


REVIEW ARTICLE

Aplicação do ultrassom no processamento de frutas e hortaliças

Application of ultrasound in fruits and vegetables processing

Priscila Donatti Leão Alvarenga¹, Laila Silva Cavatti², Bárbara Santos Valiati¹,
Bruna Gasparini Machado¹, Lohan Covre Capucho³, Manuelli Monciozo Domingos³,
Marcela Nobre Silva³, Mariana de Souza Vieira³, Jackline Freitas Brilhante de São José^{1,3*} 

¹Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), Programa de Pós-graduação em Nutrição e Saúde, Vitória/ES - Brasil

²Universidade de Vila Velha (UVV), Departamento de Nutrição, Vila Velha/ES - Brasil

³Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), Departamento de Educação Integrada em Saúde, Vitória/ES - Brasil

***Corresponding Author:** Jackline Freitas Brilhante de São José, Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), Departamento de Educação Integrada em Saúde, Programa de Pós-graduação em Nutrição e Saúde, Av. Marechal Campos, 1468, CEP: 29040-090, Vitória/ES - Brasil, e-mail: jackline.jose@ufes.br

Cite as: Alvarenga, P. D. L., Cavatti, L. S., Valiati, B. S., Machado, B. G., Capucho, L. C., Domingos, M. M., Silva, M. N., Vieira, M. S., & São José, J. F. B. (2021). Application of ultrasound in fruits and vegetables processing. *Brazilian Journal of Food Technology*, 24, e2020274. <https://doi.org/10.1590/1981-6723.27420>

Resumo

Este trabalho objetivou apresentar aspectos relacionados à utilização do ultrassom no processamento de frutas e hortaliças, como o funcionamento do método, os efeitos no alimento, as aplicações, os aspectos sensoriais e a percepção dos consumidores. As mudanças dos hábitos alimentares e a busca do bem-estar refletem no aumento da procura por alimentos naturais, como as frutas e as hortaliças. Estes alimentos podem sofrer alterações microbiológicas ao longo da cadeia produtiva, sendo necessária a aplicação de boas práticas agrícolas e de manipulação, e processos tecnológicos de conservação para a garantia da qualidade do produto. O ultrassom é uma tecnologia emergente aplicada no processamento de frutas e hortaliças que está relacionada a melhorias na qualidade e preservação. O princípio básico do ultrassom é a cavitação acústica, que envolve o crescimento e colapso de bolhas durante períodos de rarefação e compressão, causando alterações químicas, físicas e mecânicas no alimento. Essas alterações estão relacionadas à inativação de micro-organismos e de enzimas, à remoção de resíduos e às melhorias na qualidade físico-química, e à acessibilidade de compostos bioativos. Além disso, a aplicação deste método pode ter boa aceitabilidade pelos consumidores, que procuram alimentos mais naturais e submetidos a processos que não causem impacto ambiental.

Palavras-chave: Frutas; Hortaliças; Qualidade; Tecnologia de alimentos; Ultrassom; Cavitação acústica.

Abstract

This work aimed to present aspects related to the use of ultrasound in fruit and vegetable processing, such as the functioning of the method, effects on food, applications, sensory aspects and consumer perception. Changes in eating habits and the search for well-being reflect the increased demand for natural foods, such as fruits and vegetables. These foods may undergo microbiological changes along the production chain, and it is necessary to adopt Good Agricultural Practices (GAP), even as handling and technological processes of conservation to ensure



the quality of the final product. Ultrasound is an emerging technology applied in fruit and vegetable processing that is related to improvements in quality and preservation. The basic principle of ultrasound is acoustic cavitation, which involves the growth and collapse of bubbles during periods of rarefaction and compression, causing chemical, physical, and mechanical changes in food. These changes are associated with the inactivation of microorganisms, enzymes, as well as the removal of residues and improvements in the physical-chemical quality and accessibility of bioactive compounds. In addition, the application of this method can have good acceptability by consumers looking for more natural foods and that are submitted to processes that does not cause environment impact.

Keywords: Fruits; Vegetables; Quality; Food technology; Ultrasound; Acoustic cavitation.

1 Introdução

Os consumidores atuais têm buscado alimentos mais naturais, ricos em fibras e compostos bioativos, e que ao mesmo tempo ofereçam a praticidade de consumo (Putnik et al., 2017; De Corato, 2020). Neste contexto, a indústria alimentícia tem impulsionado a produção de vegetais minimamente processados e produtos vegetais prontos para o consumo (De Corato, 2020; Putnik et al., 2017). Ao considerar que frutas e hortaliças são alimentos perecíveis e que podem ser submetidos a diferentes fontes de contaminação, há preocupação na busca pela garantia de qualidade destes alimentos. As contaminações por micro-organismos patogênicos podem ocorrer em todas as etapas da cadeia produtiva até o consumo, as quais envolvem desde o solo contaminado até o armazenamento e manuseio do consumidor (Sant'Anna et al., 2020). Estudos indicaram a contaminação de produtos vegetais minimamente processados por *Salmonella* sp. e por outros micro-organismos patogênicos, que tornam o produto impróprio para consumo (Santos et al., 2020; Saw et al., 2020; Cruz et al., 2019). A ingestão destes alimentos contaminados pode causar doenças e surtos de origem alimentar. No Brasil, em 2018, foram notificados 503 surtos, 6.803 doentes e 731 hospitalizados devido a complicações por estas doenças. Neste mesmo ano, o consumo de frutas e hortaliças contaminadas representou 4,4% dos adoecimentos (Brasil, 2019). A obtenção de um produto seguro e de qualidade envolve as boas práticas agrícolas, de manipulação e de processamento (Sant'Anna et al., 2020). Para isto, a aplicação de métodos tradicionais, como a utilização do cloro para a sanitização e o uso de tecnologias promissoras, é necessária para obter um produto seguro e de qualidade (De Corato, 2020).

A aplicação de compostos clorados ainda é amplamente utilizada na indústria de processamento de produtos vegetais, devido ao custo-benefício, à disponibilidade e à fácil utilização (De Corato, 2020). Entretanto, a utilização deste composto químico pode ter impactos negativos ao meio ambiente e à saúde do consumidor, devido à formação de subprodutos tóxicos e letais, motivo pelo qual sua utilização ter indicações à proibição em alguns países europeus (Lepaus et al., 2020; Saini et al., 2017). Além disso, a utilização de compostos químicos nas etapas de sanitização pode não ser suficiente para reduzir a carga microbiana, a fim de garantir a segurança ao consumidor (Pinela & Ferreira, 2017; Rosário et al., 2017).

É importante destacar que os consumidores estão cada vez mais críticos em relação ao uso de métodos tradicionais de processamento, como agentes químicos e métodos físicos que aplicam calor e irradiação, e há uma preocupação crescente em relação ao valor nutritivo, aos aspectos sensoriais e ao frescor destes produtos (De Corato, 2020). Dessa forma, as tecnologias emergentes têm sido vastamente estudadas para serem utilizadas como alternativa aos métodos convencionais de processamento (De Corato, 2020). Estes métodos não aplicam calor e garantem alimentos seguros, preservando as propriedades sensoriais e nutricionais (Hernández-Hernández et al., 2018; Misra et al., 2017). Diversos estudos avaliaram estas tecnologias em produtos de origem vegetal, como a aplicação da alta pressão hidrostática (Denoya et al., 2017; Wang et al., 2016), o campo elétrico pulsado (Jin et al., 2017), o plasma frio (Sudheesh & Sunooj, 2020) e o ultrassom (Azam et al., 2020; Alenyorege et al., 2019; Nicolau-Lapeña et al., 2019; Rosário et al., 2017; São José et al., 2014).

O ultrassom pode ser utilizado na indústria alimentícia para obter informações sobre os produtos e promover melhorias na qualidade e na preservação de alimentos (Dolas et al., 2019). O princípio básico desta tecnologia é a cavitação acústica, que envolve o crescimento e o colapso de bolhas durante períodos de rarefação e compressão (Dolas et al., 2019). Este fenômeno é caracterizado por efeitos físicos e químicos que podem ocasionar a destruição de micro-organismos, a inativação enzimática e a extração de compostos bioativos (Dolas et al., 2019; Khan et al., 2020; Wang et al., 2019). Diante disso, o ultrassom pode ser empregado na indústria de processamentos de frutas e hortaliças, seja para contribuir na melhoria da qualidade e na segurança dos produtos, seja para potencializar processos já existentes (Ojha et al., 2018). Recentemente, estudos avaliaram a aplicação do ultrassom em frutas e hortaliças, e em suco de frutas, com resultados positivos nos aspectos sensorial, microbiológico, físico-químico e nutricional (Rosário et al., 2017; Gomes et al., 2017; São José et al., 2018; Wang et al., 2019, 2020a; Alvarenga et al., 2020), indicando este método como tecnologia inovadora, viável, de baixo custo e com resultados desejáveis para a preservação da qualidade (Dolas et al., 2019). Dessa forma, este artigo tem por objetivo apresentar um compilado de pesquisas realizadas com o uso de ultrassom em frutas e hortaliças, seu método de ação e aplicações, expondo os impactos na qualidade microbiológica, na atividade enzimática e na remoção de resíduos, bem como na qualidade físico-química, nutricional e sensorial.

2 Histórico do ultrassom

A aplicação do ultrassom no processamento de alimentos começou nos anos que precederam a Segunda Guerra Mundial, sendo explorada desde sua descoberta no início do século XX para uma variedade de finalidades na medicina e na indústria química e de engenharia. As primeiras referências a respeito do uso de ultrassom na indústria de alimentos datam de 1961, com a aplicação do método para a medida de sólidos não gordurosos e gordura do leite (Oliveira, 2014; Silva et al., 2017). Os alimentos, em geral, podem sofrer diversos tipos de deteriorações e estas são responsáveis pela perda de qualidade dos alimentos. Desde a metade do século passado, o ultrassom vem sendo estudado para determinadas finalidades no processamento, na preservação e na extração de substâncias de alimentos (Khadhraoui et al., 2019; Mason & Vinatoru, 2017). Diante disso, este método é empregado como uma tecnologia moderna, capaz de melhorar as condições de processamento de muitos produtos. Como é uma tecnologia emergente em desenvolvimento, há a necessidade de estudos aprofundados para seu emprego, buscando melhor padronização e quantificação, em nível industrial (Madhu et al., 2019; Mason & Vinatoru, 2017).

