.g⁻¹ para coliformes a 45 °C, estando de acordo com o estabelecido pela legislação vigente, a RDC n° 12 de 02 de janeiro de 2001 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (BRASIL, 2001). A referida legislação exige, para frutos desidratados, ausência de *Salmonella* sp. em 25 g de amostra e, no máximo, 10^2 NMP.g⁻¹. Logo, estes dados demonstraram que as amostras de mamões provenientes das quatro metodologias de secagem encontravam-se em conformidade com a legislação (BRASIL, 2001).

A estabilidade microbiológica das amostras de mamão após as quatro metodologias de secagem foi garantida através da redução da atividade de água para abaixo de 0,6, o que garante ao produto a supressão do crescimento de microrganismos contaminantes (TROLLER, 1980). Desta forma, assume-se que a estabilidade microbiológica do mamão seco ficou assegurada, corroborando assim com os resultados negativos para a presença de *Salmonella* sp. e coliformes a 45 °C (FRANCO; LANDGRAF, 2003; DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2010).

O aumento da acidez e diminuição do pH também pode ter contribuído para a conservação microbiológica do produto seco. Com o decréscimo do pH de 5,11, no mamão in natura, para aproximadamente 4,26, nos mamões desidratados por todas metodologias utilizadas, afasta o pH da faixa de neutralidade, o que desfavorece o crescimento microbiano e aumenta sua possibilidade de conservação (FRANCO; LANDGRAF, 2003).

6 CONCLUSÃO

Os resultados sugerem que o uso de vácuo assistido com ultrassom influencia positivamente na secagem do mamão, pois obteve redução de umidade mais rápida à encontrada por outros métodos de secagem. Deste modo, esse processo pode ser efetivamente utilizado para reduzir o tempo de secagem.

Independente da técnica de secagem utilizada, houve redução significativa dos carotenoides e do ácido ascórbico, redução da luminosidade e da intensidade da cor amarela, e aumento na intensidade da cor vermelha e na dureza das amostras de mamão. Contudo, os resultados obtidos indicaram que a associação do ultrassom e vácuo na secagem pode ser efetiva na menor perda de qualidade nutricional do mamão seco, além de resultar em frutas desidratadas com melhores características de cor, textura e potencial de reidratação.

Referências

- ABROL, G. S.; VAIDYA, D.; SHARMA, A.; SHARMA, S. Effect of solar drying on physico-chemical and antioxidant properties of mango, banana and papaya. **National Academy Science Letters**, v. 37, n. 1, p. 51-57, 2014.
- ADDAI, Z. R.; ABDULLAH, A.; MUTALIB, S. A.; MUSA, K. H. Evaluation of fruit leather made from two cultivars of papaya. **Ital J Food Sci**, v. 28, n. 1, p. 73–82, 2016.
- ADEKUNTE, A. O.; TIWARI, B. K.; CULLEN, P. J.; SCANNELL, A. G. M.; O'DONNELL, C. P. Effect of sonication on color, ascorbic acid and yeast inactivation in tomato juice. **Food Chemistry**, v. 122, p. 500-507, 2010.
- AGHBASHLO, M.; MOBLI, H.; RAFIEE, S.; MADADLOU, A. A review on energy analysis of drying processes and systems. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 22, p. 1-22, 2013.
- AGRIANUAL. **Anuário da agricultura brasileira**. 21 ed. São Paulo: FNP Consultoria e Comércio, 2016. 581 p.
- AHMED, J.; SHIVHARE, U.S.;KAUR, M. Thermal color degradation kinetics of mango puree. **International Journal of Food Properties**, v. 5, p. 359-399, 2002.
- AOAC. **Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemistry**. 17 ed. Washington: AOAC, 2002. 1115p.
- ARÉVALO-PINEDO, A.; MURR, F. E. X. Influencia da pressão, temperatura e pré-tratamentos, na secagem a vácuo de cenoura e aboboras. **Ciência e Tecnologia dos Alimentos**, v. 25, n. 4, p. 636-643, 2005.
- AROUCHA, E. M. M.; De GOIS, V. A.; De LIMA LEITE, R. H.; SANTOS, M. C. A.; SOUZA, M. S. Acidez em frutas e hortaliças. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 5, n. 2, p. 01-04, 2010.
- ASGHAR, N.; NAQVI, S. A. R.; HUSSAIN, Z.; RASOOL, N.; KHAN, Z. A.; SHAHZAD, S. A.; JAAFAR, H. Z. Compositional difference in antioxidant and antibacterial activity of all parts of the *Carica papaya* using different solvents. **Chemistry Central Journal**, v. 10, n. 5, p. 1-11, 2016.
- AZOUBEL, P. M.; AMORIM, M. da R.; OLIVEIRA, S. S. B.; MACIEL, M. I. S.; RODRIGUES, J. D. Improvement of water transport and carotenoid retention during

drying of papaya by applying ultrasonic osmotic pretreatment. **Food Engineering Reviews**, v. 7, p. 185-192, 2015.

BADILLO, V. M. *Carica* L. vs. *Vasconcella* St.-Hil. (Caricaceae) conlarehabilitación de este último. **Ernstia**, v. 10, n. 2, p. 74–79, 2000.

BANGA, J. R.; BALSACANTO, E.; MOLES, C. G.; ALONSO, A. A. Improving food processing using modern optimization methods. **Trends in Food Science & Technology**, v. 14, p. 131-144, 2003.

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

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

BECK, S. M. H.; SABAREZ, V.; GAUKEL, K. KNOERZER. Enhancement of convective drying by application of airborne ultrasound – A response surface approach. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 21, p. 2144-2150, 2014.

BENNETT, L. E.; JEGASOTHY, H.; KONCZAK, I.; FRANK, D.; SUDHARMARAJAN, S.; CLINGELEFFER, P. R. Total polyphenolics and anti-oxidant properties of selected dried fruits and relationships to drying conditions. **Journal of functional foods**, v. 3, n. 2, p. 115-124, 2011.

BRASIL. Agência Nacional da Vigilância Sanitária–ANVISA. Resolução RDC nº 272 de 22 de setembro de 2005. **Regulamento Técnico para Produtos de Vegetais, Produtos de Frutas e Cogumelos Comestíveis**, revogando a resolução –CNNPA nº12, de 24 de julho de 1978. Diário Oficial da União, Brasília, 23 de setembro de 2005.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional da Vigilância Sanitária – ANVISA. Resolução nº 15 de 1977. **Estabelece o padrão de identidade e qualidade para frutas cristalizadas e glaceadas**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 15 de julho de 1977. Disponível na World Wide Web: <http://www.anvisa.gov.br>. Acesso em: 10 set. 2016.

BRASIL. Ministério da Saúde. Resolução - RDC nº 12, de 2 de janeiro de 2001. **Regulamento Técnico sobre padrões microbiológicos para alimentos**. Diário Oficial da União, Brasília, 10 de janeiro 2001.

BROOKER, D. B.; BAKKER-ARKEMA, F. W.; HALL, C. W. **Drying and storage of grains and oil seeds**. New York: van Nostrand Reinhold, 1992. 450p.

BETORET, E.; BETORET, N.; ROCCULI, P.; DALLA ROSA, M. Strategies to improve food functionality: Structure–property relationships on high pressures homogenization, vacuum impregnation and drying technologies. **Trends in Food Science & Technology**, v. 46, n. 1, p. 1-12, 2015.

BOWEN, P. E.; STACEWICZ-SAPUNTZAKIS, M.; DIWADKAR-NAVSARIWALA, V. Carotenoids in Human Nutrition. In: Chen C, ed., *Pigments in fruits and vegetables. Genomics and dietetics*. Springer New York, p. 31-67, 2015.

CAMERON, M.; MCMASTER, L. D.; BRITZ, T. J. Electron microscopic analysis of dairy microbes inactivated by ultrasound. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 15, n. 6, p. 960-964, 2008.

CANIZARES, D.; MAURO, M. A. Enhancement of quality and stability of dried papaya by pectin-based coatings as air-drying pretreatment. **Food Bioprocess Technol.**, v. 8, p. 1187–1197, 2015.

CÁRCEL, J. A.; GARCÍA-PÉREZ, J. V.; RIERA, E.; ROSSELLÓ, C.; MULET, A. Drying assisted by ultrasound (Chapter 8) In: Tsotsas & A. S. Mujumdar, eds., *Modern Drying Technology*, vol. 5, pp. 237–278. **Process intensification**. Wiley New York, 2014.

CELESTINO, S. M. C. **Princípios de secagem de alimentos**. Planaltina, DF: EMBRAPA Cerrados, 2010. 276p.

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

CHEN, X. D.; MUJUMDAR, A. S. **Drying Technologies in Food Processing**. 1 ed., Oxford: John Wiley & Sons, 2008.

CHUYEN, H. V.; ROACH, P. D.; GOLDING, J. B.; PARKS, S. E.; NGUYEN, M. H. Effects of four different drying methods on the carotenoid composition and antioxidant

capacity of dried Gac peel. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.1, p. 1 - 7, 2016.

CORBIN, C.; FIDEL, T.; LECLERC, E. A; BARAKZOY, E.; SAGOT, N.; FALGUIÉRES, A.; RENOUEARD, S.; BLONDEAU, J. P.; FERROUD, C.; DOUSSOT, J.; LAINÉ, E.; HANO, C. Development and validation of an efficient ultrasound assisted extraction of phenolic compounds from flax (*Linum usitatissimum* L.) seeds. **Ultrason Sonochem**, v. 26, p. 176-185, 2015.

COREY, M. E.; KERR, W. L.; MULLIGAN, J. H.; LAVELLI, V. Phytochemical stability in dried apple and green tea functional products as related to moisture properties. **LWT-Food Science and Technology**, v. 44, n. 1, p. 67-74, 2011.

CORNEJO, F. E. P.; NOGUEIRA, R. I.; WILBERG, V. K. **Secagem como Métodos de Conservação de Frutas - Documento 54**. Rio de Janeiro: Embrapa Agroindústria de Alimentos, 2003. 22p.

