

TERMOSSONICAÇÃO: APLICAÇÕES EM PRODUTOS ALIMENTÍCIOS

Rafaella Silva Moura¹; José Ricardo Hassel Lopes¹; Adriano Gomes da Cruz¹

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro (IFRJ), Departamento de Alimentos, Rio de Janeiro, Brasil.

Resumo

Os tratamentos térmicos convencionais têm sido aplicados em produtos alimentícios, no intuito de promover qualidade microbiológica aos mesmos. Por outro lado, esses tratamentos podem impactar negativamente nas características físico-químicas e sensoriais bem como desencadear diminuição do valor nutritivo dos alimentos. Logo, as indústrias alimentícias estão cada vez mais recorrendo a tratamentos térmicos alternativos com objetivo de desenvolver alimentos com elevado valor nutricional. Entre esses tratamentos térmicos alternativos podemos citar a termossonicação, que é uma técnica baseada em ondas sonoras com frequência que excede o limite de audição do ouvido humano (20KHz) combinadas, simultaneamente, ao calor. Através dela é possível inativar microrganismos e enzimas, aumentar a viscosidade, promover aumento da biodisponibilidade de compostos bioativos, substituindo assim, os tratamentos térmicos convencionais sem impactar na qualidade nutricional e sensoriais dos produtos alimentícios.

Palavras-chaves: Tratamentos térmicos alternativos; Indústria de Alimentos; Pasteurização.

1. Introdução

Os tratamentos térmicos convencionais, como pasteurização e esterilização têm sido aplicados em produtos alimentícios, no intuito de promover qualidade microbiológica aos mesmos. Por outro lado, esses tratamentos podem impactar negativamente nas características físico-químicas e sensoriais bem como desencadear diminuição do valor nutritivo dos alimentos. Logo, as indústrias alimentícias estão cada vez mais recorrendo a tratamentos térmicos alternativos com objetivo de desenvolver alimentos com maior valor nutricional, uma vez que, é notório a maior exigência desses produtos pelos consumidores. Neste contexto a termossonicação tem se mostrado uma técnica promissora, mas que ainda necessita de muitos estudos para elucidar todos os aspectos de sua aplicação na linha de produção.

A termossonicação é definida como ondas sonoras com frequência que excede o limite de audição do ouvido humano (20KHz) combinadas, simultaneamente, ao calor. Através dessa técnica é possível obter inúmeras vantagens, como: aumento na destruição/inativação das células microbianas; aumento do valor nutricional dos alimentos; inativação enzimática e preservação ambiental (Alcántara-Zavala et al, 2021). Com base nisso, ela pode ser empregada em diversos tipos de alimentos, entre eles: produtos cárneos, laticínios, frutas e vegetais. Portanto, o objetivo dessa revisão foi sumarizar as evidências encontradas na literatura acerca da técnica de termossonicação aplicada na indústria de alimentos.

2. Material e Métodos

Para realização desta revisão, foram levantadas as publicações existentes especializadas da área em análise: livros eletrônicos e artigos acadêmicos disponíveis para consulta eletrônica em bases de dados Pubmed, Scientific Electronic Library Online (SCIELO), dentre outras, no período de 2019-2021. Foram utilizados apenas os artigos publicados na íntegra, apresentando como fatores de inclusão os termos: Termossonicação; tratamentos térmicos alternativos; termossonicação aplicada em produtos lácteos; termossonicação aplicada em cereais; termossonicação aplicada em carnes. As estratégias de busca estabelecidas foram baseadas em suas combinações

nas línguas portuguesa e inglesa, utilizando os operadores booleanos AND e OR.

Foram excluídos dos estudos de revisão da literatura, estudos que não obtiveram conclusões significativas, estudos duplicados e estudos que não eram relacionados a área alimentícia. A busca inicial resultou em 36 artigos, sendo: 34 (Pubmed) e 2 (SciELO).

As bases de dados: fontes de informação, estratégias de busca correspondentes e o número de artigos encontrados estão registrados no quadro 01.