3 Características, funcionamento e componentes

No ultrassom, as vibrações sonoras são transmitidas por transdutores Langevin piezoelétricos. Estes consistem em dois elementos de cerâmica que alteram seu tamanho em resposta a um campo elétrico. Em banhos de ultrassom, quatro ou seis destes transdutores são geralmente colocados abaixo da base do banho, em um padrão organizado (Bermudez, 2017). Os equipamentos de ultrassom são formados por geradores, transdutores e emissores (São José et al., 2014; Abesinghe et al., 2019). O gerador elétrico é a fonte de energia para o sistema de ultrassom, o transdutor converte energia elétrica em vibrações mecânicas em uma determinada frequência e, por fim, o emissor, que é o responsável pela emissão das ondas ultrassônicas (São José et al., 2014). Por sua vez, estas são aplicadas ao alimento diretamente por meio de sondas ou com uso de ultrassom do tipo banho (Arvanitoyannis et al., 2017). O ultrassom pode ser dividido em baixa intensidade, com uma faixa de frequência de 5 a 10 MHz, e de alta intensidade, dentro da faixa de 20 a 100 kHz (Tremarin et al., 2017).

As ondas ultrassônicas são capazes de gerar o fenômeno denominado cavitação. Este fenômeno físico ocasiona a formação de bolhas dentro de um líquido, quando submetido à ação de ondas de pressão e descompressão de alta velocidade, gerando um campo ultrassônico. Essas bolhas oscilam de tamanho durante o ciclo acústico e colapsam gerando calor, aumento de pressão e taxas de cisalhamento, o que ocorre em um

período de milissegundos (Dolas et al., 2019). Durante a fase de descompressão, inúmeras bolhas são criadas dentro do líquido. Durante a segunda fase, a compressão, a enorme pressão exercida sobre a bolha a descomprime até colapsar. Diante do exposto, há dois tipos de cavitação: a cavitação estável, na qual a bolha permanece estável em um tamanho por muitos ciclos de compressão-descompressão, e a cavitação transitória ou instável, na qual a bolha cresce em um único ciclo, dobra de tamanho e depois ocorre o seu colapso (Gallo et al., 2018). Após o colapso de bolhas, estas liberam vapor de água que sofre desintegração em radicais hidroxila e átomos de hidrogênio (por exemplo, $\bullet H$, $\bullet OH$, $OOH \bullet$ e $O \bullet$). A presença desses radicais livres também desempenha um papel na inativação de micro-organismos (Téllez-Morales et al., 2020; Wang et al., 2020b).

4 Aplicações do ultrassom

O ultrassom pode ser aplicado com diferentes finalidades na indústria de alimentos (Figura 1), como inativação de enzimas (Rojas et al., 2016), em processos de mistura e homogeneização (Sfakianakis et al., 2015), extração de compostos (Trojanowska et al., 2019), filtração (Sousa et al., 2016), desidratação (Chen et al., 2016), secagem (Rodríguez et al., 2018), cozimento (Zhang et al., 2018), congelamento e descongelamento (Rosario et al., 2018), sanitização (Peña-Gonzalez et al., 2019), conservação (Silva et al., 2017), amaciamento de carnes (Shi et al., 2020), cristalização da lactose e gordura (Kaci et al., 2017), emulsificação (Kaci et al., 2017), desgaseificação (Villamiel et al., 2019), sanitização (Rosário et al., 2017; Alvarenga et al., 2020; Pelissari et al., 2021) e fermentação em diferentes matrizes alimentares (Ojha et al., 2017). A energia ultrassônica pode ser aplicada ainda para melhoria de alguns processos, como corte, emulsificação e envelhecimento de vinhos (Madhu et al., 2019; Ojha et al., 2017). Pesquisas que envolvem a aplicação do ultrassom na área de ciência e tecnologia de alimentos cresceram nos últimos anos e este incremento na temática está relacionado principalmente aos efeitos promissores deste método no processamento de alimentos (Sfakianakis et al., 2015; Chen et al., 2016; Rojas et al., 2016; Silva et al., 2017; Kaci et al., 2017; Ojha et al., 2017; Rodríguez et al., 2018; Zhang et al., 2018; Rosario et al., 2018; Trojanowska et al., 2019; Peña-Gonzalez et al., 2019; Shi et al., 2020).

O ultrassom pode ser utilizado na etapa de sanitização de frutas e hortaliças. A literatura sobre o tema sugere que, quando combinado com sanitizantes químicos, há potencialização da inativação de células microbianas devido à cavitação e à formação de microjatos (São José et al., 2014; Rosário et al., 2017; Alvarenga et al., 2020). Nesse sentido, o fato de o ultrassom melhorar a eficácia dos sanitizantes o torna uma alternativa para a indústria alimentícia.

Outra possibilidade é o uso do ultrassom na secagem. Esta estratégia é próspera por atuar sem prejudicar as principais características e a qualidade dos produtos (Madhu et al., 2019). Assim, apresenta potencial para aplicação na secagem de alimentos que são sensíveis ao calor, porque possibilita a remoção da umidade do alimento mais rapidamente e à temperatura mais baixa do que nos sistemas de secadores de ar quente tradicionais (Rodríguez et al., 2018). A vibração acústica produzida pelo ultrassom gera compressão e expansão sucessivas do material, o que ocasiona tensão na estrutura. Além disso, a cavitação produzida pelo ultrassom, que ocorre na fase líquida dentro da amostra úmida, gera implosões assimétricas de bolhas de cavitação próximas à superfície sólida da amostra, levando à liberação parcial de um pouco de água ligada à estrutura sólida (Rodríguez et al., 2018). Estudos indicam que as ondas sonoras de alta intensidade aceleram o processo de secagem de alimentos sólidos, como observado por Bozkir et al. (2019), na secagem de frutos de caqui por ultrassom, e por Nascimento et al. (2015), na avaliação das propriedades da casca de maracujá secas por ultrassom.

O ultrassom pode ser aplicado como tecnologia de conservação em sucos, pois os resultados apresentam muitas vantagens, como a conservação dos nutrientes, além de melhorar consistência, cor, turbidez e a aceitação sensorial. Apesar dos benefícios, alguns autores descrevem resultados negativos sobre a qualidade

do suco, como a formação de substâncias indesejadas durante a produção de suco de laranja (Baslar et al., 2016; Rojas et al., 2016).

Quando aplicado isoladamente, o ultrassom pode não ser suficiente para inativar micro-organismos e enzimas, podendo, assim, ser utilizado combinado com pressão, leve calor ou outras técnicas para a inativação microbiana, principalmente os agentes patogênicos, para favorecer a eficácia do tratamento (Baslar et al., 2016; Rojas et al., 2016). Este método também pode ser utilizado como homogeneizador de líquidos, através das vibrações que causam pressões necessárias para a ocorrência da mistura (Mason & Vinatoru, 2017). O ultrassom também apresenta benefícios sobre a pasteurização em sucos, mantendo as características originais do produto, como cor, sabor, fibras, vitaminas e compostos bioativos (Tremarin et al., 2017; Wang et al., 2020a,b; Menelli et al., 2021). O uso da tecnologia do ultrassom de alta intensidade também tem sido empregado para modificar a estrutura de proteínas, aumentar a hidrólise enzimática e, em consequência, alcançar produtos de peptídeos de alta eficiência com potente bioatividade (Ozuna et al., 2015). Estudos com frutas, hortaliças e sucos apresentam resultados relevantes sobre a eficácia do ultrassom em diferentes parâmetros que podem influenciar na qualidade do produto final (Tabela 1).

Tabela 1. Aplicação do ultrassom em frutas, hortaliças e produtos processados de origem vegetal.

Produto	Características do processo	Parâmetros avaliados	Principais resultados	Referências
<i>Aspargos verdes</i>	US 360 W e 40 kHz combinado com solução de AC (2%) e AG (50 mg/kg) por 10 minutos	Características FQ, atividade enzimática e micro-organismos no armazenamento sob refrigeração (4 °C/20 dias)	O tratamento aplicado alcançou redução eficaz dos micro-organismos ao longo do armazenamento, melhorias na qualidade FQ e inibição de enzimas endógenas	Wang & Fan (2019)
<i>Suco de manga</i>	US combinado com UV assistido, tempo de 0-40 min, potência 0-600 W e densidade de energia de 0-14.400 J mL ⁻¹	Inativação de micro-organismos	Esterilização gradual e crescente com o aumento da potência aplicada. US-UV 600W capaz de reduzir micro-organismos patogênicos em diferentes tempos de processamento	Wang et al. (2020a)
<i>Repolho chinês MP</i>	US 28-68 kHz por 5-40 min de lavagem	Inativação de <i>E. coli</i> e <i>L. innocua</i>	Redução da taxa de sobrevivência dos micro-organismos com o aumento do tempo de exposição ao método. <i>E. coli</i> mais sensível ao tratamento, alcançando redução de 3 log UFC na aplicação do US 40 kHz/10 min	Alenyorege et al. (2019)
<i>Morango</i>	US (40 kHz, 500 W) combinado com AC, AP e dodecilbenzenossulfonato de sódio por 5 min	Características FQ, sensoriais e microbiológicas durante armazenamento por 9 dias a 8°C.	Ultrassom potencializou o efeito dos compostos químicos na redução de mesófilos aeróbios, bolores e leveduras. AC obteve maior redução (até 2 log UFC/g). Não foram observadas alterações FQ e sensoriais importantes	Rosário et al. (2017)
<i>Pepino</i>	US (20 kHz) por 5, 10 e 15 min associado posteriormente a embalagem com atmosfera modificada	Micro-organismos e qualidade durante o armazenamento por 15 dias a 4 °C	O tratamento inibiu o crescimento de micro-organismos durante o armazenamento e garantia da qualidade geral do produto (menor perda de sólidos solúveis, massa e firmeza)	Fan et al. (2019)
<i>Morango</i>	US (33 kHz, 60 W) em diferentes tempos (0-60 min)	Características microbiológicas, FQ, sólidos solúveis, vitamina C, firmeza e cor durante armazenamento sob refrigeração	40 min de tratamento acarretaram a redução de 2 log UFC/g de contagem bacteriana, pH, vitamina C e sólidos solúveis, que obtiveram maior retenção entre 30 e 40 min. Firmeza e cor foram consideradas ótimas entre 20 e 30 min	Gani et al. (2016)
<i>Tomate</i>	US (banho e sonda, 40 e 24 kHz, respectivamente) associado a corrente elétrica (200, 800 e 1.400 mA) por 2, 4, 6, 8 e 10 min	Remoção de resíduos de pesticidas	Combinação de tratamentos foi eficiente na redução dos resíduos estudados, alcançando redução de até 95,06%	Cengiz et al. (2018).