CORRÊA, J. L. G.; RASIA, M. C.; GARCÍA-PÉREZ, J. V.; MULET, A.; DE JESUS JUNQUEIRA, J. R.; CÁRCEL, J. A. Use of ultrasound in the distilled water pretreatment and convective drying of pineapple. In J. M. P. Q. Delgado & A. G. Barbosa de Lima, eds., *Drying and Energy Technologies*. Cham (Switzerland): **Springer International Publishing**. 63, 71–87, 2016.

DA SILVA, C.; GARCIA, V. S.; FRANCISCATO, L. S. Extração assistida por ultrassom de compostos bioativos das cascas de lichia (*Litchi chinensis* Sonn.). **RECEN-Revista Ciências Exatas e Naturais**, v. 18, n. 1, p. 81-96, 2016.

DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L.; FENNEMA, O. R. **Química de Alimentos de Fennema**, 4 ed. Porto Alegre: Artmed, 2010. 900p.

DANTAS, J. L. L.; LUCENA, R. S.; VILAS BOAS, S. A. Avaliação agronômica de linhagens e híbridos de mamoeiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 37, p. 138-148, 2015.

DAY, L.; XU, M.; OISETH, S. K.; MAWSON, R. Improved mechanical properties of retorted carrots by ultrasonic pre-treatments. **Ultrasonics Sonochemistry**, 19, 427-434, 2012.

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

DURIGAN, M. F. B.; DURIGAN, J. F. **Tecnologia pós-colheita e processamento de mamão: qualidade e renda aos produtores roraimenses**. Boa Vista: Embrapa, Documentos 55, 2014.

EBRAHIMI, M. A.; MOHTASEBI, S. S.; RAFIEE, S.; HOSEINPOOR, S. Investigation of banana slices shrinkage using image processing technique. **Australian Journal of Crop Science**, v. 6, n. 5, p. 938-945, 2012.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA/EMBRAPA. **Iniciando um pequeno grande negócio agroindustrial: frutas desidratadas**. Brasília: Embrapa. Informação Tecnológica, (Série Agronegócios). 2003. 115p.

ERCAN, S. S.; SOYSAL, C. Effect of ultrasound and temperature on tomato peroxidase. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 18, p. 689-95, 2011.

ESKIN, N. M.; HO, C. T.; SHAHIDI, F. "Chapter 6 - Browning reactions in foods." In **Biochemistry of Foods** (Third Edition), edited by ESKIN, M.; SHAHIDI, F. San Diego: Academic Press, 2013. p. 245-289.

FABI, J. P.; CORDENUNSI, B. R.; SEYMOUR, G. B.; LAJOLO, F. M.; NASCIMENTO, J. R. O. Molecular cloning and characterization of a ripening-induced polygalacturonase related to papaya fruit softening. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 47, n. 11/12, p. 1075-1081, 2009.

FACHINELLO, J. C.; PASA, M. D. S.; SCHMITZ, J. D.; BETEMPS, D. L. Situação e perspectivas da fruticultura de clima temperado no Brasil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 33, n. S1, p. 109-120, 2011.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS **The agricultural production**. 2016. Disponível em: <<http://www.faostat.org>>. Acesso em: 06 set., 2016.

FAO/OMS. Comissão do Codex Alimentarius. **Estabelece os padrões de qualidade para frutos de variedades comerciais de mamão (*Carica papaya* L.) para consumo "in natura"**. Draft Revised Standard for Papaya. Em revisão, 2000.

FERNANDES, F. A. N.; LINHARES J. R. F. E.; RODRIGUES, S. Ultrasound as pretreatment for drying of pineapple. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 15, p. 1049–1054, 2008.

FERNANDES, F. A. N.; RODRIGUES, S.; GASPARETO, O. C. P.; OLIVEIRA, E. L. Optimization of osmotic dehydration of papaya followed by air-drying. **Food Research International**, v. 39, n. 4, 2006.

FELLOWS P. J. **Food Processing Technology**. 3rd ed. Fla. USA: Woodhead Publishing Limited and CRC Press, Boca Raton, 2009. 913p.

FIOREZE, R. **Princípios de secagem de produtos biológicos**, João Pessoa: Editora Universitaria - UFPB, 2004. 229p.

FONTELES, T. V.; COSTA, M. G. M.; JESUS, A. L. T.; MIRANDA, M. R. A.; FERNANDES, F. A. N.; RODRIGUES, S. Power ultrasound processing of cantaloupe melon juice: Effects on quality parameters. **Food Research International**, v. 48, p. 41-48, 2012.

FRANCO, B. D. G. M.; LANDGRAF, M. Microbiologia dos Alimentos. São Paulo: Editora Atheneu, 2003. 182p.

FUENTE-BLANCO, S.; SARABIA, E. R. F.; ACOSTA-APARICIO, V. M., BLANCO-BLANCO, A.; GALLEGUO-JUAREZ, J. A. Food drying process by power ultrasound. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 44, p. 523–527, 2006.

GAVA, A. J. **Princípios de tecnologia de alimentos**. São Paulo: Nobel, 1984. 289p.

GARCÍA-ALVARADO, M. A.; PACHECO-AGUIRRE, F. M.; RUIZ-LÓPEZ, I. I. Analytical solution of simultaneous heat and mass transfer equations during food drying. **Journal of Food Engineering**, v. 142, p. 39-45, 2014.

GAYOSSO-GARCIA SANCHO, L. E.; YAHIA, E. M.; GONZÁLEZ-AGUILAR, G. A. Identification and quantification of phenols, carotenoids, and vitamin C from papaya (*Carica papaya* L., cv. Maradol) fruit determined by HPLC-DAD–MS/MSESI. **Food Research International**, v. 44, p. 1284–1291, 2011.

GOULA, A. M.; ADAMOPOULOS, K. G. Kinetic models of β -carotene degradation during air drying of carrots. **Drying Technology**, v. 28, n. 6, p. 752-761, 2010.

- HAWLADER, M. N. A.; PERERA, C. O.; TIAN, M.; YEO, K. L. Drying of guava and papaya: Impact of different drying methods. **Drying Technology**, v. 24, p. 77-87, 2006.
- HONÓRIO, S. L. Fisiologia pos-colheita de mamão (*Carica papaya* L.). Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - UNICAMP, São Paulo, 1982.
- JANGAM, S. V. An overview of recent developments and some R&D challenges related to drying of foods. **Dry Technology**, v. 29, n.12, p. 1343-1357, 2011.
- JANG, J. H.; MOON, K. D. Inibition of polyphenol oxidase and peroxidase activities on fresh cut apple by simultaneous treatment of ultrasound and ascorbic acid. **Food chemistry**, v. 124, p. 444-449, 2011.
- JAYA, S.; DAS, H. A vacuum drying model for mango pulp. **Drying Technology**, v. 21, n. 7, p. 1215-1234, 2003.
- JOSHI, A. P. K.; RUPASINGHE, H. P. V.; KHANIZADEH, S. Impact of drying processes on bioactive phenolics, vitamin C and antioxidant capacity of red-fleshed apple slices. **J. Food Process. Preserv.**, v. 35, p. 453-457, 2011.
- KAMILOGLU, S.; TOYDEMIR, G.; BOYACIOGLU, D.; BEEKWILDER, J.; HALL, R. D.; CAPANOGLU, E. A review on the effect of drying on antioxidant potential of fruits and vegetables. **Critical Reviews In Food Science And Nutrition**, v. 56, n. S1, p. 110-29, 2015.
- KANDASAMY, P.; VARADHARAJU, N.; KALEMULLAH, S.; MALADHI, D. Optimization of process parameters for foam-mat drying of papaya pulp. **Journal of Food Science and Technology**, v. 51, n. 10, p. 2526-2534, 2012.
- KAYMAK-ERTEKIN, F. Drying and rehydration kinetics of green and red peppers, **Journal of Food Science**, v. 67, n. 1, p. 168-175, 2002.
- KELEBEK, H. S.; SELLI, H.; GUBBUK, Y. E. GUNES. 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.
- KOCA, N.; BURDURLU, H. S.; KARADENIZ, F. Kinetics of color changes in dehydrated carrots. **Jornal of food engineering**, v. 78, p. 449-455, 2007.
- KOWALSKI, S. J.; PAWŁOWSKI, A. Intensification of apple drying due to ultrasound enhancement. **Journal of Food Engineering**, v. 156, p. 1–9, 2015.

- KROEHNKE, J.; MUSIELAK, G.; BORATYŃSKA, A. Convective drying of potato assisted by ultrasound. **PhD Interdisciplinary Journal**, v. 1, p. 57–65, 2014.
- KROKIDA, M. K.; MARINOS-KOURIS, D. Rehydration kinetics of dehydrated products. **Journal of Food Engineering**, v. 57, p. 1–7, 2003.
- KROKIDA, M. K.; PHILIPPOPOULOS, C. Rehydration of dehydrated foods. **Drying Technology**, v. 23, n. 4, p. 799–830, 2005.
- KUMAR, H. S. P.; NAGARAJU, P. K.; RADHAKRISHNA, K.; BAWA, A. S. Effect of dehydration techniques on the quality of onion slices. **Journal of Food Science and Technology**, v. 41, n. 4, p. 397–400, 2004.
- KUMAR, A. L.; MADHUMATHI, C.; SADARUNNISA, S.; LATHA, P. Quality evaluation and storage study of papaya guava fruit bar. **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**, v. 6, n. 4, p. 2082-2087, 2017.
- KUROZAWA, L.; TERNG, I.; HUBINGER, M.; PARK, K. Ascorbic acid degradation of papaya during drying: effect of process conditions and glass transition phenomenon. **Journal of Food Engineering**, v. 123, p. 157-164, 2014.
- KWIATKOWSKA, B.; BENNETT, J.; AKUNNA, J.; WALKER, G. M.; BREMNER D. H. Stimulation of bioprocesses by ultrasound. **Biotechnology Advances**, v. 29, p. 768-780, 2011.
- LAGNIKA, C.; HUANG, J.; JIANG, N.; LI, D.; LIU, C.; SONG, J.; WEIA Q.; ZHANG, M. Ultrasound-assisted osmotic process on quality of microwave vacuum drying sweet potato. **Drying Technology**, p. 1-13, 2018.
- LAW, C. L.; CHEN, H. H. H.; MUJUMDAR, A. S. Food technologies: drying. **Encyclopedia of Food Safety**, v. 3, p. 156–167, 2014.
- LÓPEZ-MARTÍNEZ, L. M.; SANTACRUZ-ORTEGA, H.; NAVARRO, R. E. et al. A ^1H NMR investigation of the interaction between mango (*Mangifera indica* cv Ataulfo) and papaya (*Carica papaya* cv Maradol) and 1,1-diphenil-2-picrylhydrazyl (DPPH) free radicals. **Plos One**, v. 10, n. 11, p. 140-242, 2015.
- LORENZI, H.; BACHER, L.; LACERDA, M.; SARTORI, S. **Frutas brasileiras e exóticas cultivadas**. São Paulo: Instituto Plantarum, 2006. 640p.