Quadro 1. Bases de dados, estratégias de busca e resultado de artigos encontrados.

FONTES DE INFORMAÇÃO	ESTRATÉGICA DE BUSCA	RESULTADOS
PUBMED	Termossonication	34
	Alternative Heat Treatments	
SCIELO	Termossonicação;	2
	Tratamentos térmicos alternativos;	
	Termossonicação aplicada em produtos lácteos;	
	Termossonicação aplicada em cereais;	
	Termossonicação aplicada em carnes.	

Posteriormente à coleta de dados, foi realizada a seleção dos artigos, de acordo com critérios de inclusão e exclusão previamente definidos, sendo assim, excluídos 4 artigos. A partir desse ponto, foi realizada a leitura e análise por título e resumo. Posteriormente, procedeu-se à leitura completa dos artigos, obtendo-se como amostra final 14 artigos, uma vez que, o intuito dessa revisão foi o de abordar parâmetros gerais (viscosidade, inativação enzimática e microbiológica, coloração, firmeza, entre outros aspectos) dos 4 grupos de alimentos (carnes, lácteos, cereais, frutas e vegetais) quando submetidos ao processo de termossonicação.

3. Resultados e Discussão

Os alimentos submetidos ao processo de termossonicação foram abordados de maneira ampla na literatura no período analisado. Contudo, poucos estudos apresentaram metodologias que pudessem ser comparadas, entre 2019-2022. Logo,

a revisão foi realizada através de parâmetros gerais (viscosidade, inativação enzimática e microbiológica, coloração, firmeza, entre outros aspectos) acerca dos 4 grupos de alimentos analisados (carnes, cereais, lácteos, vegetais e frutas), obtando assim, 14 artigos, onde: 2 publicações são do ano de 2019; 5 do ano de 2020; 5 do ano de 2021 e 2 do ano de 2022 (quadro 2).

Quadro 2. Síntese dos artigos incluídos na Revisão Integrativa.

Nº	Identificação do Estudo	Ano	País
01	Influence of thermosonication (TS) process on the quality parameters of high pressure homogenized hazelnut milk from hazelnut oil by-products	2019	Turquia
02	Effect of thermosonication process on physicochemical properties and microbial load of goat's milk	2019	China
03	Optimization of thermosonication on Bacillus cereus from pork: Effects on inactivation and physicochemical properties	2020	China
04	Effect of thermosonication or microwave heating for post pasteurization on chemical, physical, and sensory characteristics of prototype sausage	2020	Tailandia
05	Ultrasonic decontamination in smoked salmon experimentally contaminated with Listeria monocytogenes: Preliminary results	2020	Itália
06	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	2020	Irã
07	Effects of ultrasound-assisted freezing on the water migration of dough and the structural characteristics of gluten components	2020	China
08	Impact of high-intensity thermosonication treatment on spinach juice: Bioactive compounds, rheological, microbial, and enzymatic activities	2021	China
09	Thermosonicated whey protein concentrate blends on quality attributes of reduced fat Panela cheese	2021	México
10	Thermosonication as an alternative method for processing, extending the shelf life, and conserving the quality of pulque: A non-dairy Mexican fermented beverage	2021	México
11	Benefits of thermosonication in orange juice whey drink processing	2021	Brasil
12	Effect of thermosonication on quality attributes of hog plum (Spondias mombin L.) juice	2021	Nigéria
13	Effects of Microwaves, Ultrasonication, and Thermosonication on the Secondary Structure and Digestibility of Bovine Milk Protein	2022	China
14	Positive effects of thermosonication in Jamun fruit dairy dessert processing	2022	Brasil

Os artigos selecionados foram realizados em países desenvolvidos e em desenvolvimento, entre os anos de 2019 a 2022. A figura 1 apresenta a distribuição dos 14 artigos selecionados conforme seus países de origem. De um total de 14 artigos, 5 foram realizados na China (35,71%), 2 no Brasil (14,29%), 2 no México (14,29%), 1 na Turquia (7,14%), 1 no Irã (7,14%), 1 na Nigéria (7,14%), 1 na Tailândia (7,14%) e 1 na Itália (7,14%).