AA: Ácido ascórbico. AC: Ácido acético. AG: Ácido giberélico. CAT: Capacidade antioxidante total. CF: Compostos fenólicos. FL: Flavonoides. FQ: Físico-química. MP: Minimamente processado. US: Ultrassom. UV: Ultravioleta.

Além disso, a aplicação desta tecnologia tem atraído atenção por seu papel na sustentabilidade por reduzir possíveis impactos ambientais, como, por exemplo permitir a aplicação sem geração de resíduos e uso de

menores concentrações de sanitizantes quando combinado ao ultrassom, em procedimentos de sanitização de frutas e hortaliças (São José et al., 2014). Desta forma, o uso desta tecnologia enquadra-se, assim, no conceito de tecnologia verde, além de ser utilizada na geração de produtos de maior qualidade, segurança e estabilidade, e processos econômicos, com menor impacto ambiental. Neste contexto, o ultrassom apresenta potencial para aumento da produtividade e redução do tempo necessário para condução de operações de processamento (Singla & Sit, 2021).

Entretanto, cabe destacar que a falta de experiência e consciência, e a incapacidade de desistir dos procedimentos convencionais têm sido um obstáculo para que o ultrassom seja adotado e comercializado em escalas industriais (Singla & Sit, 2021). Além disso, há desafios quanto ao *design* de equipamentos e sistemas de controle nas variáveis de processo (Khadhraoui et al., 2019; Welti-Chanes et al., 2017). As pesquisas relacionadas ao emprego do ultrassom trazem evidências que permitem melhor entendimento das condições apropriadas de aplicação em diferentes etapas do processamento de alimentos e, desta forma, reforçam as diferentes possibilidades de sua inserção na indústria.

Ressalta-se ainda que a escolha do equipamento é de grande importância no processamento, seja em escala laboratorial ou industrial. Os desafios no uso dos equipamentos ultrassônicos estão diretamente ligados a eficiência, finalidade, técnica adequada e particularidades de cada tipo de *design*. Existem vários *designs* de equipamentos para diversas finalidades (Khadhraoui et al., 2019). Para uso em laboratório, os *designs* mais comumente utilizados são banho ultrassônico e o equipamento tipo sonda. Ambos são amplamente utilizados também em nível industrial. O diferencial está relacionado à alta potência e ao tipo de sistema, contínuo ou em lote, a fim de suprir uma grande demanda (Khadhraoui et al., 2019).

O conhecimento desta tecnologia, quando combinada com outras existentes ou com novas tecnologias, cria a possibilidade da sua aplicação comercial e estimula o desenvolvimento de tecnologias ambientalmente amigáveis para indústrias (Singla & Sit, 2021). A aplicação e o funcionamento do ultrassom em frutas, hortaliças e produtos estão resumidos na Figura 1.

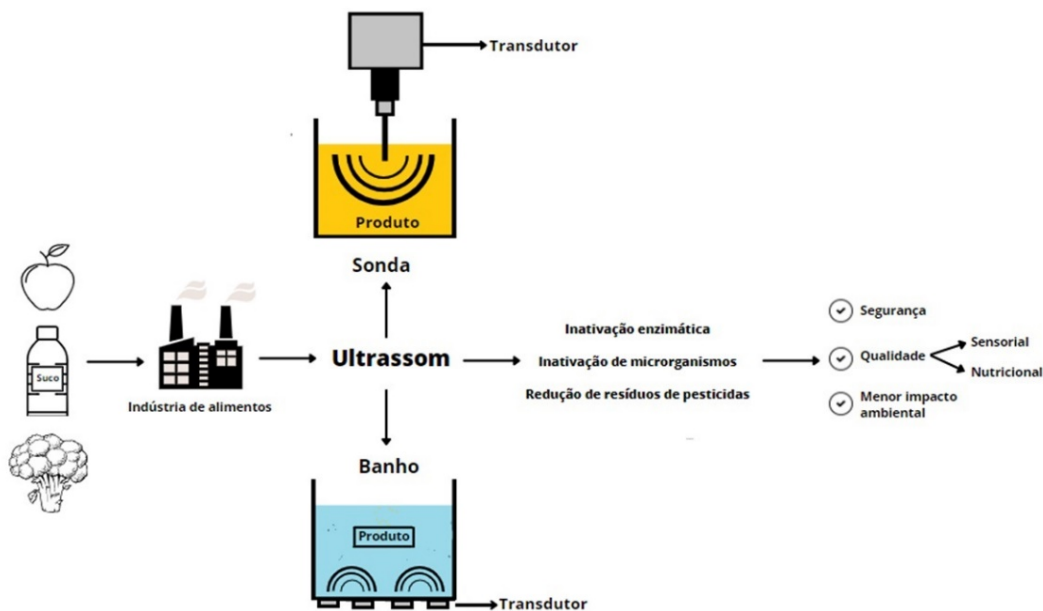


Figura 1. Aplicação e funcionamento do ultrassom em frutas, hortaliças e produtos.

5 Efeito sobre os micro-organismos

O ultrassom é uma eficiente tecnologia para o processamento de alimentos (Ojha et al., 2018). Uma das suas aplicações está relacionada com a melhoria da qualidade microbiológica por meio do fenômeno de cavitação (Chen et al., 2020). A cavitação acústica regular pode levar à ruptura das paredes e membranas celulares dos micro-organismos (Doltade et al., 2019; Ferrario & Guerrero, 2016). Este fenômeno também promove a decomposição de moléculas de água, gerando radicais livres com propriedades altamente oxidantes que quebram o DNA e inativam enzimas das células bacterianas (Liao et al., 2018; Wu et al., 2015). Este último efeito é devido a ações dos radicais na quebra da cadeia polipeptídica (Khandpur & Gogate, 2015; Adams et al., 1979). De acordo com Khandpur & Gogate (2015) e Adams et al. (1979), a energia de ultrassom tem influência considerável na taxa de produção de radicais hidroxila para inativar micro-organismos que não podem se regenerar. Isto se deve ao fato de que os radicais livres danificam a membrana celular através da peroxidação de ácidos graxos insaturados. Os radicais também liberam proteínas intracelulares e alteram sua conformação, aumentando a pressão localizada e a temperatura do produto (Ferrario & Guerrero, 2016). A geração de ondas de choque e radicais hidroxílicos, em última análise, melhora o seu efeito biocida (Chen et al., 2020; Gani et al., 2016).

A inativação microbiana, por meio de ultrassom, apresenta diferentes respostas com base no tamanho, na forma e na espécie do micro-organismo (Gracin et al., 2016). Bactérias Gram-positivas são mais resistentes ao ultrassom do que as bactérias Gram-negativas, pois apresentam parede celular mais forte, como resultado da reticulação dos ácidos teicoico e peptidoglicano (Astráin-Redín et al., 2020). Fatores relacionados aos alimentos também devem ser considerados, pois, segundo Ding et al. (2015), frutas com superfícies mais lisas facilitam o acesso das ondas ultrassônicas às células alvos.

O ultrassom também pode ser aplicado juntamente com outros métodos de conservação para garantir a eficiência na redução da carga microbiológica, reduzindo também o tempo de exposição às ondas sonoras e obtendo um produto de maior qualidade (Roohinejad et al., 2018; Tremarin et al., 2017). A combinação de ultrassom com o tratamento térmico pode estreitar o tempo para uma inativação microbiana alvo, porém isto dependerá da amplitude de ondas do ultrassom, do volume e da composição dos alimentos processados e da temperatura escolhida. A sonicação térmica para inativação microbiana é mais eficaz do que a sonicação sem calor (Aadil et al., 2015; Tremarin et al., 2017). Entretanto, a aplicação da temperatura pode ocasionar alteração ou degradação de compostos nutricionais, alterando a qualidade do produto final (Nicolau-Lapeña et al., 2019). Diante disso, a aplicação do ultrassom em produtos de origem vegetal combinado com métodos não térmicos tem apresentado resultados positivos na redução microbiológica (Nicolau-Lapeña et al., 2019), como a utilização juntamente com ácido acético (Wang & Fan, 2019), hipoclorito de sódio (Alenyorege et al., 2019), atmosfera modificada (Fan et al., 2019) e óleo essencial (Park et al., 2018). A utilização do ultrassom com agentes químicos facilita a penetração da substância, aumentando o efeito da inativação e a conservação dos produtos (Wang & Fan, 2019).

Em suco de fruta, Wang et al. (2020a) estudaram o tratamento de ultrassom combinado com luz UV em diferentes potências de ultrassom (0 a 600 W) e tempos de 0 a 40 minutos em sucos de manga e identificaram que nenhuma bactéria patogênica pôde ser detectada após o tratamento de ultrassom-UV na potência de 600 W por 10 minutos. Ao ser aplicado com calor, o ultrassom é eficiente na inativação de fungos filamentosos, leveduras e *Alicyclobacillus acidoterrestris* em suco de fruta (Jambrak et al., 2018).

6 Efeito sobre as enzimas

A atividade enzimática é um fator relevante que afeta diretamente na qualidade de frutas e hortaliças, principalmente quando se trata de produtos frescos, que são suscetíveis ao processo de escurecimento enzimático, o que, por sua vez, compromete a qualidade sensorial (Neto et al., 2019; Chen et al., 2020). A aplicação do ultrassom pode ocasionar a despolimerização de enzimas e, conseqüentemente, a redução da

sua atividade. A despolimerização pode ocorrer devido à degradação da enzima pela cavitação ou pela ligação de radicais livres ao substrato enzimático (Dolas et al., 2019). Sob essas condições intensas, o ultrassom poderia induzir a interrupção da ligação de hidrogênio e das interações van der Waals em cadeias de polipeptídeos, ocasionando alterações das estruturas secundárias e terciárias da proteína, e, assim, as atividades biológicas serão perdidas (São José et al., 2014; Zhang et al., 2017). A geração de pontos quentes (*hot-spots*) durante a cavitação leva à clivagem da molécula de água, com geração de radicais livres. Estes, por sua vez, podem reagir com resíduos de aminoácidos que participam da estabilidade enzimática, da ligação substrato ou da função catalítica, o que, conseqüentemente, modifica a atividade biológica (São José et al., 2014). Algumas enzimas têm relação direta com sabores e cores dos alimentos, e são comumente encontradas em hortaliças e frutas. Enzimas endógenas, como a peroxidase (POD) e a polifenoloxidase (PPO), estão envolvidas em processos de escurecimento enzimático, tornando-se uma constante preocupação na indústria alimentícia. Com o objetivo de minimizar esse processo, a tecnologia por ultrassom tem sido empregada como um método de inativação enzimática e tem mostrado grande potencial para aplicações industriais (Sulaiman et al., 2015; Wang et al., 2018; Zhang et al., 2017). Com a inativação de enzimas, como POD e PPO, reações de escurecimento enzimático de compostos fenólicos são minimizadas, uma vez que tais enzimas estão envolvidas nesse processo. Além disso, a presença de compostos fenólicos oxidados por PPO também pode acelerar a degradação de antocianinas, que resulta em perda de cor. Portanto, a inativação destas enzimas é importante para melhorar a retenção de cor e aumentar a vida útil do alimento (Cao et al., 2018; Sulaiman et al., 2015; Zhang et al., 2017).