- LYU, J.; YI, J.; BI, J.; GAO, H.; ZHOU, M.; LIU, X. Impacts of Explosion Puffing Drying Combined with Hot-Air and Freeze Drying on the Quality of Papaya Chips. **International Journal of Food Engineering**, v. 13, n. 2, 2017.
- MACHADO, A. V.; BARBOSA, L. S.; MACEDO, J. L.; SANTOS, C. M. Estudo da secagem de frutos tropicais do Nordeste. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 9, n. 1, p. 186-190, 2014.
- MACHADO, A. V.; DE SOUZA, J. A.; NOVAES, R. S. Estudo cinético da secagem da uva Isabel para produção de uva passa. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 10, n. 1, p. 47-51, 2015.
- MADAMBA, P. S.; LIBOON, F. A. Optimization of the vacuum dehydration of celery (*Apium graveolens*) using the response surface methodology. **Drying Technology**, v. 19, p. 611-626, 2001.
- MAHAN, L. K.; ESCOTT-STUMP, S; RAYMOND, J. L. **Krause -Alimentos, nutrição & dietoterapia**. 13^a ed. São Paulo: Roca; 2012.
- MARQUES, L. G.; PRADO, M. M.; FREIRE, J. T. Rehydration characteristics of freeze-dried tropical fruits. **J. Food Sci. Technol.**, v. 42, p. 1232-1237, 2009.
- MARTINS, D. S.; COSTA, A. F. **A cultura do mamoeiro: Tecnologias de Produção**. Vitória: Incaper, 2003. 497p.
- MAYOR, L.; SERENO, A. M. Modelling shrinkage during convective drying of food materials: a review. **Journal of Food Engineering**, v. 61, n.3, p. 373-386, 2004.
- MEDEIROS, R. A. B.; BARROS, Z. M. P.; CARVALHO, C. B. O.; FRAGA NETA, E.G.; MACIEL, M. I. S.; AZOUBEL, P. M. Influence of dual-stage sugar substitution pretreatment on drying kinetics and quality parameters of mango. **LWT-Food Science and Technology**, v. 67, p. 167-173, 2016.
- MEGÍAS-PÉREZ, R.; GAMBOA-SANTOS, J.; SORIA, A. C.; VILLAMIEL, M. E MONTILLA, A. Survey of quality indicators in commercial dehydrated fruits. **Food Chemistry**, v. 150, n. 1, p. 41-48, 2014.
- MERCALI, G. D.; SCHWARTZ, S.; MARCZAK, L. D. F.; TESSARO, I. C.; SASTRY, S. Effect of the electric field frequency on ascorbic acid degradation during thermal treatment by ohmic heating. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 62, n. 25, p. 5865-5870, 2014.

- MICHALSKA, A.; LYSIAK, G. Bioactive Compounds of Blueberries: Post-Harvest Factors Influencing the Nutritional Value of Products. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 16, n. 8, p. 18642-18663, 2015.
- MUJUMDAR, S.A. **Handbook of Industrial Drying**. 4th ed. New York: CRC Press, 2015.
- MURALIDHARA, H. S.; ENSMINGER, D. Acoustic Drying of Green Rice. **Drying Technology**, v. 4, n. 1, p. 137–143, 1986.
- MUZAFFAR, S.; AHMAD, M.; WANI, S. M.; GANI, A.; BABA, W. N.; SHAH, U.; KHAN, A. A.; MASOODI, F. A.; GANI, A.; WANI, T. A. Ultrasound treatment: effect on physicochemical, microbial and antioxidant properties of cherry (*Prunus avium*). **Journal of food science and technology**, v. 53, n. 6, p. 2752-2759, 2016.
- MUSIELAK, G.; MIERZWA, D.; KROEHNKE, J. Food drying enhancement by ultrasound- a review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 56, p. 126-141, 2016.
- NGUYEN, T. T.; SHAW, P. N.; PARAT, M. O.; HEWAVITHARANA, A. K. Anticancer activity of *Carica papaya*: a review. **Molecular Nutrition & Food Research**, v. 57, p. 1613–4133, 2013.
- NOWACKA, M.; WIKTOR, A.; SLEDZ, M.; JUREK, N.; WITROWA-RAJCHERT, M. D. Drying of ultrasound pretreated apple and its selected physical properties. **J. Food Eng.**, v. 113, p. 427-433, 2012.
- NUNES, J. C.; LAGO, M. G.; CASTELO-BRANCO, V. N.; OLIVEIRA, F. R.; TORRES, A. G.; PERRONE, D.; MONTEIRO, M. Effect of drying method on volatile compounds, phenolic profile and antioxidant capacity of guava powders. **Food chemistry**, v. 197, p. 881-890, 2016.
- OLIVEIRA, F. I. P. Influência do pré- tratamento ultrassom e desidratação osmótica na secagem, cor, textura e enzimas do mamão formosa. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Universidade Federal do Ceará, Ceará, 2014.
- ORDÓÑEZ, J. A. **Tecnologia de alimentos: componentes dos alimentos e processos**. v.1, Porto Alegre: Artmed, 2005.
- ORIKASA, T.; KOIDE, S.; OKAMOTO, S.; IMAIZUMI, T.; MURAMATSU, Y.; TAKEDA, J-I.; et al. Impacts of hot air and vacuum drying on the quality attributes of kiwifruit slices. **J Food Eng**, v. 125, p. 51–58, 2014.

- ORTIZ-GARCÍA-CARRASCO, B.; YAÑEZ-MOTA, E.; PACHECO-AGUIRRE, F. M.; RUIZ-ESPINOSA, H.; GARCÍA-ALVARADO, M. A.; CORTÉS-ZAVALA, O.; RUIZ-LÓPEZ, I. I. Drying of shrinkable food products: Appraisal of deformation behaviour and moisture diffusivity estimation under isotropic shrinkage. **Journal of Food Engineering**, v. 144, p. 138-147, 2015.
- O'DONNELL, C. P.; TIWARI, B. K.; BOURKE, P.; CULLEN, P. J. Effect of ultrasonic processing on food enzymes of industrial importance. **Trends in Food Science & Technology**, v. 21, p. 358-367, 2010.
- PANDEY, S.; PETER, J.; CABOT, P.; NICHOLAS, S.; AMITHA, K. HEWAVITHARANA. Anti-inflammatory and immunomodulatory properties of *Carica papaya*. **Journal of Immunotoxicology**, v. 13, n. 4, p. 590-602, 2016.
- PARK, K. J.; BIN, A.; BROD, F.P.R. Obtenção das isotermas de sorção e modelagem matemática para a pêra bartlett (*Pyrus sp.*) com e sem desidratação osmótica. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 21, n. 1, p. 73-77, 2001.
- PARK, K. J.; YADO, M. K. M.; BROD, F. P. R. Estudo de secagem de pêra bartlett (*Pyrus sp.*) em fatias. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 21, n. 3, p. 288-292, 2001.
- PATHARE, P. B.; OPARA, U. L.; AL-SAID, F. A. Colour measurement and analysis in fresh and processed foods: A review. **Food and Bioprocess Technology**, v. 6, n. 1, p. 36–60, 2013.
- PÊ, P. R.; GOUVEIA, J. P. G.; SILVA, F. L. H.; SILVA, D. R. S.; SILVA, G. S.; CASTRO, D. S. Avaliação das características físico-químicas do mamão 'Formosa' in natura, osmodesidratado e seco. **Tecnologia & Ciência Agropecuária**, v. 9, p. 17, 2015.
- PERERA, C.O. Selected quality attributes of dried foods. **Drying Technol.**, v. 23, n. 4, p. 717–730, 2005.
- PIYASENA, P.; MOHAREB, E.; MCKELLAR, R. C. Inactivation of microbes using ultrasound: a review. **International journal of food microbiology**, v. 87, n. 3, p. 207-216, 2003.
- PORCIUNCULA, B. D. A.; SEGURA, L. A.; LAURINDO, J. B. Processes for controlling the structure and texture of dehydrated banana. **Dry. Technol.**, v. 34, p. 167-176, 2016.

- PROCTOR, F. J.; CAYGILL, J. C. Ethylene in commercial postharvest handling of tropical fruit. In: PROCTOR, F. J. ed. **Ethylene and plant development**. London: Butterworth Scientific, p. 317-322, 1985.
- REIS, R. C.; VIANA, E. S.; JESUS, J. L.; DANTAS, J. L. L.; LUCENA, R. S. . Caracterização físico-química de frutos de novos híbridos e linhagens de mamoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, p. 210-217, 2015.
- REIS, F. R.; MASSON, M. L.; WASZCZYNSKYJ, N. Efeito da secagem convectiva e a vácuo sobre parâmetros de qualidade de fatias de berinjela. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 8, n. 2, p. 163-169, 2006.
- RIBEIRO, T. I.; NUNES, C. A.; NUNES, J. M. Avaliação de ciclo de vida da maçã de refugo. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 38, n. 3, p. 372-382, 2015.
- ROBERTSON, G. L. **Food Packaging: Principles and Practice**, 3rd ed. CRC Press: Boca Raton, USA, 2012. 733p.
- RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. **A guide to carotenoids analysis in foods**. Washington: Ilsi, 1999. 119p.
- RODRIGUEZ-AMAYA, D. B.; KIMURA, M.; AMAYA-FARFAN. **Fontes Brasileiras de Carotenóides: Tabela Brasileira de Composição de Carotenóides em Alimentos**, Brasília: MMA/SBF, Brasil, 2008.
- RODRÍGUEZ, O.; SANTACATALINA, J. V.; SIMAL, S.; GARCIA-PEREZ, J. V.; FEMENIA, A.; ROSSELLÓ, C. Influence of power ultrasound application on drying kinetics of apple and its antioxidant and microstructural properties. **Journal of Food Engineering**, v. 129, p. 21-29, 2014.
- ROJSANGA, P.; SITHISARN, P.; BURANAPHALIN, S. Validated UV spectrophotometric method for quantitative analysis of carotenoid content and antioxidant activities of Pluk Mai Lie papaya fruits. **J. Pharm. Sci.**, v. 41, n. 3, p. 41-47, 2014.
- ROMERO, J. T.; GABAS, A. L.; YAMASHITA, F.; TELIS, V. R. N.; MENEGALLI, F. C. **Secagem de produtos alimentícios**, São José do Rio Preto: UNESP, 1997. 58p.
- RUGGIERO, C.; MARIN, S. L. D.; DURIGAN, J. F. Mamão, uma história de sucesso. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 33, p. 76-82, 2011.
- SABAREZ, H. T.; GALLEGUO-JUAREZ, J. A.; RIERA, E. Ultrasonic-assisted convective drying of apple slices. **Drying Technology**, v. 30, p. 989–997, 2012.