Informações detalhadas sobre objetivo, perspectivas e principais resultados para cada um dos artigos selecionados estão compiladas no quadro 03.

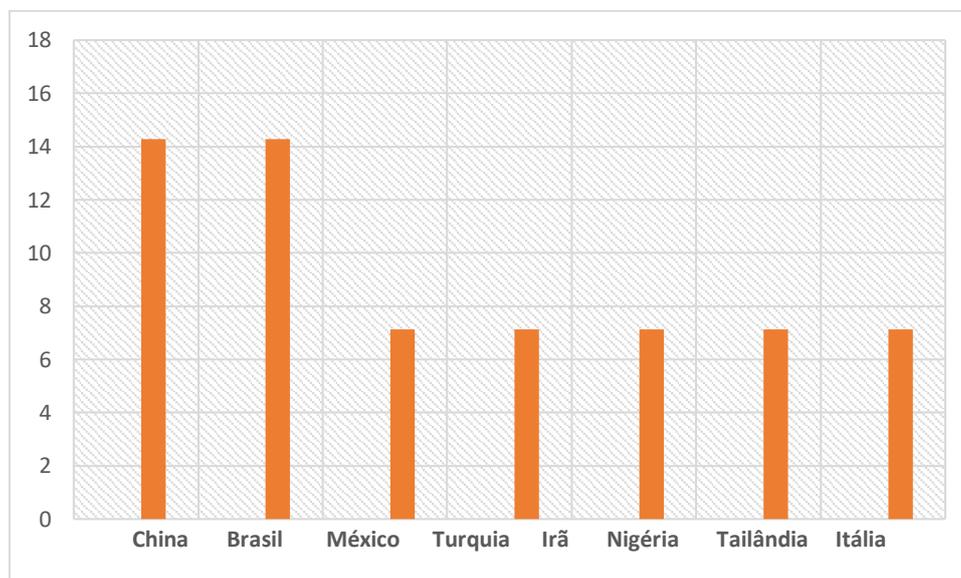


Figura 1. Distribuição dos artigos conforme país de origem.

Quadro 03: Apresentação da síntese dos artigos incluídos na Revisão Integrativa.

Identificação do Estudo	Objetivo	Principais Resultados
01	Investigar os efeitos do processo de termossonicação nos parâmetros de qualidade de leites de avelã e também compara os resultados observados com o processo térmico convencional.	Os resultados do presente estudo indicam que a termossonicação pode ser utilizada com sucesso para o processamento comercial de leite de avelã com qualidade melhorada. Esta técnica permite a produção de leites de avelã dentro dos padrões de segurança e qualidade com alto valor nutritivo em relação ao produto convencional.
02	Comparar as técnicas de termossonicação (20 kHz na variação de potência de 150 W, 200 W, 300 W e 400 W por 10 min) com a pasteurização (72°C por 15s) em leite de Cabra cru.	Foi obtido redução significativa da carga microbiana pela técnica de termossonicação. Além de promover uma melhor homogeneização.
03	Otimizar as condições de termossonicação sob diferentes condições de processamento de temperatura, tempo de pré-tratamento e frequências de ultrassom e estudar sua influência no comportamento de inativação do <i>Bacillus cereus</i> e também prever as condições que resultarão nas melhores qualidades do carne suína quanto à cor, textura, perda de umidade e perda de gordura.	O tratamento de termossonicação teve um efeito significativo na cor, textura, perda de teor de gordura e inativação dos <i>B. Cereus</i> .
04	Aplicar as técnicas de técnicas de termossonicação ou micro-ondas foram nas amostras de salsicha como métodos de pós-pasteurização.	As técnicas de termossonicação e as micro-ondas inibiram efetivamente o crescimento microbiano durante o armazenamento. No entanto, essas técnicas afetaram significativamente a dureza, elasticidade, coesividade e mastigabilidade das linguiças tratadas.