A pesquisa da eficiência do ultrassom na inativação de enzimas alimentares tem sido bem explorada nos últimos anos. No estudo de Sulaiman et al. (2015), os autores identificaram que o ultrassom se mostrou eficaz na redução da atividade de PPO em purês de pêra, maçã e morango. Os resultados de Bi et al. (2015) mostraram que o ultrassom altera significativamente a atividade de PPO do purê de abacate. Spinei & Oroian (2021) avaliaram a influência do tratamento osmótico associado ao ultrassom em *blueberries* e observaram diminuição significativa da atividade enzimática das amostras em comparação com a amostra de controle (18,52 nmol/mg protein-min) e que o aumento da potência e amplitude do ultrassom favoreceu a redução da atividade de POD. Yeoh & Ali (2017) observaram que o tratamento com ultrassom em abacaxi fresco ocasionou aumento significativo da atividade de fenilalanina amônia-liase e redução significativa da atividade de PPO e POD. Outros estudos avaliaram o ultrassom combinado com outros tratamentos e observaram resultados positivos em cogumelos, purê de abacate e suco de amora (Cervantes-Elizarrarás et al., 2017; Cheng et al., 2013; Zhang et al., 2017).

7 Descontaminação de resíduos de pesticidas

A presença de substâncias biológicas, físicas ou químicas indesejáveis em alimentos é classificada como contaminante (Azam et al., 2020). Dentre essas substâncias, os agrotóxicos são os mais destacados por terem maior potencial contaminante e prejudicial aos consumidores, sendo amplamente utilizados para combater pragas que prejudicam a produção agrícola, prevenindo ou reduzindo perdas de produtos (Cengiz et al., 2018; Zhao et al., 2020). O uso excessivo e generalizado de pesticidas representa uma ameaça ao bem-estar humano e alguns tipos podem influenciar a ocorrência de diabetes, distúrbios genéticos, câncer, neurotoxicidade, distúrbios endócrinos, distúrbios do sistema imunológico, deficiências congênitas e problemas de reprodução (Azam et al., 2020; Calvo et al., 2019; Cengiz et al., 2018; Sajid & Alhooshani, 2020).

A demanda pelo uso de tecnologia moderna para minimizar os resíduos de pesticidas contidos nos alimentos pelos consumidores é constante e é crucial reduzir os possíveis riscos à saúde associados à ingestão destes contaminantes alimentares. Em vista disto, o ultrassom tem se mostrado uma técnica ambientalmente correta e eficaz para reduzir resíduos de pesticidas de frutas e vegetais frescos durante o processo de limpeza, por ser livre de produtos químicos e não gerar poluentes secundários durante o processamento (Azam et al., 2020; Calvo et al., 2019; Cengiz et al., 2018; Zhu et al., 2019).

O mecanismo responsável pela eficácia do ultrassom na redução de pesticidas em alimentos é a cavitação, que resulta no rompimento das moléculas contaminantes presentes no meio. Ocorrem também reações químicas que clivam moléculas de água e liberam radicais OH que reagem com os contaminantes, oxidando-os (Azam et al., 2020; Cengiz et al., 2018). Lozowicka et al. (2016) avaliaram a eficiência de quatro técnicas de remoção de pesticidas em morangos e identificaram que a utilização do ultrassom (40 kHz, 2×240W pico/período) durante 1, 2 e 5 minutos apresentou maior eficiência, sendo observadas reduções para piraclostrobina (89,4%), tetraconazol (84,5%) e clorpirifos (79,1%). De acordo com Lozowicka et al. (2016), a descontaminação com ultrassom permitiu remoção de resíduos de pesticidas em maior medida do que o uso de imersão em água. Em estudo conduzido por Cengiz et al. (2018), foi investigada a redução de contaminantes em tomates por meio da associação de método eletroquímico (200, 800 e 1.400 mA) e ultrassom (tipo banho ultrassônico a 40 kHz e sonda ultrassônica a 24 kHz), em diferentes intervalos de tempo (2, 4, 6, 8 e 10 min). Estes autores encontraram resultados positivos quanto à eficácia do tratamento e concluíram que esta combinação é promissora para remoção de pesticidas em tomates, sendo que os resíduos de captan, tiametoxam e metalaxyl foram reduzidos na ordem de 94,24, 69,80 e 95,06%, respectivamente. Cengiz et al. (2021) avaliaram efeitos de correntes elétricas de baixa intensidade (200, 800 e 1.400 mA) e ultrassom (24 e 40 kHz), combinados ou não, por 2, 4, 6, 8 e 10 min para a degradação dos resíduos de captan, tioxam e metalaxil, em amostras de alface. Estes autores observaram que a combinação mais eficaz foi obtida com uso de corrente igual a 1.400 mA e ultrassom (24 kHz) por 10 min, que promoveu reduções de 92,57, 81,99 e 93,09% dos resíduos captan, thiametoxam e metalaxyl, respectivamente.) Esta eficiência na remoção de pesticidas com a aplicação do ultrassom é justificada pela cavitação, que gera energia mecânica, a qual se distribui nas superfícies das frutas e hortaliças. Também concorre para a remoção de pesticidas, a formação de radicais hidroxilas, ocasionando a degradação das substâncias (Lozowicka et al., 2016; Cengiz et al., 2018).

8 Impacto do ultrassom nas características físico-químicas e sensoriais, no conteúdo de compostos bioativos e na percepção dos consumidores

A aplicação de ultrassom em alimentos tem mostrado resultados benéficos aliando preservação, ao inativar enzimas e micro-organismos, com manutenção das características sensoriais e físico-químicas do produto (Rojas et al., 2016; Bhat & Goh, 2017; Dolas et al., 2019). Nota-se ainda que o ultrassom pode também melhorar alguns atributos qualitativos dos alimentos, além de manter qualidade nutricional após o tratamento (Dolas et al., 2019). Propriedades, como pH, acidez titulável, sólidos solúveis, cor e capacidade antioxidante, são comumente avaliados para mostrar a efetividade e qualidade do ultrassom como método de processamento em alimentos (Dolas et al., 2019). Carvalho et al. (2020) mostraram que o uso do ultrassom em sucos de açaí e de buriti não afetou significativamente os valores de pH, acidez total titulável e sólidos solúveis desses produtos. Em estudo de Wang et al. (2019), a aplicação de ultrassom em alta intensidade em suco de kiwi mostrou que este método ocasionou a ruptura de células e a consequente liberação dos componentes intracelulares no suco, principalmente na amostra tratada por 16 minutos. Nessa amostra, ainda foi observada grande fragmentação das células vegetais, evidenciada pela quantidade de pequenas partículas na matriz do suco. Em outro estudo conduzido por Lu et al. (2020), os resultados foram promissores: tomates foram tratados com ultrassom de alta intensidade e verificou-se que o conteúdo de fenólicos totais, carotenoides, ácido ascórbico e licopeno aumentou após o tratamento (Lu et al., 2020).

Silva et al. (2016) avaliaram a secagem de melão com uso de ultrassom e vácuo como pré-tratamentos e observaram que a combinação ocasionou a maior retenção de carotenoides, a textura mais suave e, ainda, as diferenças de cor totais mostraram-se semelhantes às encontradas nas frutas secas não tratadas previamente. Segundo esses autores, a retenção de carotenoides pode estar relacionada ao fato de que o vácuo agiu reduzindo o oxigênio disponível para formação de radicais livres (Silva et al., 2016). Cabe destacar que o teor de carotenoide é um parâmetro importante na determinação da qualidade final de frutas termicamente

desidratadas, pois é determinante na cor e na qualidade nutricional do alimento (Silva et al., 2016). Gani et al. (2016) verificaram que a cor do morango se deve especialmente à presença de antocianinas e que a aplicação de ultrassom melhorou a retenção de cor durante o armazenamento de amostras. Todavia, quando aplicado por 60 minutos, não se obteve resultado satisfatório na retenção da cor de morangos durante o armazenamento. Ao discutir qualidade sensorial de um alimento tratado por ultrassom, o estudo de Radziejewska-Kubzdela et al. (2020) com suco de *barberry* mostrou que o tratamento não afetou a aceitabilidade da bebida, bem como as avaliações de cor e aroma mostraram-se positivas no suco tratado, em relação ao produto natural. Estes achados retratam que há variações no impacto ocasionado pelo tratamento com ultrassom e estas podem ser oriundas das condições de tratamento, como tempo, temperatura e frequência, além das características da matriz alimentar e da finalidade de aplicação.

As alterações físicas, principalmente, causadas pelo ultrassom nas células vegetais podem promover o aumento da disponibilidade de compostos sem ocasionar a degradação dos mesmos ou alterar a aparência do produto, melhorando assim a qualidade como um todo (Wang et al., 2019). A aplicação de ultrassom é um método simples e eficaz, também considerado de baixo impacto ao meio ambiente e sustentável, ou seja, reduz o tempo de processamento, o que provoca maior rendimento e menor consumo de energia, retendo as características originais dos alimentos, bem como pode evitar o uso de aditivos como forma de conservação (Jiang et al., 2020).

A inovação industrial no ramo de alimentos mostra-se importante para o aumento da competitividade no mercado e tecnologias de processamento que possam aumentar a qualidade nutricional, o tempo de prateleira e as propriedades sensoriais têm sido as mais promissoras (Coppola & Verneau, 2018; Martins et al., 2019). No entanto, a permanência e o consequente sucesso desses alimentos “novos” dependem da aceitabilidade do consumidor, que, de um modo geral, pode se mostrar receoso quanto ao consumo de produtos alimentícios com os quais não está totalmente familiarizado, principalmente quanto aos benefícios e potenciais riscos (Coppola & Verneau, 2018; Martins et al., 2019).