- SAGAR, V. R.; SURESH-KUMAR, P. Recent advances in drying and dehydration of fruits and vegetables: A review. **Journal of Food Science and Technology**, v. 47, p. 15–26, 2010.
- SAHARI, M. A.; HAMIDI-ESFEHANI, Z.; SAMADLUI, H. Optimization of vacuum drying characteristics of date powder. **Drying Technology**, v. 26, p. 793-797, 2008.
- SANTANA-NETA, L. G.; MIRANDA, M. D. P. S.; NEGREIROS, C. V. B.; DA SILVA, Í. R. C. Tecnologias patenteadas para produção e frutas tropicais desidratadas. **Gestão, Inovação e Tecnologias**, v. 3, n. 5, p. 348-361, 2013.
- SARAN, P. L.; SOLANKI, I. S.; CHOUDHARY, R. **Papaya: Biology, Cultivation, Production and Uses**. UK: CRC press, Taylor and Francis Group, 2016. 274p.
- SCAMAN, C. H.; DURANCE, T. D.; DRUMMOND, L.; SUN, D. W. Combined microwave vacuum drying. In: **Emerging Technologies for Food Processing (Second Edition)**. Academic Press/Elsevier, San Diego, California, USA. p. 427-445, 2014.
- SENICA, M.; VEBERIC, R.; GRABNAR, J. J.; STAMPAR, F.; JAKOPIC, J. Selected chemical compounds in firm and mellow persimmon fruit before and after the drying process. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 96, n. 9, p. 3140–3147, 2015.
- SI, X.; CHEN, Q.; BI, J.; WU, X.; YI, J.; ZHOU, L.; LI, Z. Comparison of different drying methods on the physical properties, bioactive compounds and antioxidant activity of raspberry powders. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 96, n. 6, p. 2055–2062, 2015.
- SILVA, G. D.; BARROS, Z. M. P.; MEDEIROS, R. A. B.; CARVALHO, C. B. O.; BRANDAO, S. C. R.; AZOUBEL, P.M. Pretreatments for melon drying implementing ultrasound and vacuum. **LWT-Food Science and Technology**, v. 74, p. 114-119, 2016.
- SIUCIŃSKA, K.; KONOPACKA, D. Application of ultrasound to modify and improve dried fruit and vegetable tissue: a review. **Drying Technology**, v. 32, n. 11, p. 1360–1368, 2014.
- SHAMAEI, S.; EMAM-DJOMEH, M.; MOINI, S. Ultrasound-assisted osmotic dehydration of cranberries: effect of finish drying methods and ultrasonic frequency on textural properties. **Journal of Texture Studies**, v. 33, p. 133-141, 2012.

SOUZA, L. M; FERREIRA, K. S.; CHAVES, J. B. P.; TEIXEIRA, S. L. L-ascorbic acid, carotene and lycopene content in papaya fruits (*Carica papaya*) with or without physiology skin freckles. **Scientia Agricola**, v. 65, p. 246-250, 2008.

STEMPNIAK, R. A. A ciência e a tecnologia do vácuo- Resumo histórico e algumas aplicações. Sociedade Brasileira de Vácuo FACAP/CDT – Faculdade de Ciências Aplicadas de São José dos Campos, SP, **Sociedade Brasileira de Vácuo**, 2002.

SUSLICK, K. S. The chemical effects of ultra-sound. **Scientific American**, v. 2, p. 80-86, 1989.

SZADZIŃSKA, J.; LECHTAŃSKA, J.; KOWALSKI, S. J. **Microwave and Ultrasonic Assisted Convective Drying of Green Pepper: Drying Kinetics and Quality**. In Proceedings of the 5th European Drying Conference (Eurodrying'2015)Budapest, Hungary, p. 391–398, 2015.

Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (TBCA). Universidade de São Paulo (USP). Food Research Center (FoRC). Versão 6.0. São Paulo, 2017. Disponível em: <http://www.fcf.usp.br/tbca/> Acesso em: 28 dez. 2017.

TAHERI-GARAVAND, A.; RAFIEE, S.; KEYHANI, A. Study on Effective moisture diffusivity, activation energy and mathematical modeling of thin layer drying kinetics of bell pepper. **Australian Journal of Crop Science**, v. 5, n. 2, p. 128-131, 2011.

TARLETON, E. S. The role of field-assisted techniques in solid/liquid separation. **Filtration Separation**, v. 3, p. 246-253, 1992.

TARLETON, E. S.; WAKEMAN, R. J. Ultrasonically assisted separation process. In: M. J. W. Povey e T. J. Mason (eds), **Ultrasonics in food processing**, Glasgow: Blackie Academic and Professional, 1998.

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

TOMA, M.; VINATORU, M.; PANIWNKY, L.; MASON, T. J. Investigation of the effects of ultrasound on vegetal tissues during solvent extraction. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 8, n. 2, p. 137-142, 2001.

TOOR, R. K.; SAVAGE, G. P. Effect of semi-drying on the antioxidant components of tomatoes. **Food Chemistry**, v. 94, p. 90-97, 2006.

- TORLEY, P. J.; BHANDARI, B. R. Ultrasound in food processing and preservation. **Food Science and Technology**, v. 167, p. 713-732, 2004.
- TROLLER, J. A. Influence of water activity on microorganisms in foods. **Food Technol**, v. 29, p. 76-82, 1980.
- TU, Y. J.; NJUS, D.; SCHLEGEL, H. B. A theoretical study of ascorbic acid oxidation and $\text{HOO}^{\cdot}/\text{O}_2^{\cdot-}$ radical scavenging. **Organic & Biomolecular Chemistry**, v. 15, n. 20, p. 4417-4431, 2017.
- UDOMKUN, P.; NAGLE, M.; MAHAYOTHEE, B.; NOHR, D.; KOZA, A.; MULLER, J. Influence of air drying properties on non-enzymatic browning, major bio-active compounds and antioxidant capacity of osmotically pretreated papaya. **LWT-Food Science and Technology**, v. 60, p. 914-922, 2015.
- UDOMKUN, P.; NAGLE, M.; ARGYROPOULOS, D.; MAHAYOTHEE B, LATIF S, MÜLLER J. Compositional and functional dynamics of dried papaya as affected by storage time and packaging material. **Food Chemistry**, v. 196, p. 712-719, 2016a.
- UDOMKUN, P.; NAGLE, M.; ARGYROPOULOS, D.; MAHAYOTHEE, B.; MULLER, J. Multi-sensor approach to improve optical monitoring of papaya shrinkage during drying. **J. Food Eng.**, v. 189, p. 82–89, 2016b.
- UDOMKUN, P.; NAGLE, M.; ARGYROPOULOS, D.; WIREDU, A. N.; MAHAYOTHEE, B.; MÜLLER, J. Computer vision coupled with laser backscattering for non-destructive colour evaluation of papaya during drying. **Journal of Food Measurement and Characterization**, v. 11, n. 4, p. 2142-2150, 2017.
- VASCONCELOS, E. A. F.; MEDEIROS, M. G. F.; RAFFIN, F. N.; MOURA, T. F. A. L. Influência da temperatura de secagem e da concentração de Aerosil® 200 nas características dos extratos secos por aspersão da *Schinus terebinthifolius* Raddi (Anacardiaceae). **Rev Bras Farmacogn**, v. 15, p. 243-249, 2005.
- VEGA-GÁLVEZ, A.; AH-HEN, K.; CHACANA, M.; VERGARA, J.; MARTINEZ-MONZO, J.; GARCIA-SEGOVIA, P.; LE-MUS-MONDACA, R.; DI SCALA, K. Effect of temperature and air velocity on drying kinetics, antioxidant capacity, total phenolic content, colour, texture and microstructure of apple (var. Granny Smith) slices. **Food Chemistry**, v. 132, n. 1, p. 51-59, 2012.