05	Avaliar os efeitos do ultrassom (sonicação) e sua combinação com a temperatura (termossonicação) na inativação de <i>Listeria monocytogenes</i> (LM) em salmão defumado.	Os tratamentos de termossonicação entre 40°C e 50°C por 5, 10 e 15 minutos mostraram-se mais eficazes sem alterar as características sensoriais do alimento.
06	Aplicar ondas de ultrassom com intensidade zero, 30 e 70%, bem como a pré-gelatinização induzida por micro-ondas de farinha de milho e farinha de milho natural para produzir pão de forma sem glúten.	A amostra contendo farinha de milho pré-gelatinizada, tratada com 30% de intensidade de ondas ultrassônicas, apresentou melhores propriedades tecnológicas, visuais e sensoriais.
07	Investigar os efeitos do congelamento assistido por ultrassom no tempo de congelamento e na migração de água da massa e nas características estruturais dos componentes do glúten.	No tratamento com ultrassom houve melhora na distribuição de umidade na massa e redução dos danos à estrutura molecular da proteína causados pelo congelamento.
08	Investigar compostos bioativos, atividades antioxidantes, cor, tamanho de partícula, comportamento reológico, estabilidade da suspensão, cargas enzimáticas e microbianas em suco de espinafre submetido ao processo da termossonicação (200 W, 400 W e 600 W, 30 kHz, a 60 ± 1 °C por 20 min).	A termossonicação preservou significativamente os compostos bioativos (flavonóis totais, flavonóides totais, fenólicos totais, carotenóides, clorofila e antocianinas) no suco de espinafre. Além da redução significativa do tamanho da partícula, melhora na estabilidade da suspensão e nas propriedades reológicas em comparação com a amostra não tratada e pasteurizada.
09	Obter um queijo com baixo teor de gordura como alternativa ao queijo Panela integral, através do processos de termossonicação.	O queijo obtido pela termossonicação apresentou perfil de textura semelhante ao queijo de panela integral ao longo do período de armazenamento, com mudanças significativas nos parâmetros de composição (maiores teores de umidade, proteína e sal, com baixos percentuais de gordura).
10	Avaliar a termossonicação como um método	A vida útil do pulque foi estendida até 24 dias de armazenamento a 4 °C. Após esse

alternativo para a pasteurização de pulque, a fim de melhorar sua vida útil e manter seus parâmetros de qualidade.

tempo, a qualidade da bebida diminuiu, devido ao aumento da carga microbiana. O processo por termossonicação apresentou maior leveza, aceitação sensorial, acidez máxima de 0,83 g/ácido láctico e teor alcoólico de 4,48–4,95% v/v.

- | | | |
|----|--|--|
| 11 | Avaliar o efeito do tratamento térmico de curta duração (HTST, 90 °C/20 s) e termossonicação nas temperaturas de 70, 80 e 90 °C nos parâmetros de qualidade de bebidas à base de soro de laranja. | As bebidas submetidas ao processo de termossonicação apresentaram maior inativação bacteriana e estabilidade bacteriana por 21 dias, maior atividade antioxidante, menor viscosidade e melhor perfil volátil. |
| 12 | Avaliar às propriedades físico-químicas, bioativas, microbianas e sensoriais do suco de cajá preparado na hora (controle) e das amostras de suco submetidas à pasteurização (90 °C por 60 s) e termossonicação (40 kHz, 400 W a 40, 50 e 60 °C cada por 5, 10, 20 e 30 min). | Não foram observadas alterações significativas no pH, sólidos solúveis totais e acidez titulável. Contudo, os sucos submetidos a termossonicação apresentaram melhora significativa nos parâmetros de cor, turvação e índice de escurecimento. Além disso, a termossonicação aumentou o teor de alguns compostos bioativos, como: ácido ascórbico (11,40–18,55%), fenólico total (17,98–18,35%), carotenóides (2,19–4,30%), flavonoides (10–16%), assim como apresentou maior atividade antioxidante (32,52–48,5%) em relação ao controle. |
| 13 | Avaliar a relação entre as propriedades funcionais das proteínas do leite de vaca e sua estrutura após tratamentos de micro-ondas, ultra-som e termossonicação. | Em relação às amostras não tratadas, os três tratamentos aumentaram as α -hélices e diminuíram correspondentemente as β -preguiadas. Além disso, a digestibilidade da Em relação às amostras não tratadas, os três tratamentos aumentaram as α -hélices e diminuíram correspondentemente as β -folhas e voltas. Além disso, a digestibilidade da proteína do leite submetida a termossonicação foi correspondente a 68,76-78,81%. |
| 14 | Avaliar os efeitos do processamento por termossonicação (90 °C, potências de ultrassom de 200, 400 e 600 W) nos parâmetros de qualidade da | As sobremesas submetidas ao processo de termossonicação apresentaram maior inativação bacteriana e estabilidade bacteriana por 21 dias. Além de apresentar maior atividade antioxidante, maior concentração de compostos fenólicos, melhor preservação |