Ao mesmo tempo, o consumidor está cada vez mais à procura de alimentos que apresentem atributos de saudabilidade e sustentabilidade, além de buscarem um produto mais próximo do natural (Hoek et al., 2017; Roman et al., 2017). Para isso, é importante informar e educar os consumidores sobre tecnologias não convencionais de processamento e preservação de alimentos, e gradualmente ganhar a sua confiança (Pathak & Leong, 2021).

Além da avaliação da eficiência do uso do ultrassom no processamento de alimentos, deve-se compreender os comportamentos, atitudes e conhecimentos dos consumidores frente a essa nova tecnologia (Pathak & Leong, 2021). Há métodos disponíveis para realizar pesquisas de pré-mercado, pesquisas de mercado e pesquisas pós-uso, visando reunir informações significativas que se traduzam em um entendimento das necessidades do consumidor, suas percepções e satisfação (Pathak & Leong, 2021). Neste contexto, pesquisas realizadas com grupos de foco incluindo perguntas abertas e direcionadas (Bolek, 2020; Bearth & Siegrist, 2016; Lima Filho et al., 2015; Lima & Oliveira, 2014), contribuem para a compreensão das relações de comportamento do mercado (Wang et al., 2013). É necessário compreender as diferenças, realizar a gestão dos riscos e examinar as fontes de informação, considerando que os consumidores não mudam de comportamento quando não confiam na informação de segurança dos alimentos (Bolek, 2020). Em pesquisa realizada por Martins et al. (2019) com 423 consumidores brasileiros, associações de conceitos, como processamento industrial ou tecnologias de processamento para alimentos, foram majoritariamente negativas. Isso pode indicar o receio que a população em geral tem em consumir novos produtos ou ainda por não entender como uma nova tecnologia de processamento atua em determinado alimento. Entretanto, pelo fato de o ultrassom ser uma nova tecnologia não térmica, este pode gerar menos características indesejáveis ao alimento, quando comparado aos processamentos térmicos, que podem alterar viscosidade, cheiro, sabor e cor. Além disso, o ultrassom pode ser capaz de melhorar características sensoriais de determinados alimentos (Deng et al., 2018; Jalali et al., 2020).

Tomadoni et al. (2017) realizaram análise sensorial de suco de morango tratado com ultrassom e foi observado que não houve alteração nos atributos de cor e odor do suco sonicado, quando comparado com o sem tratamento ou com o tratado termicamente. Além disso, obtiveram aumento na pontuação dos atributos acidez e doçura, sendo que esses aumentaram quando comparados com os das outras amostras. Ou seja, a aplicação de ultrassom em frutas, hortaliças e seus derivados pode estar relacionada com alterações sensoriais aceitáveis para o consumo humano. Em pesquisa realizada por Shen et al. (2021) com 20 provadores treinados, com idade entre 22 e 28 anos, foram avaliados os seguintes aspectos: intensidade da aparência, odor, sabor e turvação do suco de maçã. Os membros da equipe realizaram avaliações do suco de maçã pasteurizado e o tratado com ultrassom. A qualidade do suco de maçã após o tratamento de ultrassom com temperatura controlada (temperaturas de 30, 40, 50, 60 e 70 °C), potências (525, 975 e 1.125 W) e tempos de exposição (5, 10 e 12 min) aumentou em comparação com o suco pasteurizado. O tratamento de ultrassom com temperatura controlada melhorou as propriedades sensoriais (cor, odor e turvação, exceto o sabor) e melhorou o conteúdo de pectina solúvel em água, enquanto reduzia o tamanho das partículas. Entretanto, é de grande importância investigar e avaliar as atitudes dos consumidores em relação às novas tecnologia de processamento de alimentos e suas expectativas em relação aos novos produtos alimentícios. Desta forma, será possível elaborar campanhas educacionais, encontrar estratégias de *marketing* e transmitir conhecimento sobre a tecnologia e o processo, permitindo que o consumo destes produtos seja aceito pelos consumidores (Mikhrovska et al., 2020).

9 Considerações finais

A utilização do ultrassom no processamento de frutas e hortaliças tem sido amplamente empregada, com resultados positivos em relação às características físico-químicas, nutricionais e microbiológicas destes alimentos. Além disso, esta tecnologia mantém características sensoriais e apresentam boa aceitabilidade pelos consumidores. Desta forma, se torna interessante para aplicação comercial por ser uma tecnologia ambientalmente correta que permite menor tempo de processamento e que apresenta bons resultados, como inativação enzimática, redução de micro-organismos e benefícios na qualidade nutricional. Entretanto, a sua aplicação industrial ainda é um desafio, sendo necessários investimentos e esforços para difundir a pesquisa e suas aplicações em grande escala e a comercialização da tecnologia.

Agradecimentos

Agradecemos ao Fundo de Apoio à Pesquisa (FAP) da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) por todo o apoio ao Programa de Pós-graduação em Nutrição e Saúde da UFES. Agradecemos à Fundação de Apoio à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo (FAPES) pelo apoio financeiro ao projeto número 554/2015 intitulado ‘Novas estratégias na sanitização de hortaliças: uso do ultrassom, ácidos orgânicos, ácido peracético e peróxido de hidrogênio’ e pela bolsa de mestrado concedida ao terceiro autor. Agradecemos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro ao projeto ‘Aplicação do ultrassom no processamento de sucos mistos prebióticos’ e pela bolsa de iniciação científica concedida ao sexto autor.

Referências

- Aadil, R. M., Zeng, X. A., Zhang, Z. H., Wang, M. S., Han, Z., Jing, H., & Jabbar, S. (2015). Thermosonication: A potential technique that influences the quality of grapefruit juice. *International Journal of Food Science & Technology*, 50(5), 1275-1282. <http://dx.doi.org/10.1111/ijfs.12766>
- Abesinghe, A. M. N. L., Islam, N., Vidanarachchi, J. K., Prakash, S., Silva, K. F. S. T., & Karim, M. A. (2019). Effects of ultrasound on the fermentation profile of fermented milk products incorporated with lactic acid bacteria. *International Dairy Journal*, 90, 1-14. <http://dx.doi.org/10.1016/j.idairyj.2018.10.006>

- Adams, G. E., Posener, M. L., Bisby, R. H., Cundall, R. B., & Key, J. R. (1979). Free radical reactions with proteins and enzymes: The inactivation of pepsin. *International Journal of Radiation Biology*, 35(6), 497-507. PMID:383634. <http://dx.doi.org/10.1080/09553007914550611>
- Alenyorege, E. A., Ma, H., & Ayim, I. (2019). Inactivation kinetics of inoculated *Escherichia coli* and *Listeria innocua* in fresh-cut Chinese cabbage using sweeping frequency ultrasound. *Journal of Food Safety*, 6(39), 1-7. <http://dx.doi.org/10.1111/jfs.12696>
- Alvarenga, P. D. L., Vasconcelos, C. M., & São José, J. F. B. (2020). Application of ultrasound combined with acetic acid and peracetic acid: Microbiological and physicochemical quality of strawberries. *Molecules*, 26(1), 1-16. PMID:33375142. <http://dx.doi.org/10.3390/molecules26010016>
- Arvanitoyannis, I. S., Kotsanopoulos, K. V., & Savva, A. G. (2017). Use of ultrasounds in the food industry: Methods and effects on quality, safety, and organoleptic characteristics of foods: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57(1), 109-128. PMID:26462548. <http://dx.doi.org/10.1080/10408398.2013.860514>
- Astráin-Redín, L., Ciudad-Hidalgo, S., Raso, J., Condón, S., Cebrián, G., & Álvarez, I. (2020). Application of high-power ultrasound in the food industry. In S. Karakuş (Ed.), *Sonochemical reactions* (pp. 103-126). London: IntechOpen. <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.90444>
- Azam, S. M. R., Ma, H., Xu, B., Devi, S., Siddique, M. A. B., Stanley, S. L., Bhandari, B., & Zhu, J. (2020). Efficacy of ultrasound treatment in the and removal of pesticide residues from fresh vegetables: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 97(301), 417-432. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2020.01.028>
- Baslar, M., Yildirim, H. B., & Tekin, Z. H. (2016). Handbook of ultrasonics and sonochemistry. In M. Ashokkumar (Ed.), *Handbook of ultrasonics and sonochemistry*. Singapore: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-981-287-470-2>
- Bearth, A., & Siegrist, M. (2016). Are risk or benefit perceptions more important for public acceptance of innovative food technologies: A meta-analysis. *Trends in Food Science & Technology*, 49(1), 14-23. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2016.01.003>
- Bermudez, D. (Ed.). (2017). *Ultrasound: Advances in food processing and preservation* (Vol. 1, Chap. 1, pp. 1-2). London: Academic Press.
- Bhat, R., & Goh, K. M. (2017). Sonication treatment convalesce the overall quality of hand-pressed strawberry juice. *Food Chemistry*, 215, 470-476. PMID:27542500. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.07.160>
- Bi, X., Hemar, Y., Balaban, M. O., & Liao, X. (2015). The effect of ultrasound on particle size, color, viscosity and polyphenol oxidase activity of diluted avocado puree. *Ultrasonics Sonochemistry*, 27, 567-575. PMID:25899308. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ultsonch.2015.04.011>
- Bolek, S. (2020). Consumer knowledge, attitudes, and judgments about food safety: A consumer analysis. *Trends in Food Science & Technology*, 102, 242-248. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2020.03.009>
- Bozkir, H., Rayman Ergün, A., Serdar, E., Metin, G., & Baysal, T. (2019). Influence of ultrasound and osmotic dehydration pretreatments on drying and quality properties of persimmon fruit. *Ultrasonics Sonochemistry*, 54, 135-141. PMID:30765216. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ultsonch.2019.02.006>
- Brasil. Ministério da Saúde. (2019). *Surtos de doenças transmitidas por alimentos no Brasil*. Recuperado em 2 de dezembro de 2020, de <https://portalarquivos2.saude.gov.br/images/pdf/2019/fevereiro/15/Apresenta----o-Surtos-DTA---Fevereiro-2019.pdf>
- Calvo, H., Redondo, D., Rémon, S., Venturini, M. E., & Arias, E. (2019). Efficacy of electrolyzed water, chlorine dioxide and photocatalysis for disinfection and removal of pesticide residues from stone fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 148, 22-31. <http://dx.doi.org/10.1016/j.postharvbio.2018.10.009>
- Cao, X., Cai, X., Wang, Y., & Zheng, X. (2018). The inactivation kinetics of polyphenol oxidase and peroxidase in bayberry juice during thermal and ultrasound treatments. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 45, 169-178. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ifset.2017.09.018>
- Carvalho, L. M. S., Lemos, M. C. M., Sanches, E. A., da Silva, L. S., de Araújo Bezerra, J., & Aguiar, J. P. L. (2020). Improvement of the bioaccessibility of bioactive compounds from Amazon fruits treated using high energy ultrasound. *Ultrasonics Sonochemistry*, 67, 105148. PMID:32388313. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ultsonch.2020.105148>
- Cengiz, M. F., Basançelebi, O., Baslar, M., & Certel, M. (2021). A novel technique for the reduction of pesticide residues by a combination of low-intensity electrical current and ultrasound applications: A study on lettuce samples. *Food Chemistry*, 354, 129360. PMID:33735697. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129360>
- Cengiz, M. F., Baslar, M., Basançelebi, O., & Kiliçi, M. (2018). Reduction of pesticide residues from tomatoes by low intensity electrical current and ultrasound applications. *Food Chemistry*, 267, 60-66. PMID:29934190. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.08.031>
- Cervantes-Elizarrarás, A., Piloni-Martini, J., Ramirez-Moreno, E., Alanis-Garcia, E., Guemes-Vera, N., Gomez-Aldapa, C. A., Zafra-Rojas, Q. Y., & Cruz-Cansino, N. (2017). Enzymatic inactivation and antioxidant properties of blackberry juice after thermoultrasound: Optimization using response surface methodology. *Ultrasonics Sonochemistry*, 34, 371-379. PMID:27773259. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ultsonch.2016.06.009>
- Chen, F., Zhang, M., & Yang, C.-H. (2020). Application of ultrasound technology in processing of ready-to-eat fresh food: A review. *Ultrasonics Sonochemistry*, 63, 104953. PMID:31945555. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ultsonch.2019.104953>
- 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. PMID:26703199. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ultsonch.2015.11.026>
- Cheng, F., Zhang, M., & Adhikari, B. (2013). The inactivation kinetics of polyphenol oxidase in mushroom (*Agaricus bisporus*) during thermal and thermosonic treatments. *Ultrasonics Sonochemistry*, 20(2), 674-679. PMID:23102768. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ultsonch.2012.09.012>