- VEGA-GÁLVEZ, A.; DI SCALA K.; RODRÍGUEZ K.; LEMUS-MONDACA R.; MIRANDA, M.; LÓPEZ, J. Effects of air-drying temperature on physico-chemical properties, antioxidant capacity and total phenolic content of red pepper (*Capsicum annuum*, L. var. Hungarian), **Food Chemistry**, v. 117, p. 647-653, 2009.
- VIANA, E. de S.; REIS, R. C.; DA SILVA, S. C. S.; Das NEVES, T. T.; De JESUS J. L. Avaliação físico-química e sensorial de frutos de genótipos melhorados de mamoeiro. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 45, n. 3, p. 297-303, 2015.
- VILLAMIEL, M.; GARCIA-PEREZ, J. V.; MONTILLA, A.; CARCEL, J. A.; BENEDITO, J. **Ultrasound in Food Processing: Recent Advances**. John Wiley & Sons. 2017. 544p
- WAN, J.; MAWSON, R.; ASHOKKUMAR, M.; RONACHER, K.; COVENTRY, M. J.; ROGINSKI, H.; VERSTEEG, C. Emerging processing technologies for functional foods. **Australian Journal of Dairy Technology**, v. 60, p. 167-169, 2005.
- WALKER, R. P.; FAMIANI, F. Organic acids in fruits: metabolism, functions and contents. **Hortic Rev**, v. 45, 371-430, 2017.
- WITROWA-RAJCHERT, D.; WIKTOR, A.; ŚLEDŹ, M.; NOWACKA, M. Selected emerging technologies to enhance the drying process: a review. **Drying Technology**, v. 32, n. 11, p. 1386–1396, 2014.
- WOJDYLO, A.; FIGIEL, A.; LEGUA, P.; LECH, K.; CARBONELL-BARRACHINA, Á. A.; HERNÁNDEZ, F. Chemical composition, antioxidant capacity, and sensory quality of dried jujube fruits as affected by cultivar and drying method. **Food chemistry**, v. 207, p. 170-179, 2016.
- YI, J.; ZHOU, L.; BI, J.; CHEN, Q.; LIU, X.; WU, X. Influence of pre-drying treatments on physicochemical and organoleptic properties of explosion puff dried jackfruit chips. **Journal of food science and technology**, v. 53, n. 2, p. 1120-1129, 2016.
- YI, J. Y.; LYU, J.; BI, J. F.; ZHOU, L. Y.; ZHOU, M. Hot air drying and freeze drying pre-treatments coupled to explosion puffing drying in terms of quality attributes of mango, pitaya, and papaya fruit chips. **Journal of Food Processing and Preservation**. 2017;00:e13300.

ZHANG, M.; CHEN, H.; MUJUMDAR, A. S.; TANG, J.; MIAO, S.; WANG, Y. Recent developments in high-quality drying of vegetables, fruits & aquatic products. **Critical reviews in food science and nutrition**, v. 57, n. 6, p. 1239-1255, 2015.

ZHANG, M.; JIANG, H.; LIM, R. Recent developments in microwave-assisted drying of vegetables, fruits, and aquatic products-drying kinetics and quality considerations. **Dry Technology**, v. 28, n. 11, p. 1307-1316, 2010.

ZHANG, M.; LI, C.; DING, X.; CAO, C. W. Optimization for preservation of selenium in sweet pepper under low-vacuum dehydration. **Drying Technology**, v. 21, n. 3, p. 569-579, 2003.

ZHANG, M.; TANG, J.; MUJUMDAR, A. S.; WANG, S. Trends in microwave-related drying of fruits and vegetables. **Trends in Food Science & Technology**, v. 17, p. 524-534, 2006.

ZIELINSKA, M.; MARKOWSKI, M. The influence of microwave-assisted drying techniques on the rehydration behavior of blueberries (*Vaccinium corymbosum* L.). **Food Chem.** v. 196, p. 1188-1196, 2016.

ZOTARELLI, M. F.; PORCIUNCULA, B. D. A.; LAURINDO, J. B. A convective multi-flash drying process for producing dehydrated crispy fruits. **Journal of Food Engineering**, v. 108, n. 4, p. 523-531, 2012.

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

APÊNDICE

Artigo original enviado ao periódico Food Chemistry (Qualis: A1)

The influence of ultrasound and vacuum assisted drying on papaya quality parameters

Edvaldo Vieira da Silva Júnior^a, Lívia Lins de Melo^b, Rafael Augusto Batista de Medeiros^c, Patrícia Moreira Azoubel^{a,*}

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

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

^cUniversidade Federal de Pernambuco, Departamento de Antibióticos, Av. Prof. Arthur de Sá, s/n, Cidade Universitária, Recife-PE, 50740-521, Brazil.

ABSTRACT. The aim of this study was to evaluate the combination of ultrasound and vacuum on papaya drying. Four techniques were used: ultrasound and vacuum assisted drying (USVD), vacuum drying (VD), ultrasound assisted drying (USD) and control drying (CD). Samples were evaluated in terms of color, texture, total carotenoid

* Corresponding author: Tel.: +55-81-2126-8583; fax: +55-81- 2126-7298.

E-mail address: pazoubel@gmail.com

and ascorbic acid contents. USVD papaya had lower processing time. The samples that presented the lowest loss of ascorbic acid were those dried with the aid of the vacuum, while USD samples showed lower carotenoid loss after processing. All dried samples had a tendency to reduce luminosity and yellow color and to increase red tone. In relation to texture, CD sample had the highest hardness value, while USVD dried sample presented the lowest value. The combination of vacuum and ultrasound influences the acceleration of product drying and minimizes the loss of the bioactive compounds studied and products' color.

Keywords: Color, drying, carotenoids, texture, ultrasound, vacuum.

1. Introduction

Papaya is a popular fruit because of its taste, color and high nutritional value (Nuns, Emond & Brecht, 2006). In addition to the consumption of the fresh fruit, it is also being widely used as a valuable raw material in the processing industry in formulating more elaborated foods.

Despite its high demand on the market, papaya is a fruit that has a very fast ripening cycle and high perishability, which makes it difficult to preserve and commercialize. An old cheap and widely used technology by the food industry is dehydration. It increases the durability of the fruit, guarantees its offer in the national and international markets during its harvest and off-season and adds value to the product (Machado, Souza & Novaes, 2015).

There are many current methods for food dehydration, but convective drying is still the most used (Cornejo, Nogueira & Wilberg, 2003). Although it is easy to apply, convective drying can present some disadvantages such as shrinkage and deformations

in the solid matrix format, pigment oxidation, loss of vitamins and minerals, reduction of sensory and nutritional values, low rehydration capacity of the final product, among others (Mujumdar, 2015). Thus, an alternative to conventional drying process that can reduce costs and improve dried product quality is very important for the food industry.

Vacuum drying is an alternative dehydration method suitable for heat sensitive materials, such as fruits (Chen, Guo & Wu, 2016). It has the advantage of obtaining lower drying time, using low temperature and less energy, and reducing the oxidation of food compounds by the removal of oxygen during drying (Aghbashlo, Mobli, Rafiee & Madadlou, 2013). Therefore, the sensory and nutritional qualities of food can be maintained. Another drying technology is ultrasonic assisted dehydration, where the ultrasonic waves are used to create microscopic channels that can facilitate the removal of water. Furthermore, the ultrasound produces a cavity that can aid in the removal of the tightly bound water presented in the material (Fuente-Blanco, Sarabia, Acosta-Aparicio, Blanco-Blanco & Gallego-Juarez, 2006; Tarleton, 1992; Tarleton & Wakeman, 1998).

The association of techniques to optimize drying process is not new. However, there are no studies on the use of ultrasonic assisted vacuum drying for fruits. The literature reports only the studies with salmon (Başlar, Kiliçli, & Yalinkiliç, 2015), with beef and chicken (Başlar, Kiliçli, Toker, Sağdıç & Arici, 2014), with carrot (Chen et al., 2016) and with green beans (Tekin, Başlar, Karasu & Kilicli, 2017). This technique was initially reported by Başlar et al. (2014) and is based on ultrasonic treatment combined with vacuum drying to reduce processing time. In this technique, vacuum drying creates a pressure in the environment lower than the atmospheric one, and thus the water

evaporates at a lower temperature. In addition, the use of vacuum also increases the drying rate by accelerating the transfer of water. Ultrasonic treatment, which is the other component of the technique, simultaneously assists heat transfer and accelerates the transfer of water from the interior to the surface of the material using mechanical waves. Thus, this new technique is then composed of vacuum drying, which reduces environmental pressure and promotes a higher drying rate, and an ultrasonic process that accelerates heat and mass transfer (Başlar et al., 2015).

Therefore, studies are needed to ascertain the efficacy of this new drying method, by combining ultrasound and vacuum, applied to fruits. In addition, it is necessary to verify if this method can influence in the conservation of some physical-chemical and nutritional qualities of dehydrated fruits in relation to the conventional methods of dehydration.

2. Material and methods

2.1 Raw material

Papayas (*Carica papaya*) of Formosa variety were obtained at a local market (Recife, PE, Brazil). The fruits were washed, hand peeled and the seeds were removed. The pulp was cut into slices (5.0 x 3.0 cm) with 0.4 cm of thickness and submitted to processing. The initial moisture content was determined according to AOAC (2002).

2.2 Drying

Drying was performed at 60°C using four techniques: ultrasound assisted vacuum drying (USVD), vacuum drying (VD), ultrasound assisted drying (USD) and control (without ultrasound and vacuum) drying (CD).

The experimental set consisted of an ultrasonic bath (Unique, USC-2850A model, Brazil) and a vacuum pump (Marconi, MA2057 model, Brazil). For all drying methods, the same experimental set was used and samples were placed in a flask that was connected to a vacuum pump, as described by Başlar et al. (2015). For VD, only the vacuum pump was used, for USD only the ultrasound was used and for USVD both devices were used. However, for the control group, both devices (vacuum and ultrasound) were switched off. All samples were weighed every 15 min until the equilibrium was reached (constant weight).

The water temperature of the ultrasonic bath was controlled and fluctuations of this temperature were avoided by the water circulation.

2.3 Quality analysis

Fresh and processed papaya samples were evaluated in terms of color, texture, rehydration, total carotenoids and ascorbic acid contents. All analysis was carried out in triplicate.

The color of the samples was determined using a calibrated portable colorimeter (Minolta, CR400 model, Japan) and reported using color parameters: L* (whiteness or brightness), a* (redness/greenness) and b* (yellowness/blueness).

Texture property of the fresh and dried samples was measured as puncture force using a texturometer (Brookfield, CT3 model, USA) at ambient temperature (25 °C).

The total carotenoid content was determined based in the methodology of Rodriguez-Amaya (1999). The ascorbic acid content was determined according to AOAC (2002).

The rehydration potential was evaluated by immersing 5 g of dried samples in water at 25 °C and 80 °C. Samples were drained and weighed every 20 min for those immersed at 25 °C and every 2 min for those at 80 °C. The rehydration ratio (ratio of weight of the rehydrated sample to the dry weight of the sample) was calculated, as described by Chen et al. (2016).