sobremesa láctea de frutas Jamun em comparação de antocianinas, melhor perfil de ácidos graxos e maior digestibilidade com o processamento de aquecimento convencional (90 ° C/20 s).

4. Aplicação na Indústria de Alimentos

As tecnologias de processamento alternativas estão atraindo cada vez mais a atenção da indústria alimentícia, uma vez que podem ser aplicadas em diversas etapas de processamento como homogeneização, emulsificação, entre outros (Alcántara-Zavala et al., 2012, Arruda et al. 2021, Atalar et al., 2019).

A técnica de termossonicação já é amplamente utilizada em distintos alimentos apresentando diversas vantagens, no entanto algumas desvantagens também são identificadas (Figura 2).



Figura 2. Aplicações da termossonicação nos alimentos.

Nos vegetais e nas frutas a técnica de termossonicação se destacou por promover a inativação de microrganismos e enzimas (Carrillo-Lopez, 2021, Debora et al. 2022), aumentar a biodisponibilidade de compostos bioativos (Firouz et al, 2021, Genaro, 2021) e auxiliar na remoção dos agrotóxicos. A inibição das enzimas, como a polifenol oxidases, estimula a proteção das frutas e dos vegetais frente aos processos de escurecimento enzimático, proporcionando assim maior vida útil ao produto (Alcántara-Zavala et al, 2021, Debora et al. 2022, Guo et al, 2022). Contudo, é válido ressaltar que esta técnica também impacta na coloração (Inmanee et al, 2020) e na firmeza dos frutos e vegetais, sendo assim, extremamente necessário a execução de

estudos contendo a aplicação da termossonicação em cada produto, para assim garantir uma metodologia que melhor satisfaça aos aspectos físico-químicos e sensoriais dos alimentos envolvidos.

Nos produtos de origem animal, como as carnes vermelhas e brancas, a termossonicação é amplamente aplicada para melhorar a qualidade, sabor e maciez, aspectos estes que são cruciais na aceitação do produto para o consumidor. Ao se utilizar este método pode ocorrer a ruptura da proteína miofibrilar, fragmentação do colágeno, migração da cadeia proteica e deformação da actina, promovendo assim aumento de maciez da carne (Jalali et al, 2020; Manzoor et al., 2022). Contudo, esta técnica também impacta nos aspectos sensoriais destes produtos, tendo em vista que ela provoca a redução da cor vermelha das carnes, fator este extremamente negativo, pois impacta diretamente na escolha dos consumidores frente a estes produtos. Outro aspecto que se pode abordar é que a termossonicação também influencia na retenção de água, no entanto os resultados são controversos frente aos diversos estudos, pois muitos deles alegam que há aumento da retenção, enquanto outros abordam justamente o contrário, evidenciando a necessidade de aprofundamento acerca deste tema. Por fim, também é possível abordar sobre os radicais livres gerados pela termossonicação, que são responsáveis pelo processo de inativação dos microrganismos (Oladunjoye et al., 2021; Oliveira et al., 2022), aspecto considerado positivo frente aos produtos cárneos. Contudo, estes mesmos radicais produzidos podem provocar processos oxidativos nas proteínas e nos lipídeos, resultando em alterações de aroma e sabor destes produtos (Genaro et al, 2021).