- Coppola, A., & Verneau, F. (2018). Food neophobia in consumers. In G. W. Smithers (Ed.), *Reference module in food science*. Amsterdam: Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.21442-X>
- Cruz, M. R. G., Leite, Y. J. B. S., Marques, J. L., Pavelquesi, S. L. S., Oliveira, L. R. A., Silva, I. C. R., & Orsi, D. C. (2019). Microbiological quality of minimally processed vegetables commercialized in Brasília, DF, Brazil. *Food Science and Technology*, 39(Supl. 2), 498-503. <http://dx.doi.org/10.1590/fst.16018>
- De Corato, U. (2020). Improving the shelf-life and quality of fresh and minimally-processed fruits and vegetables for a modern food industry: A comprehensive critical review from the traditional technologies into the most promising advancements. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 60(6), 940-975. PMID:30614263. <http://dx.doi.org/10.1080/10408398.2018.1553025>
- Deng, Y., Bi, H., Yin, H., Yu, J., Dong, J., Yang, M., & Ma, Y. (2018). Influence of ultrasound assisted thermal processing on the physicochemical and sensorial properties of beer. *Ultrasonics Sonochemistry*, 40(Pt A), 166-173. PMID:28946410. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ultsonch.2017.07.017>
- Denoya, G. I., Vaudagna, S. R., Chamorro, V. C., Godoy, M. F., Budde, C. O., & Polenta, G. A. (2017). Suitability of different varieties of peaches for producing minimally processed peaches preserved by high hydrostatic pressure and selection of process parameters. *Lebensmittel-Wissenschaft + Technologie*, 78, 367-372. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2017.01.006>
- Ding, T., Ge, Z., Shi, J., Xu, Y. T., Jones, C. L., & Liu, D. H. (2015). Impact of slightly acidic electrolyzed water (SAEW) and ultrasound on microbial loads and quality of fresh fruits. *Lebensmittel-Wissenschaft + Technologie*, 60(2), 1195-1199. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2014.09.012>
- Dolas, R., Saravanan, C., & Kaur, B. P. (2019). Emergence and era of ultrasonic's in fruit juice preservation: A review. *Ultrasonics Sonochemistry*, 58, 104609. PMID:31450377. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ultsonch.2019.05.026>
- Doltade, S. B., Dastane, G. G., Jadhav, N. L., Pandit, A. B., Pinjari, D. V., Somkuwar, N., & Paswan, R. (2019). Hydrodynamic cavitation as an imperative technology for the treatment of petroleum refinery effluent. *Journal of Water Process Engineering*, 29, 100768. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jwpe.2019.02.008>
- Fan, K., Zhang, M., & Jiang, F. (2019). Ultrasound treatment to modified atmospheric packaged fresh-cut cucumber: Influence on microbial inhibition and storage quality. *Ultrasonics Sonochemistry*, 54, 162-170. PMID:30755388. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ultsonch.2019.02.003>
- Ferrario, M., & Guerrero, S. (2016). Effect of a continuous flow-through pulsed light system combined with ultrasound on microbial survivability, color and sensory shelf life of apple juice. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 34, 214-224. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ifset.2016.02.002>
- Gallo, M., Ferrara, L., & Naviglio, D. (2018). Application of ultrasound in food science and technology: A perspective. *Foods*, 7(10), 164. PMID:30287795. <http://dx.doi.org/10.3390/foods7100164>
- Gani, A., Baba, W. N., Ahmad, M., Shah, U., Khan, A. A., Wani, I. A., Masoodi, F. A., & Gani, A. (2016). Effect of ultrasound treatment on physico-chemical, nutraceutical and microbial quality of strawberry. *Lebensmittel-Wissenschaft + Technologie*, 66, 496-502. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2015.10.067>
- Gomes, W. F., Tiwari, B. K., Rodriguez, Ó., Brito, E. S., Fernandes, F., & Rodrigues, S. (2017). Effect of ultrasound followed by high pressure processing on prebiotic cranberry juice. *Food Chemistry*, 218, 261-268. PMID:27719908. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.08.132>
- Gracin, L., Jambrak, A. R., Juretić, H., Dobrović, S., Barukčić, I., Grozdanović, M., & Smoljanić, G. (2016). Influence of high power ultrasound on *Brettanomyces* and lactic acid bacteria in wine in continuous flow treatment. *Applied Acoustics*, 103, 143-147. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apacoust.2015.05.005>
- Hernández-Hernández, H. M., Moreno-Vilet, L., & Villanueva-Rodríguez, S. J. (2018). Current status of emerging food processing technologies in Latin America: Novel non-thermal processing. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 58, 102233. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ifset.2019.10.2233>
- Hoek, A. C., Pearson, D., James, S. W., Lawrence, M. A., & Friel, S. (2017). Shrinking the food-print: A qualitative study into consumer perceptions, experiences and attitudes towards healthy and environmentally friendly food behaviours. *Appetite*, 108, 117-131. PMID:27686818. <http://dx.doi.org/10.1016/j.appet.2016.09.030>
- Jalali, M., Sheikholeslami, Z., Elhamirad, A. H., Khodaparast, M. H. H., & Karimi, M. (2020). The effect of the ultrasound process and pre-gelatinization of the corn flour on the textural, visual, and sensory properties in gluten-free pan bread. *Journal of Food Science and Technology*, 57(3), 993-1002. PMID:32123420. <http://dx.doi.org/10.1007/s13197-019-04132-7>
- Jambrak, R. A., Šimunek, M., Evačić, S., Markov, K., Smoljanić, G., & Frece, J. (2018). Influence of high-power ultrasound on selected moulds, yeasts and *Alicyclobacillus acidoterrestris* in apple, cranberry and blueberry juice and nectar. *Ultrasonics*, 83, 3-17. PMID:28242037. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ultras.2017.02.011>
- Jiang, Q., Zhang, M., & Xu, B. (2020). Application of ultrasonic technology in postharvested fruits and vegetables storage: A review. *Ultrasonics Sonochemistry*, 69, 105261. PMID:32702635. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ultsonch.2020.10.5261>
- Jin, T. Z., Yu, Y., & Gurtler, J. B. (2017). Effects of pulsed electric field processing on microbial survival, quality change and nutritional characteristics of blueberries. *Lebensmittel-Wissenschaft + Technologie*, 77, 517-524. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2016.12.009>
- Kaci, M., Arab-Tehrany, E., Desjardins, I., Banon-Desobry, S., & Desobry, S. (2017). Emulsifier free emulsion: Comparative study between a new high frequency ultrasound process and standard emulsification processes. *Journal of Food Engineering*, 194, 109-118. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.09.006>
- Khadhraoui, B., Fabiano-Tixier, A.-S., Robinet, P., Imbert, R., & Chemat, F. (2019). Ultrasound technology for food processing, preservation, and extraction. In F. Chémat & E. Vorobiev (Eds.), *Green food processing techniques: Preservation, transformation and extraction* (pp. 23-56). London: Academic Press. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-815353-6.00002-1>