4. Results and discussion

4.1 Drying

Changes in papaya moisture content with drying time for the four techniques tested are shown in Figure 1. Some differences in process rates were observed according to the methodology used. However, in each case there is a decreasing drying curve divided into two phases: a near constant first phase of rapid water loss, and a second phase characterized by a slope in the curve, which shows a reduction in the drying rate to the end of processing.

When drying was performed with the ultrasound and/or vacuum, higher processing rates were verified, that is, when comparing these samples with those of the control drying, it was observed that the latter reached the same moisture content of the previous ones in a longer process time (Figure 1). The changes in diffusivity had great significance during drying. For example, to obtain papaya with a moisture content of 0.19 kg H₂O/kg dry mass (16 %, wet basis), a value below the maximum allowed by the Brazilian legislation for dried fruits, it was observed that the samples submitted to ultrasound assisted vacuum drying (USVD) resulted in the shorter processing time.

The papaya dried without the use of ultrasound and/or vacuum (CD) had the longer processing time, being necessary about 450 minutes for reaching the dynamic

equilibrium condition. Villamiel, Garcia-Perez, Montilla, Carcel and Benedito (2017) reported that in conventional drying, plant tissue continues to present turgid cells with a defined and organized cell wall, which makes water diffusivity difficult. For the papaya samples submitted to ultrasound assisted drying, vacuum drying and ultrasound assisted vacuum drying, the time required reaching the dynamic equilibrium condition was 360, 300 and 270 minutes, respectively. Thus, the drying methodology that proved to be the most effective for the reduction of process duration was the one that used vacuum coupled with ultrasound. These results are attributed to the possible formation of microscopic channels, caused by the application of ultrasound, arising from cavitation phenomena and the sponge effect that facilitates the removal of moisture and, combined to vacuum, which increases the drying rate by acceleration of water transfer (Başlar et al., 2014).

This new drying technology using vacuum coupled with ultrasound was tested by Tekin et al. (2017), which obtained a higher green beans drying rate as compared to vacuum drying alone under the same processing conditions. In addition, when tested with beef and chicken meat and salmon and trout fillets, it was also achieved positive results, in which the ultrasound with the vacuum produced a higher drying rate compared to the vacuum and oven drying (Başlar et al., 2014; Başlar et al., 2015). Chen et al. (2016) reported a shorter drying period for carrots with the use of ultrasound and vacuum when drying at 65 ° C, which was approximately 1.8 times faster than drying techniques under vacuum.

4.2 Quality analysis

Papaya samples were dried up to a moisture content of 0.19 kg H₂O/kg dry mass (16 %, wet basis) and then submitted to some quality analysis.

4.2.1 Ascorbic acid

Papaya is known to be a good source of vitamin C (ascorbic acid). According to the classification of ascorbic acid content of fruits proposed by Ramful, Tarnus, Aruoma, Bourdon and Bahorun (2011), papaya has a medium to high ascorbic acid content, since it varied between 35.4 and 187 mg per 100 g fresh weight, values higher than that observed in other fruits tropical fruits such as passion fruit, banana and pineapple (Bautisa-Baños, Sivakumar, Bello-Pérez, Villanueva-Arce & Hernández-López, 2013). However, there are a number of factors that can influence ascorbic acid content in papaya, like type of cultivation, the soil, the climate and the maturity level of the fruits (Kelebek et al., 2015).

In the present study, samples of fresh papaya presented ascorbic acid values of approximately 71.30 g/100 g wet sample (593.19 g/100 g dry sample), what is consistent with the literature (Kelebek, Selli, Gubbuk, & Gunes, 2015; Kurozawa, Terng, Hubinger & Park, 2014). Table 1 shows the values of the ascorbic acid content of the fresh and processed samples. There is a considerable reduction on its content with processing. According to Mercali, Schwartz, Marczak, Tessaro and Sastry (2014), the degradation of ascorbic acid is strongly influenced by the characteristics of the drying process, much of it being lost by the heat used, by the loss of water from the food, as ascorbic acid is water soluble, and by the presence of oxygen during the drying process. This degradation was confirmed by the large loss after drying, since the ascorbic acid content of all samples differed significantly from the content obtained for the unprocessed (fresh) sample.

The samples that presented lower losses were those dried with the use of vacuum, not differing significantly among them. The vacuum employed prevented the contact of the ascorbic acid from the sample with the free oxygen, thus preventing its oxidation (Tu, Njus & Schlegel, 2017). Dried samples with vacuum and ultrasound assisted vacuum had a loss of 42.17 % and 41.31%, respectively. Chen et al. (2016) reported that vacuum dried carrots lost 64.5% of its ascorbic acid content, while ultrasound assisted vacuum dried carrots lost approximately 51% of their ascorbic acid content, which demonstrates that this last methodology was even more effective in the retention of ascorbic acid in the case of carrots.

There was a great loss of ascorbic acid in the ultrasound assisted drying (68.15%), followed by the control group, the latter being the least effective in vitamin C retention, with a loss of 72.81%. In both cases samples had contact with air (oxygen). However, ultrasound assisted drying was faster, thus reducing the time of contact of the sample with the circulating oxygen. The thermal damage suffered by a product during drying is also directly proportional to the process time (Kurozawa et al., 2014). Therefore, the control group, which required more time for its complete drying, obtained a greater degradation of this nutrient.

4.2.2 Total carotenoids

Papaya of the Formosa variety has a very pronounced reddish orange color, characteristic of the fruit, indicating the presence of carotenoids (Rojsanga, Sithisarn & Buranaphalin, 2014). Lycopene, β -cryptoxanthin and β -carotene were identified as the main carotenoids in papaya, with lycopene being the most prevalent (Udomkun, Nagle, Mahayothee, Nohr, Koza & Muller, 2015). In our study, the fresh fruit showed a quantity

of total carotenoids of 3.24 mg/100 g of dry matter (Table 1). This result was similar to that found by Abrol, Vaidya, Sharma and Sharma, (2014), Lyu, Yi, Bi, Gao, Zhou and Liu (2017) and Yi, Lyu, Bi, Zhou and Zhou (2017). Some differences can be attributed to agricultural practices, sun exposure, production area, maturation stage, post-harvest handling and methodology used for analysis.

When dried, the samples showed reduction of their carotenoid content (Table 1). This was due to exposure to high temperature and processing time, as these pigments are highly unstable and susceptible to degradation or isomerization (Goula & Adamopoulos, 2010). The treatment that resulted in the higher total carotenoid content reduction was the control, which had a loss of 41%. This result can be attributed to the longer processing time of these samples. Kumar, Madhumathi, C., Sadarunnisa, S. and Latha (2017), also using a temperature of 60°C to produce dried papaya, obtained similar total carotenoid contents (1.59 mg/100 g), while Yi et al. (2017) reported a greater loss of carotenoids - about 63% - when using conventional drying for papaya chip production.

The amount of carotenoids extracted from the vacuum dried samples was greater than the amount extracted from the control samples. With vacuum drying, the reduction in the total carotenoids content was 27.60%. There was a higher retention of these pigments probably due to their limited amount of oxygen and their short drying time compared to the drying of the control group. Chen et al. (2016) obtained approximately 33 % loss of carotenoids for vacuum dried carrots at 65 °C.

The use of ultrasound for the extraction of certain bioactive compounds is already proven by some studies, since it is an intensification methodology, making it

possible to obtain high extraction rates in shorter times (Shirsath, Sonawane & Gogate, 2012; Ghitescu, Volf, Carausu, Bühlmann, Gilca & Popa, 2015; Silva, Garcia & Franciscato, 2016). High frequency ultrasonic waves cause cycles of expansion and contraction in the material to be dewatered and which can induce the production of cavitation in this material. This cavitation generated by ultrasound is known to produce various effects on the plant matrix, such as increased circulation of liquids inside the material and the generation of turbulence. This makes the carotenoid analysis facilitated by the penetration of the solvent into the cell walls of the plant matrix, allowing the intracellular content to be efficiently released, and the solvent agitation will increase the area of contact between the solvent and the bioactive compounds, allowing a higher penetration of this solvent in the sample matrix, as observed by Corbin et al. (2015) and Silva, Barros, Medeiros, Carvalho, Brandão and Azoubel (2016). In addition, such expansion and contraction cycles cause rupture in the cell wall of the plant matrix, favoring solvent penetration and mass transfer (Toma et al., 2001). Thus, ultrasound assisted dried and ultrasonic assisted vacuum dried samples showed lower percentages of carotenoid loss after drying (9.70 % and 11.02 %, respectively).

Other studies using ultrasound proved their efficacy on carotenoid retention. Azoubel, Amorim, Oliveira, Maciel and Rodrigues (2015), studying the osmotic dehydration of pretreated papaya submitted to 20 minutes of ultrasound obtained a loss of only 35.1% on the fruit total carotenoids. Chen et al. (2016), using ultrasound assisted vacuum drying, observed a total carotenoid loss of approximately 21 % for carrots. Silva et al. (2016), studying the efficiency of the osmotic dehydration of melon using ultrasonic pretreatment and vacuum, also observed smaller losses of carotenoids when the fruits

were submitted to pretreatment. The authors reported that the association of ultrasound with vacuum allowed a greater conservation of carotenoids possibly by increasing their extraction by the use of these techniques, which act by reducing the available oxygen for the formation of free radicals, since the mechanism of action of carotenoids is to chelate the singlet oxygen and its degradation kinetics is favored by the presence of oxygen and high elevated temperature.

4.2.3 Color

The color results for fresh and dehydrated papaya are presented in Table 1. The dried products differed significantly from the fresh sample in relation to the parameters of luminosity (L^*), red color (a^*) and yellow color (b^*). Silva et al. (2016) also reported that drying is associated with changes in values referring to color parameters (a^* , b^* and L^*) and, according to Ahmed, Shivhare and Kaur (2002), any changes observed in the values of a^* and b^* will reflect changes in L^* values. In this case, the increase in red color (a^*) and decrease in yellow color (b^*) caused a darkening of the samples that had been dried and, thus, a reduction of the values of the parameter L^* .