Nos cereais, o método de termossonicação pode ser utilizado para avaliar as mudanças na massa, assim como promover melhorias quanto aos aspectos físico-químico destes produtos. Em relação a esses aspectos é possível destacar a porosidade, tendo em vista que ao se utilizar a técnica de termossonicação há manutenção de bolhas de ar durante a formação da massa, na qual impacta positivamente na reologia e textura do produto final (Owusu-Ansah et al, 2021). Além disso, a cor e a firmeza também demonstram alterações positivas, promovendo assim produtos com qualidades sensoriais interessantes (Owusu-Ansah et al, 2021). Por fim, esta técnica também pode ser aplicada para melhoria sensorial dos produtos congelados ao proporcionar modificações das propriedades do glúten, reduzindo assim

a superfície hidrofóbica de suas proteínas glutenina e gliadina, bem como alterações em suas estruturas secundárias, promovendo a maior distribuição de umidade nas massas (Penese et al, 2021). Como os processos de congelamento resultam em danos às estruturas proteicas, ocorre que ao se aplicar a técnica de termossonicação haverá a redução da superfície hidrofóbica do glúten, diminuindo esses danos (Rani et al, 2020)

Nos laticínios, é crucial se pensar no processo fermentativo, que envolve uma série de transformações químicas de compostos orgânicos complexos presentes na matéria-prima, por meio de enzimas, catalisadores e microrganismos (Guo et al, 2022). Ao se aplicar a técnica da termossonicação nesses produtos há alterações positivas, a saber: melhoria do desempenho de enzimas e micro-organismos; emulsificação; remoção da espuma; maior homogeneização, devido à redução do tamanho das partículas e maior uniformidade; redução da sinérese (Atalar et al, 2019; Ragab et al., 2019); aceleração do crescimento de probióticos (Guimarães et al., 2019), devido à sonoporação de baixo nível que age aumentando a permeabilidade das membranas celulares, resultando em maior transferência de substratos e remoção de subprodutos de metabolismo celular; aumento do teor de peptídeos bioativos (Atalar et al, 2019, Firouz et al. 2019) e oligossacarídeos e também a redução da lactose, devido à maior liberação da lactase. Assim, esses efeitos podem ser desencadeados em produtos lácteos, conforme sejam suas características diferenciadas frente à retenção de água, viscosidade, consistência, estabilidade cinética e até mesmo frente a segurança do produto (Zhang et al., 2022, Wang et al, 2022). Uma vez que altos níveis de sonoporação podem estimular a ruptura da membrana celular, provocando o extravasamento dos constituintes celulares, promovendo assim a inativação de microrganismos (Atalar et al, 2019, Firouz et al. 2019).

5. Conclusão

Recentemente, a técnica da termossonicação vem ganhando bastante destaque como um método industrial promissor. Isso se deve ao fato de que, ao utilizarmos esta técnica, somos capazes de induzir a inativação de microrganismos e enzimas, o aumento da viscosidade e a promoção da disponibilidade de compostos bioativos. Deste modo, esta técnica proporciona um menor impacto nas qualidades nutricionais

e sensoriais dos alimentos, se comparada a outros tipos de tratamentos térmicos. Como um adicional, também é possível minimizar os efeitos indesejáveis da técnica termossônica, em aspectos qualitativos, ao modular as condições de processamento presentes. Assim, a termossonicação demonstra possuir grande aplicabilidade em classes diversas de alimentos, como: carne, pescado, leites, frutas e vegetais.