- Khan, S. A., Dar, A. H., Bhat, S. A., Fayaz, J., Makroo, H. A., & Dwivedi, M. (2020). High Intensity ultrasound processing in liquid foods. *Food Reviews International*. No prelo. <http://dx.doi.org/10.1080/87559129.2020.1768404>
- Khandpur, P., & Gogate, R. P. (2015). Understanding the effect of novel approaches based on ultrasound on sensory profile of orange juice. *Ultrasonics Sonochemistry*, 27, 87-95. PMID:26186824. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ultsonch.2015.05.001>
- Lepaus, B. M., Rocha, J. S., & São José, J. F. B. (2020). Organic acids and hydrogen peroxide can replace chlorinated compounds as sanitizers on strawberries, cucumbers and rocket leaves. *Food Science and Technology*, 40(Supl. 1), 242-249. <http://dx.doi.org/10.1590/fst.09519>
- Liao, X., Li, J., Suo, Y., Chen, S., Ye, X., Liu, D., & Ding, T. (2018). Multiple action sites of ultrasound on *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus*. *Food Science and Human Wellness*, 7(1), 102-109. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fshw.2018.01.002>
- Lima Filho, T., Della Lucia, S. M., Moulin, L. R., & Scolforo, C. A. Z. (2015). Qualitative study on the perceptions and attitudes of brazilians toward irradiated foods. *Journal of Sensory Studies*, 30(3), 237-246. <http://dx.doi.org/10.1111/joss.12154>
- Lima, A. L. B., & Oliveira, A. G. R. C. (2014). Atitudes e conhecimento dos consumidores sobre os alimentos irradiados: Um inquérito conduzido em Natal, Brasil. *Vigilância Sanitária em Debate: Sociedade, Ciência & Tecnologia*, 2(2), 81-87. <http://dx.doi.org/10.3395/vd.v2i2.172>
- Lozowicka, B., Jankowska, M., Hrynko, I., & Kaczynski, P. (2016). Removal of 16 pesticide residues from strawberries by washing with tap and ozone water, ultrasonic cleaning and boiling. *Environmental Monitoring and Assessment*, 188(1), 51. PMID:26694708. <http://dx.doi.org/10.1007/s10661-015-4850-6>
- Lu, C., Ding, J., Park, H. K., & Feng, H. (2020). High intensity ultrasound as a physical elicitor affects secondary metabolites and antioxidant capacity of tomato fruits. *Food Control*, 113, 107176. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107176>
- Madhu, B., Srinivas, M. S., Srinivas, G., & Jain, S. K. (2019). Ultrasonic technology and its applications in quality control, processing and preservation of food: A review. *Current Journal of Applied Science and Technology*, 32(5), 1-11. <http://dx.doi.org/10.9734/CJAST/2019/46909>
- Martins, I. B. A., Oliveira, D., Rosenthal, A., Ares, G., & Deliza, R. (2019). Brazilian consumer's perception of food processing technologies: A case study with fruit juice. *Food Research International*, 125, 108555. PMID:31554093. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108555>
- Mason, T. J., & Vinatoru, M. (2017). Ultrasonically assisted extraction in food processing and the challenges of integrating ultrasound into the food industry. In M. Villamiel, A. Montilla, J. V. García-Pérez, J. A. Cárcel & J. Benedito (Eds.), *Ultrasound in food processing* (pp. 329-353). Chichester: John Wiley & Sons. <http://dx.doi.org/10.1002/9781118964156.ch12>
- Menelli, G. S., Fracalossi, K. L., Lepaus, B. M., & São José, J. F. B. (2021). Effects of high-intensity ultrasonic bath on the quality of strawberry juice. *CYTA: Journal of Food*, 19(1), 501-510. <http://dx.doi.org/10.1080/19476337.2021.1918768>
- Mikhrovska, M., Käferböck A., Skarzynska E., & Witrowa-rajchert D. (2020). Consumer attitudes regarding the use of pef In European Union: The example of poland. In F. J. Barba, O. Parniakov & A. Wiktor (Eds.), *Pulsed electric fields to obtain healthier and sustainable food for tomorrow* (pp. 311-325). London: Academic Press. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-816402-0.00014-8>
- Misra, N. N., Koubaa, M., Roohinejad, S., Juliano, P., Alpas, H., Inácio, R. S., Saraiva, J. A., & Barba, F. J. (2017). Landmarks in the historical development of twenty first century food processing technologies. *Food Research International*, 97, 318-339. PMID:28578057. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2017.05.001>
- Nascimento, E. M. G. C., Mulet, A., Ascheri, J. L. R., De Carvalho, C. W. P., & Cárcel, J. A. (2015). Effects of high-intensity ultrasound on drying kinetics and antioxidant properties of passion fruit peel. *Journal of Food Engineering*, 170, 108-118. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.09.015>
- Neto, L., Millan-Sango, D., Brincat, J.-P., Cunha, L. M., & Valdramidis, V. P. (2019). Impact of ultrasound decontamination on the microbial and sensory quality of fresh produce. *Food Control*, 104, 262-268. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodcont.2019.04.047>
- Nicolau-Lapeña, I., Lafarga, T., Viñas, I., Abadias, M., Bobo, G., & Aguiló-Aguayo, I. (2019). ultrasound processing alone or in combination with other chemical or physical treatments as a safety and quality preservation strategy of fresh and processed fruits and vegetables: A review. *Food and Bioprocess Technology*, 12(9), 1452-1471. <http://dx.doi.org/10.1007/s11947-019-02313-y>
- Ojha, K. S., Mason, T. J., O'Donnell, C. P., Kerry, J. P., & Tiwari, B. K. (2017). Ultrasound technology for food fermentation applications. *Ultrasonics Sonochemistry*, 34, 410-417. PMID:27773263. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ultsonch.2016.06.001>
- Ojha, K. S., Tiwari, B. K., & O'Donnell, C. P. (2018). Effect of ultrasound technology on food and nutritional quality. *Advances in Food and Nutrition Research*, 84, 207-240. PMID:29555070. <http://dx.doi.org/10.1016/bs.afnr.2018.01.001>
- Oliveira, F. I. P. (2014). *Influência do pré-tratamento ultrassom e desidratação osmótica na secagem, cor, textura e enzimas do mamão formosa* (Dissertação de mestrado). Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.
- Ozuna, C., Paniagua-Martínez, I., Castaño-Tostado, E., Ozimek, L., & Amaya-Llano, S. L. (2015). Innovative applications of high-intensity ultrasound in the development of functional food ingredients: Production of protein hydrolysates and bioactive peptides. *Food Research International*, 77, 685-696. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2015.10.015>
- Park, J.-B., Kang, J. H., & Song, K. (2018). Improving the microbial safety of fresh-cut endive with a combined treatment of cinnamon leaf oil emulsion containing cationic surfactants and ultrasound. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, 28(4), 503-509. PMID:29385665. <http://dx.doi.org/10.4014/jmb.1711.11018>
- Pathak, R., & Leong, T. (2021). Consumer acceptability of ultrasonically processed foods. In K. Knoerzer & K. Muthukumarappan (Eds.), *Innovative food processing technologies: A comprehensive review* (pp. 504-518). Amsterdam: Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-815781-7.00024-X>

- Pelissari, E. M. R., Covre, K. V., Rosário, D. K. A., & São José, J. F. B. (2021). Application of chemometrics to assess the influence of ultrasound and chemical sanitizers on vegetables: Impact on natural microbiota, *Salmonella* Enteritidis and physicochemical nutritional quality. *Lebensmittel-Wissenschaft + Technologie*, *148*, 111711. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111711>
- Peña-Gonzalez, E., Alarcon-Rojo, A. D., Garcia-Galicia, I., Carrillo-Lopez, L., & Huerta-Jimenez, M. (2019). Ultrasound as a potential process to tenderize beef: Sensory and technological parameters. *Ultrasonics Sonochemistry*, *53*, 134-141. PMID:30639205. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ultsonch.2018.12.045>
- Pinela, J., & Ferreira, I. C. F. R. (2017). Nonthermal physical technologies to decontaminate and extend the shelf-life of fruits and vegetables: Trends aiming at quality and safety. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *57*(10), 2095-2111. PMID:26192014. <http://dx.doi.org/10.1080/10408398.2015.1046547>
- Putnik, P., Bursać Kovačević, D., Herceg, K., Roohinejad, S., Greiner, R., Bekhit, A. E. D. A., & Levaj, B. (2017). Modelling the shelf-life of minimally-processed fresh-cut apples packaged in a modified atmosphere using food quality parameters. *Food Control*, *81*, 55-64. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodcont.2017.05.026>
- Radziejewska-Kubzdela, E., Szwengiel, A., Ratajkiewicz, H., & Nowak, K. (2020). Effect of ultrasound, heating and enzymatic pre-treatment on bioactive compounds in juice from *Berberis amurensis* Rupr. *Ultrasonics Sonochemistry*, *63*, 104971. PMID:31958706. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ultsonch.2020.104971>
- Rodríguez, Ó., Eim, V., Rosselló, C., Femenia, A., Cárcel, J. A., & Simal, S. (2018). Application of power ultrasound on the convective drying of fruits and vegetables: Effects on quality. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *98*(5), 1660-1673. PMID:28906555. <http://dx.doi.org/10.1002/jsfa.8673>
- Rojas, M. L., Leite, T. S., Cristianini, M., Alvim, I. D., & Augusto, P. E. D. (2016). Peach juice processed by the ultrasound technology: Changes in its microstructure improve its physical properties and stability. *Food Research International*, *82*, 22-33. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2016.01.011>
- Roman, S., Sánchez-Siles, L. M., & Siegrist, M. (2017). The importance of food naturalness for consumers: Results of a systematic review. *Trends in Food Science & Technology*, *67*, 44-57. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2017.06.010>
- Roohinejad, S., Koubaa, M., Sant'Ana, A. S., & Greiner, R. (2018). Mechanisms of microbial inactivation by emerging technologies. In F. J. Barba, A. S. Sant'Ana, V. Orlien & M. Koubaa (Eds.), *Innovative technologies for food preservation: Inactivation of spoilage and pathogenic microorganisms*. London: Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-811031-7.00004-2>
- Rosario, D. K. A., Duarte, A. L. A., Madalao, M. C. M., Libardi, M. C., Teixeira, L. J. Q., Conte-Junior, C. A., & Bernardes, P. C. (2018). Ultrasound improves antimicrobial effect of sodium hypochlorite and instrumental texture on fresh-cut yellow melon. *Journal of Food Quality*, *2018*, 1-7. <http://dx.doi.org/10.1155/2018/2936589>
- Rosário, D. K. A., Silva Mutz, Y., Peixoto, J. M. C., Oliveira, S. B. S., Carvalho, R. V., Carneiro, J. C. S., São José, J. F. B., & Bernardes, P. C. (2017). Ultrasound improves chemical reduction of natural contaminant microbiota and *Salmonella enterica* subsp. *enterica* on strawberries. *International Journal of Food Microbiology*, *241*, 23-29. PMID:27743521. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2016.10.009>
- Saini, R. K., Ko, E. Y., & Keum, Y. S. (2017). Minimally processed ready-to-eat baby-leaf vegetables: Production, processing, storage, microbial safety, and nutritional potential. *Food Reviews International*, *33*(6), 644-663. <http://dx.doi.org/10.1080/87559129.2016.1204614>
- Sajid, M., & Alhooshani, K. (2020). Ultrasound-assisted solvent extraction of organochlorine pesticides from porous membrane packed tea samples followed by GC-MS analysis. *Microchemical Journal*, *152*, 104464. <http://dx.doi.org/10.1016/j.microc.2019.104464>
- Sant'Anna, P. B., Melo Franco, B. D. G., & Maffei, D. F. (2020). Microbiological safety of ready-to-eat minimally processed vegetables in Brazil: An overview. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *100*(13), 4664-4670. PMID:32329100. <http://dx.doi.org/10.1002/jsfa.10438>
- Santos, T., Campos, F., Padovani, N., Dias, M., Mendes, M., & Maffei, D. (2020). Assessment of the microbiological quality and safety of minimally processed vegetables sold in Piracicaba, SP, Brazil. *Letters in Applied Microbiology*, *71*(2), 187-194. PMID:32365403. <http://dx.doi.org/10.1111/lam.13305>
- São José, J. F. B., Andrade, N. J., Ramos, A. M., Vanetti, M. C. D., Stringheta, P. C., & Chaves, J. B. P. (2014). Decontamination by ultrasound application in fresh fruits and vegetables. *Food Control*, *45*, 36-50. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodcont.2014.04.015>
- São José, J. F. B., Medeiros, H. S., De Andrade, N. J., Ramos, A. M., & Vanetti, M. C. D. (2018). Effect of ultrasound and chemical compounds on microbial contamination, physicochemical parameters and bioactive compounds of cherry tomatoes. *Italian Journal of Food Science*, *30*(3), 467-486. <http://dx.doi.org/10.14674/IJFS-1015>
- Saw, S. H., Mak, J. L., Tan, M. H., Teo, S. T., Tan, T. Y., Cheow, M. Y. K., Ong, C. A., Chen, S. N., Yeo, S. K., Kuan, C. S., New, C. Y., Radu, S., Phuah, E. T., Thung, T. Y., & Kuan, C. H. (2020). Detection and quantification of *Salmonella* in fresh vegetables in perak, Malaysia. *Food Research*, *4*(2), 441-448. [http://dx.doi.org/10.26656/fr.2017.4\(2\).316](http://dx.doi.org/10.26656/fr.2017.4(2).316)
- Sfakianakis, P., Topakas, E., & Tzia, C. (2015). Comparative study on high-intensity ultrasound and pressure milk homogenization: Effect on the kinetics of yogurt fermentation process. *Food and Bioprocess Technology*, *8*(3), 548-557. <http://dx.doi.org/10.1007/s11947-014-1412-9>
- Shen, Y., Zhu, D., Xi, P., Cai, T., Cao, X., Liu, H., & Li, J. (2021). Effects of temperature-controlled ultrasound treatment on sensory properties, physical characteristics and antioxidant activity of cloudy apple juice. *Lebensmittel-Wissenschaft + Technologie*, *142*, 111030. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111030>
- Shi, H., Zhang, X., Chen, X., Fang, R., Zou, Y., Wang, D., & Xu, W. (2020). How ultrasound combined with potassium alginate marination tenderizes old chicken breast meat: Possible mechanisms from tissue to protein. *Food Chemistry*, *328*, 127144. PMID:32474242. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127144>