The fresh samples showed significantly higher brightness than the dried samples. Significant reductions in the L^* parameter were also found in the convective drying of papaya at 80 °C by Udomkun et al. (2017). The integrity of the pigments in the food - not yet degraded by the high temperatures - and the large amount of water presented in the fresh samples, provides turgidity to the cells (thus reflect more light) and solubilizes and disperses the pigments which provide color, making it lighter (Perera, 2005; Udomkun, Nagle, Argyropoulos, Mahayothee, & Muller, 2016b). Ahmed et al. (2002) reported that the concentration of compounds and reduction of water

content is also associated with the formation of dark compounds from browning reactions.

Drying changes the characteristics of foods, so their color, reflectance and pigments such as chlorophyll and carotenoids undergo chemical modifications because of heat and exposure to air (Lozano, 2006). The reduced brightness value of the dried samples may be related to many darkening factors of dehydrated materials. The enzymatic oxidation due to the activity of enzymatic browning, the Maillard reaction, caramelization, vitamin C oxidation and carotenoid degradation are usually considered as the main factors contributing to color changes during thermal processing (Perera, 2005; Zou, Teng, Huang, Dai & Wei., 2013). However, in the present study, the water loss and concentration of the solids and pigments from food may have drastically affected the luminosity of the papaya, which, due to the shrinkage of the sample, increased light absorption and, consequently, decreased their clarity. This fact was also observed by Udomkun et al. (2016b) with dried papaya samples, where there was a decrease in reflected and diffused light due to the reduction of moisture during drying. In addition, contraction and structural deformation during drying may have diverted the photons or absorbed more brightness, thereby reducing the L^* value.

Samples that were dried with the use of vacuum (ie, vacuum or ultrasound assisted vacuum dried) presented a lighter color (L^* significantly larger) than the non-vacuum dried ones (control and ultrasound assisted dried). Even being a product with low water activity and acidic pH, by concentration of organic acids, there is still the action of the darkening enzymes (mainly polyphenol oxidase, in the case of papayas) (Udomkun et al., 2015). The vacuum apparently helped to prevent the action of these

enzymes by the lack of oxygen required for the enzymatic darkening reactions to occur. The lack of oxygen provided by the application of vacuum did not allow the degradation of ascorbic acid to hydroxyfurfural and hydroxymethylfufural, which are the substances responsible for the darkening of foods rich in vitamin C (Levi, Gacel & Juven, 1985; Eskin, Ho & Shahidi, 2013). In addition, the reduction in the drying time caused by the methodologies that used vacuum contributed to the color preservation, since the control samples and the one dried using ultrasound had a longer drying time, which contributed to their darkening.

Corroborating with the presented data, Udomkun, Nagle, Argyropoulos, Mahayothee, Latif and Muller (2016a), studying dried papaya storage in different packages, verified that the oxygen shortage avoids the enzymatic darkening provided by polyphenol oxidase presented in dried papaya. Silva et al. (2016) also obtained darker samples when they were subjected to vacuum compared to untreated or ultrasound treated. In a similar study using ultrasound assisted vacuum drying, Tekin et al. (2017) reported that there was also a decrease in brightness in the dried samples, but the one that presented the greatest luminosity was the one dried only by vacuum. The control (oven dried) or the ultrasound assisted vacuum dried samples did not differ from each other.

In relation to the values of a^* and b^* , there were also significant changes with drying (Table 1). The value a^* tended to increase, while the value b^* decreased with processing. Similar data were also found in the studies of Udomkun et al. (2017) and Tekin et al. (2017) for papaya and green beans, respectively. Koca, Burdurlu and Karadeniz (2007) reported that changes in a^* and b^* values in dehydrated carrot slices

were correlated with the reduction of β -carotene content. However, unlike carrots, papaya is richer in lycopene, which has an intensely red tonality and represents about 65 % of the carotenoids of the fruit, so the most modified parameter by the alteration of carotenoid content is the parameter a^* (Gayosso-Garcia Sancho, Yahia & González-Aguilar, 2011).

The increase in red color values (a^*) in the dried samples was probably related to the increase in the concentration of the natural papaya pigments. Samples that lost less carotenoids during drying (ultrasound assisted drying and ultrasound assisted vacuum drying) had the highest values of a^* , while the one that lost more carotenoids (control sample) obtained the lowest values of a^* . Pê, Gouveia, Silva, Silva, Silva and Castro (2015), in their study of the osmohydration of papaya followed by drying, found that the samples changed from a^* values of 22.25 for fresh fruit to 28.2 for osmotic pretreated and dried at 50 °C papaya. They justified the increased red enhancement results also because of the increased concentration of carotenoids in dehydrated samples.

The values of yellow color (b^*) did not differ among the drying techniques used, but were significantly smaller than that of the fresh sample. This suggested that the fresh sample was more yellow and concomitantly lighter (higher L^* values) than the dried samples. Similar behavior was found by Tekin et al. (2017), where the dried green beans samples did not differ significantly when subjected to ultrasound assisted vacuum drying, control drying or vacuum drying. However, they obtained lower values in relation to the control sample. The reduction of yellow color values in dried papaya samples were also found by Canizares and Mauro (2015) and Yi et al. (2017). They reported that

this decrease can be attributed to the presence of dark compounds derived from the degradation of phenolic compounds and vitamin C, which would disrupt the refraction of the weak yellow color. They also observed that there may be isomeration or greater retention of some types of carotenoids over others, which explains the increase of a^* values and reduction of b^* values.

4.2.4 Texture

The hardness of fresh and dried samples was evaluated by calculating the maximum penetration force and expressed in Newton (Table 1). The fresh papayas presented hardness values of approximately 6 N, a value slightly larger than that found by Addai, Abdullah, Mutalib and Musa (2016) for the cultivar Hongkong.

As expected, all the dehydrated samples showed a substantial increase in hardness in relation to the fresh sample, because the simultaneous transfer of heat and water during drying leads to tension and shrinkage, which increases the texture of the dehydrated products (Porciuncula, Segura & Laurindo, 2016). Orikasa et al. (2014) reported that this tension formed in the dried product is due to the demethylation of the cell wall pectin by pectin methyl esterase, which is activated at temperatures above 50°C and the subsequent formation of a bridging bond between the free carboxylic groups and calcium ions.

The dehydrated samples presented values of hardness between 35 and 42 N, and the control sample presented the highest value of hardness. Oliveira (2014) has demonstrated in the study of different methods for papaya drying that samples dehydrated by conventional dryers of the industry presented high chewing texture. However, when the sample to be dewatered is pretreated or dehydrated with other

alternative forms of drying (osmotically, vacuum, pretreated with ultrasound, etc.), it resulted in a more tender texture.

Among the samples that underwent dehydration, the ones with the lowest texture (softer texture) were the sonicated papayas – ultrasound assisted drying and ultrasound assisted vacuum drying. This is because, in sonicated fruits, most of the cell walls are broken during ultrasonic vibration and there is a network of micro channels in the plant tissue, which favors the formation of a softer dried product (Villamiel et al., 2017). Similar results were found in the work of Silva et al. (2016), in which osmotically dehydrated melon samples pretreated with ultrasound or ultrasound and vacuum obtained a lower hardness (29.76 N and 28.76 N, respectively) than those pretreated with only the vacuum (33.62 N) or without pretreatment (34.42 N).

Yi et al. (2017), in the production of papaya chips, obtained a hardness of 48.5 N for dried papaya, close to that found in this study for the control group (42.89 N). This high value of the texture of the control group may be related to the high drying time in this sample, which consequently leads to higher texture damages and higher hardness values (Sabarez, Gallego-Juarez & Riera, 2014). In addition, in the control sample, the cellular structures may remained intact, and there was no breakage of the cell wall by the force of the vacuum or the turbulence caused by the vibration of the ultrasound. This fact must have influenced the stiffness of the structure and compression in the samples of control papaya.

Conclusion

The results of this study suggested that the use of ultrasonic assisted vacuum positively influences the drying of papaya, since moisture reductions were obtained

faster than those found by the other drying methods. In this way, this process can be effectively used to reduce the drying time. After drying, there was a significant reduction of the bioactive compounds, reduction of luminosity and intensity of the yellow color, and increase in red color intensity and firmness of the papaya samples. However, the results indicated that the association of ultrasound and vacuum can be effective in reducing the nutritional loss of dried papaya, as well as resulting in dehydrated fruits with better color and texture characteristics.

Acknowledgments

The authors gratefully acknowledge UFPE (Universidade Federal de Pernambuco) and CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) for the fellowships.

References

- Abrol, G.S., Vaidya, D., Sharma, A., & Sharma, S. (2014). Effect of solar drying on physico-chemical and antioxidant properties of mango, banana and papaya. *National Academy Science Letters*, 37, 51-57.
- Addai, Z.R., Abdullah, A., Mutalib, S.A., & Musa, K.H. (2016). Evaluation of fruit leather made from two cultivars of papaya. *Italian Journal of Food Science*, 28, 73–82.
- Aghbashlo, M., Mobli, H., Rafiee, S., & Madadlou, A. (2013). A review on energy analysis of drying processes and systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 22, 1-22.
- Ahmed, J., Shivhare, U.S., & Kaur, M. Thermal color degradation kinetics of mango puree. *International Journal of Food Properties*, 5, 359-399.

- AOAC. (2002). *Official Methods of Analysis of Association of Official Analytical Chemists*. 17th ed. Washington: AOAC, 1115p.
- Azoubel, P.M., Amorim, M.R., Oliveira, S.S.B., Maciel, M.I.S., & Rodrigues, J.D. (2015). Improvement of water transport and carotenoid retention during drying of papaya by applying ultrasonic osmotic pretreatment. *Food Engineering Reviews*, 7, 185-192.
- Başlar, M., Kiliç, M., Toker, O.S., Sağdıç, O., & Arici, M. (2014). Ultrasonic vacuum drying technique as a novel process for shortening the drying period for beef and chicken meats. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 26, 182-190.
- Başlar, M., Kiliç, M., & Yalinkiliç, B. (2015). Dehydration kinetics of salmon and trout fillets using ultrasonic vacuum drying as a novel technique. *Ultrasonics Sonochemistry*, 27, 495-502.
- Bautisa-Baños, S., Sivakumar, D., Bello-Pérez, A., Villanueva-Arce, R., & Hernández-López, M. (2013). A review of the management alternatives for controlling fungi on papaya fruit during the postharvest supply chain. *Crop Protection*, 49, 8–20.
- Canizares, D., & Mauro, M.A. (2015). Enhancement of quality and stability of dried papaya by pectin-based coatings as air-drying pretreatment. *Food and Bioprocess Technology*, 8, 1187–1197.
- Chen, Z.G., Guo, X.Y., & Wu, T. (2016). A novel dehydration technique for carrot slices implementing ultrasound and vacuum drying methods. *Ultrasonics Sonochemistry*, 30, 28-34.
- Corbin, C., Fidel, T., Leclerc, E.A., Barakzoy, E., Sagot, N., Falguières, A., Renouard, S., Blondeau, J.P., Ferroud, C., Doussot, J., Lainé, E., & Hano, C. (2015). Development

and validation of an efficient ultrasound assisted extraction of phenolic compounds from flax (*Linum usitatissimum* L.) seeds. *Ultrasonics Sonochemistry*, 26, 176-185.