6. Referências

Alcántara-Zavala, A.E. et al. (2021). Thermosonication as an alternative method for processing, extending the shelf life, and conserving the quality of pulque: A non-dairy Mexican fermented beverage. *Ultrasonics Sonochemistry*, 70, 105290.

Arruda, T. R. et al. (2021). What are the prospects for ultrasound technology in food processing? An update on the main effects on different food matrices, drawbacks, and applications. *Journal of Food Process Engineering*, 44, e13872.

Atalar, I. et al. (2019). Influence of thermosonication (TS) process on the quality parameters of high pressure homogenized hazelnut milk from hazelnut oil by-products. *J Food Sci Technol*, 56, v.3, p. 1405-1415.

Carrillo-Lopez L. M. et al. (2021). Recent advances in the application of ultrasound in dairy products: Effect on functional, physical, chemical, microbiological and sensory properties. *Ultrasonics Sonochemistry*, 73, 105467.

Debora. Q. et al. (2022). Positive effects of thermosonication in Jamun fruit dairy dessert processing. *Ultrasonics Sonochemistry*, 86, 106040.

Firouz, M. S., Farahmandi, A., & Hosseinpour, S. (2019). Recent advances in ultrasound application as a novel technique in analysis, processing and quality control of fruits, juices and dairy products industries: A review. *Ultrasonics Sonochemistry*, 57, 73-88.

Genaro et al. (2021). Thermosonicated whey protein concentrate blends on quality attributes of reduced fat Panela cheese. *Ultrasonics Sonochemistry*, 76, 105621.

Guimarães, J.T. et al. (2019). High-intensity ultrasound: A novel technology for the development of probiotic and prebiotic dairy products. *Ultrasonics Sonochemistry*, 57, 12-21.

Guo, Y. et al. (2022). Effect of thermosonication on texture degradation of carrot tissue in relation to alterations in cell membrane and cell wall structure. *Food Chemistry*, 393, 133335.

Inmanee, P. et al. (2020). Effect of thermosonication or microwave heating for post

pasteurization on chemical, physical, and sensory characteristics of prototype sausage. *Agriculture and Natural Resources*, 54, 16-23.

Jalali M. et al. (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, 993-1002.

Manzoor M. F. et al. (2021). Impact of high-intensity thermosonication treatment on spinach juice: Bioactive compounds, rheological, microbial, and enzymatic activities. *Ultrasonics Sonochemistry*, 78, 105740.

Oladunjoye A. O. et al. (2021). Effect of thermosonication on quality attributes of hog plum (*Spondias mombin L.*) juice. *Ultrasonics Sonochemistry*, 70, 105316.

Oliveira, G. A. R. et al. (2022). Benefits of thermosonication in orange juice whey drink processing. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 75, 102876.

Owusu-Ansah, P. et al. (2020). Optimization of thermosonication on *Bacillus cereus* from pork: Effects on inactivation and physicochemical properties. *Journal of Food Process Engineering*, 43, 245-251

Pennisi, L. et al. (2020). Ultrasonic decontamination in smoked salmon experimentally contaminated with *Listeria monocytogenes*: Preliminary results. *Italian Journal of Food Safety*, 9, 102893.

Ragab E. S. et al. (2019). Effect of thermosonication process on physicochemical properties and microbial load of goat's milk. *Journal of Food Science and Technology*, 56, 5309-5316.

Rani et al. (2020). Thermosonication technology and its application in food industry. *International Journal of Chemical Studies*, 8, 922-928

Urango, A. C. M. et al. (2022). Impact of Thermosonication Processing on Food Quality and Safety: a Review. *Food Bioprocess Technology*, 145, 112579.

Wang J. et al. (2022). Effects of Microwaves, Ultrasonication, and Thermosonication on the Secondary Structure and Digestibility of Bovine Milk Protein. *Foods*, 11, 138-144.

Zhang, Y. et al. (2020). Effects of ultrasound-assisted freezing on the water migration of dough and the structural characteristics of gluten components. *Journal of Cereal Science*, 94, 102893