- Silva, G. D., Barros, Z. M. P., Medeiros, R. A. B., Carvalho, C. B. O., Rupert Brandão, S. C., & Azoubel, P. M. (2016). Pretreatments for melon drying implementing ultrasound and vacuum. *Lebensmittel-Wissenschaft + Technologie*, 74, 114-119. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2016.07.039>
- Silva, R. C., Lee, J., Gibon, V., & Martini, S. (2017). Effects of high intensity ultrasound frequency and high-speed agitation on fat crystallization. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 94(8), 1063-1076. <http://dx.doi.org/10.1007/s11746-017-3009-8>
- Singla, M., & Sit, N. (2021). Application of ultrasound in combination with other technologies in food processing: A review. *Ultrasonics Sonochemistry*, 73, 105506. PMID:33714087. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ultsonch.2021.105506>
- Sousa, L. S., Cabral, B. V., Madrona, G. S., Cardoso, V. L., & Reis, M. H. M. (2016). Purification of polyphenols from green tea leaves by ultrasound assisted ultrafiltration process. *Separation and Purification Technology*, 168, 188-198. <http://dx.doi.org/10.1016/j.seppur.2016.05.029>
- Spinei, M., & Oroian, M. (2021). The influence of osmotic treatment assisted by ultrasound on the physico-chemical characteristics of blueberries (*Vaccinium myrtillus* L.). *Ultrasonics*, 110, 106298. PMID:33227685. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ultras.2020.106298>
- Sudheesh, C., & Sunooj, K. V. (2020). Cold plasma processing of fresh-cut fruits and vegetables. In M. W. Siddiqui (Ed.), *Fresh-cut fruits and vegetables: Technologies and mechanisms for safety control*. Cham: Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-816184-5.00014-8>
- Sulaiman, A., Soo, M. J., Farid, M., & Silva, F. V. M. (2015). Thermo-sonication for polyphenoloxidase inactivation in fruits: Modeling the ultrasound and thermal kinetics in pear, apple and strawberry purees at different temperatures. *Journal of Food Engineering*, 165, 133-140. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.06.020>
- Téllez-Morales, J. A., Hernández-Santo, B., & Rodríguez-Miranda, J. (2020). Effect of ultrasound on the techno-functional properties of food components/ingredients: A review. *Ultrasonics Sonochemistry*, 61, 104787. PMID:31669842. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ultsonch.2019.104787>
- Tomadoni, B., Cassani, L., Viacava, G., Moreira, M. D. R., & Ponce, A. (2017). Effect of ultrasound and storage time on quality attributes of strawberry juice. *Journal of Food Process Engineering*, 40(5), e12533. <http://dx.doi.org/10.1111/jfpe.12533>
- Tremarin, A., Brandão, T. R. S., & Silva, C. L. M. (2017). Application of ultraviolet radiation and ultrasound treatments for *Alicyclobacillus acidoterrestris* spores inactivation in apple juice. *Lebensmittel-Wissenschaft + Technologie*, 78, 138-142. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2016.12.039>
- Trojanowska, A., Tsibranska, I., Dzhonova, D., Wroblewska, M., Haponska, M., Jovancic, P., Marturano, V., & Tylkowski, B. (2019). Ultrasound-assisted extraction of biologically active compounds and their successive concentration by using membrane processes. *Chemical Engineering Research & Design*, 147, 378-389. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cherd.2019.05.018>
- Villamiel, M., Riera, E., & García-Pérez, J. V. (2019). The Use of Ultrasound for Drying, Degassing and Defoaming of Foods. *Innovative Food Processing Technologies*, 1, 415-438. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.22957-0>
- Wang, C., Huang, H., Hsu, C., & Yang, B. B. (2016). Recent advances in food processing using high hydrostatic pressure technology. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 56(4), 527-540. PMID:25629307. <http://dx.doi.org/10.1080/10408398.2012.745479>
- Wang, D., Yan, L., Ma, X., Wang, W., Zou, M., Zhong, J., Ding, T., Ye, X., & Liu, D. (2018). Ultrasound promotes enzymatic reactions by acting on different targets: Enzymes, substrates and enzymatic reaction systems. *International Journal of Biological Macromolecules*, 119, 453-461. PMID:30041035. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.07.133>
- Wang, H., Zhang, X., Ortega, D., & Widmar, N. J. O. (2013). Information on food safety, consumer preference and behavior: The case of seafood in the us h. *Food Control*, 33(1), 293-300. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodcont.2013.02.033>
- Wang, J., & Fan, L. (2019). Effect of ultrasound treatment on microbial inhibition and quality maintenance of green asparagus during cold storage. *Ultrasonics Sonochemistry*, 58, 104631. PMID:31450383. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ultsonch.2019.104631>
- Wang, J., Liu, Q., Xie, B., & Sun, Z. (2020a). Effect of ultrasound combined with ultraviolet treatment on microbial inactivation and quality properties of mango juice. *Ultrasonics Sonochemistry*, 64, 105000. PMID:32106065. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ultsonch.2020.105000>
- Wang, J., Wang, J., Vanga, S. K., & Raghavan, V. (2020b). High-intensity ultrasound processing of kiwifruit juice: Effects on the microstructure, pectin, carbohydrates and rheological properties. *Food Chemistry*, 313, 126121. PMID:31923870. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.126121>
- Wang, J., Wang, J., Ye, J., Vanga, S. K., & Raghavan, V. (2019). Influence of high-intensity ultrasound on bioactive compounds of strawberry juice: Profiles of ascorbic acid, phenolics, antioxidant activity and microstructure. *Food Control*, 96, 128-136. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodcont.2018.09.007>
- Walti-Chanes, J., Morales-de la Peña, M., Jacobo-Velázquez, D. A., & Martín-Belloso, O. (2017). Opportunities and challenges of ultrasound for food processing: An industry point of view. In D. Bermúdez-Aguirre (Ed.), *Ultrasound: Advances in food processing and preservation*. London: Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804581-7.00019-1>
- Wu, T., Yu, X., Hu, A., Zhang, L., Jin, Y., & Abid, M. (2015). Ultrasonic disruption of yeast cells: Underlying mechanism and effects of processing parameters. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 28, 59-65. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ifset.2015.01.005>
- Yeoh, W. K., & Ali, A. (2017). Ultrasound treatment on phenolic metabolism and antioxidant capacity of fresh-cut pineapple during cold storage. *Food Chemistry*, 216, 247-253. PMID:27596416. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.07.074>
- Zhang, P., Zhu, Z., & Sun, D. W. (2018). Using power ultrasound to accelerate food freezing processes: Effects on freezing efficiency and food microstructure. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 58(16), 2842-2853. PMID:29851500. <http://dx.doi.org/10.1080/10408398.2018.1482528>
- Zhang, Z., Niu, L., Li, D., Liu, C., Ma, R., Song, J., & Zhao, J. (2017). Low intensity ultrasound as a pretreatment to drying of daylilies: Impact on enzyme inactivation, color changes and nutrition quality parameters. *Ultrasonics Sonochemistry*, 36, 50-58. PMID:28069238. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ultsonch.2016.11.007>

Zhao, J., Meng, Z., Zhao, Z., & Zhao, L. (2020). Ultrasound-assisted deep eutectic solvent as green and efficient media combined with functionalized magnetic multi-walled carbon nanotubes as solid-phase extraction to determine pesticide residues in food products. *Food Chemistry*, 310, 125863. PMID:31835214. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125863>

Zhu, Y., Zhang, T., Xu, D., Wang, S., Yuan, Y., He, S., & Cao, Y. (2019). The removal of pesticide residues from pakchoi (*Brassica rape L. ssp. chinensis*) by ultrasonic treatment. *Food Control*, 95, 176-180. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodcont.2018.07.039>

Financiamento: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação / Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), projeto - 426762/2018-5; Fundação Estadual de Amparo à Pesquisa do Estado do Espírito Santo (FAPES), projeto nº. 554/2015.

Received: Dec. 02, 2020; Accepted: June 11, 2021