Cornejo, F.E., Nogueira, R.I., & Wilberg, V.C. Secagem e desidratação. (2017).

http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/tecnologia_de_alimentos/arvore/CONT000fid5sgie02wyiv80z4s473tokdiw5.html/Acessed 03 set 2017.

Eskin, N.M., Ho, C.T., & Shahidi, F. (2013). Browning reactions in foods. In *Biochemistry of Foods* (3rd ed), edited by ESKIN, M.; SHAIDII, F. San Diego: Academic Press, 245-289.

Fuente-Blanco, S., Sarabia, E.R.F., Acosta-Aparicio, V. M., Blanco-Blanco, A., & Gallego-Juarez, J.A. (2006). Food drying process by power ultrasound. *Ultrasonics Sonochemistry*, 44, 523–527.

Gayosso-Garcia Sancho, L.E., Yahia, E.M., & González-Aguilar, G.A. (2011). Identification and quantification of phenols, carotenoids, and vitamin C from papaya (*Carica papaya* L., cv. Maradol) fruit determined by HPLC-DAD–MS/MSESI. *Food Research International*, 44, 1284–1291.

Ghitescu, R.E., Volf, L., Carausu, C., Bühlmann, A.M., Gilca, I.A., & Popa, V.I. (2015). Optimization of ultrasound-assisted extraction of polyphenols from spruce wood bark. *Ultrasonics Sonochemistry*, 22, 535–541.

Goula, A.M., & Adamopoulos, K.G. (2010). Kinetic models of β -carotene degradation during air drying of carrots. *Drying Technology*, 28, 752-761.

Kelebek, H., Selli, S., Gubbuk, H., & Gunes, E. (2015). Comparative evaluation of volatiles, phenolics, sugars, organic acids and antioxidant properties of Sel-42 and tainung papaya varieties. *Food Chemistry*, 173, 912-919.

- Koca, N., Burdurlu, H.S., & Karadeniz, F. (2007). Kinetics of color changes in dehydrated carrots. *Jornal of Food Engineering*, 78, 449-455.
- Kumar, A.L., Madhumathi, C., Sadarunnisa, S., & Latha, P. (2017). Quality evaluation and storage study of papaya guava fruit bar. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 6, 2082-2087.
- Kurozawa, L., Terng, I., Hubinger, M., & Park, K. (2014). Ascorbic acid degradation of papaya during drying: effect of process conditions and glass transition phenomenon. *Journal of Food Engineering*, 123, 157-164.
- Levi, A., Gacel, S., & Juven, B.J. (1985). Intermediate-moisture tropical fruits products for developing countries. II – Quality characteristic of papaya. *Journal of Food Technology*, 20, 163- 175.
- Lozano, J. (2006). Fruit products. Deterioration by browning. In: *Fruit manufacturing*. New York: Springer, 163-182.
- Lyu, J., Yi, J., Bi, J., Gao, H., Zhou, M., & Liu, X. (2017). Impacts of Explosion Puffing Drying Combined with Hot-Air and Freeze Drying on the Quality of Papaya Chips. *International Journal of Food Engineering*, 13, 11.
- Machado, A.V., SOUZA, J.A., & Novaes, R.S. (2015). Estudo cinético da secagem da uva Isabel para produção de uva passa. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, 10, 47-51.
- Mercali, G.D., Schwartz, S., Marczak, L.D.F., Tessaro, I.C., & Sastry, S. (2014). Effect of the electric field frequency on ascorbic acid degradation during thermal treatment by ohmic heating. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62, 5865-5870.
- Mujumdar, S.A. (2015). *Handbook of Industrial Drying* (4th ed.). New York: CRC Press.

- Nuns, M.C.N, Emond, J.P., & Brecht, J.K. (2006). Brief deviations from set point temperatures during normal airport handling operations negatively affect the quality of papaya (*Carica papaya*) fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 41, 328–340.
- Oliveira, F.I.P. (2014). Influência do pré-tratamento ultrassom e desidratação osmótica na secagem, cor, textura e enzimas do mamão formosa. Thesis, Federal University of Ceará, Brazil.
- Orikasa, T., Koide, S., Okamoto, S., Imaizumi, T., Muramatsu, Y., Takeda, J-I., Shiina, T., & Tagawa, A. (2014). Impacts of hot air and vacuum drying on the quality attributes of kiwifruit slices. *Journal of Food Engineering*, 125, 51–58.
- Pê, P.R., Gouveia, J.P.G., Silva, F.L.H., Silva, D.R.S., Silva, G.S., Castro, D.S. (2015). Avaliação das características físico-químicas do mamão 'Formosa' in natura, osmodesidratado e seco. *Tecnologia & Ciência Agropecuária*, 9, 17.
- Perera, C.O. (2005). Selected quality attributes of dried foods. *Drying Technology*, 23, 717–730.
- Porciuncula, B.D.A., Segura, L.A., & Laurindo, J.B. (2016). Processes for controlling the structure and texture of dehydrated banana. *Drying. Technology*, 34, 167-176.
- Ramful, D., Tarnus, E., Aruoma, O.I., Bourdon, E., & Baborun, T. (2011). Polyphenol composition, vitamin C content and antioxidant capacity of Mauritian citrus fruit pulps. *Food Research International*, 44, 2088–2099.
- Rodriguez-Amaya, D.B. (1999). *A guide to carotenoid analysis in foods*. International Life Science Institute Press, Washington, 64p.
- Rojsanga, P., Sithisarn, P., & Buranaphalin, S. (2014). Validated UV spectrophotometric

method for quantitative analysis of carotenoid content and antioxidant activities of Pluk Mai Lie papaya fruits. *Journal of Pharmaceutical Sciences*, 41, 41-47.

Sabarez, H.T., Gallego-Juarez, J.A., & Riera, E. (2012). Ultrasonic-assisted convective drying of apple slices. *Drying Technology*, 30, 989–997.

Shirsath, S.R., Sonawane, S.H., & Gogate, P.R. (2012). Intensification of extraction of natural products using ultrasonic irradiations – a review of current status. *Chemical Engineering and Processing*, 53, 10-23.

Silva, G.D., Barros, Z.M.P., Medeiros, R.A.B., Carvalho, C.B.O., Brandão, S.C.R., & Azoubel, P.M. (2016). Pretreatments for melon drying implementing ultrasound and vacuum. *LWT-Food Science and Technology*, 74, 114-119.

Tarleton, E. S. (1992). The role of field-assisted techniques in solid/liquid separation. *Filtration Separation*, 3, 246-253.

Tarleton, E. S., & Wakeman, R.J. (1998). Ultrasonically assisted separation process. In: M. J. W. Povey & T. J. Mason (eds), *Ultrasounds in food processing*. Glasgow: Blackie Academic and Professional.

Tekin, Z.H., Başlar, M., Karasu, S., & Kilicli, M. (2017). Dehydration of green beans using ultrasound-assisted vacuum drying as a novel technique: drying kinetics and quality parameters. *Journal of Food Processing and Preservation*, 41, e13227.

Toma, M., Vinatoru, M., Paniwnyk, L., & Mason, T. J. (2001). Investigation of the effects of ultrasound on vegetal tissues during solvent extraction. *Ultrasonics Sonochemistry*, 8, 137-142.

Tu, Y.J., Njus, D., & Schlegel, H.B. (2017). A theoretical study of ascorbic acid oxidation and $\text{HOO}^\bullet/\text{O}_2^{\bullet-}$ radical scavenging. *Organic & Biomolecular Chemistry*, 15, 4417-4431.

- Udomkun, P., Nagle, M., Mahayothee, B., Nohr, D., Koza, A., & Muller, J. (2015). Influence of air drying properties on non-enzymatic browning, major bio-active compounds and antioxidant capacity of osmotically pretreated papaya. *LWT-Food Science and Technology*, 60, 914-922.
- Udomkun, P., Nagle, M., Argyropoulos, D., Mahayothee, B., Latif, S., & Muller, J. (2016a). Compositional and functional dynamics of dried papaya as affected by storage time and packaging material. *Food Chemistry*, 196, 712-719.
- Udomkun, P., Nagle, M., Argyropoulos, D., Mahayothee, B., & Muller, J. (2016b). Multi-sensor approach to improve optical monitoring of papaya shrinkage during drying. *Journal of Food Engineering*, 189, 82–89.
- Udomkun, P., Nagle, M., Argyropoulos, D., Wiredu, A. N., Mahayothee, B., & Müller, J. (2017). Computer vision coupled with laser backscattering for non-destructive colour evaluation of papaya during drying. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 11, 2142-2150.
- Villamiel, M., Garcia-Perez, J.V., Montilla, A., Carcel, J.A., & Benedito, J. (2017). *Ultrasound in Food Processing: Recent Advances*. John Wiley & Sons. 544p.
- Yi, J.Y., Lyu, J., Bi, J.F., Zhou, L.Y., & Zhou, M. (2017). Hot air drying and freeze drying pre-treatments coupled to explosion puffing drying in terms of quality attributes of mango, pitaya, and papaya fruit chips. *Journal of Food Processing and Preservation*. 41, e13300.
- Zou, K.J., Teng, J., Huang, L.L., Dai, X., & Wei, B. (2013). Effect of osmotic pretreatment on quality of mango chips by explosion puffing drying. *LWT – Food Science and Technology*, 51, 253–259.